

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**



**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΓΙΑ
ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ ΣΤΑ
ΦΑΛΑΣΑΡΝΑ ΧΑΝΙΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΟΤΤΑΣ ΑΝΕΣΤΗΣ-ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Βαφείδης Αντώνιος, Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης (Επιβλέπων)

Μανούτσογλου Εμμανουήλ, Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης

Κρητικάκης Γεώργιος, Ε.ΔΙ.Π. Πολυτεχνείου Κρήτης

Χανιά, (Φεβρουάριος), 2016

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είναι το επισφράγισμα μιας πολυετούς εκπαιδευτικής πορείας του συγγραφέα στο Πολυτεχνείο Κρήτης, στα πλαίσια Προγράμματος Σπουδών στη Σχολή <<Μηχανικών Ορυκτών Πόρων>>.

Η διαμονή στο χώρο του Πολυτεχνείου Κρήτης και γενικώς στη πόλη των Χανίων ήταν γεμάτη από έντονες στιγμές (χαράς, αγωνίας ακόμη και λύπης). Παρόλα αυτά ήταν μια περίοδος συναναστροφής με καινούργια άτομα από διάφορα μέρη της Ελλάδας που παράλληλα με τις σπουδές καλλιέργησαν τον σεβασμό, την κοινωνικότητα και την δημιουργία καινούργιων αξιών που αποτελούν εφόδιο για τη μετέπειτα ζωή. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους με βοήθησαν και συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Πιο συγκεκριμένα, τον καθηγητή μου, κ. Βαφείδη Αντώνιο για την άψογη συνεργασία που είχαμε μέχρι την ολοκλήρωση της εργασίας. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Κρητικάκη Γεώργιο για την καθημερινή καθοδήγηση, συνεργασία καθώς και υποστήριξη που έδειξε στο πρόσωπο μου για την υλοποίηση της εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τους συναδέλφους μου, που συνέλεξαν τα γεωφυσικά δεδομένα στα Φαλάσαρνα Χανίων στο πλαίσιο των Ασκήσεων Υπαίθρου IV το ακαδημαϊκό έτος 2012-2013.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στην οικογένεια μου, που υπήρξε αρωγός στην πολυετή αυτή προσπάθεια, δίνοντάς μου την ευκαιρία να ανοίξω τους ορίζοντες μου με την αγάπη τους και την στήριξή τους.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους φίλους μου, που με υποστήριξαν όλο αυτόν τον καιρό της φοίτησης μου, καθώς και στον άνθρωπο που στάθηκε όλα αυτά τα χρόνια δίπλα μου, δίνοντας μου απλόχερα την αγάπη και τη στήριξή του, την κ. Άρτεμις Μπαρδούτσου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα μιας σχετικά νέας μεθοδολογίας γεωφυσικής έρευνας για την απεικόνιση και οριοθέτηση της υφαλμύρωσης στη περιοχή των Φαλασάρνων Χανίων. Στόχος της γεωφυσικής έρευνας είναι ο χαρακτηρισμός των γεωλογικών στρωμάτων, ο καθορισμός της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους καθώς και η ανίχνευση του φαινομένου της υφαλμύρωσης.

Στα πλαίσια της μελέτης αυτής σχεδιάστηκε γεωφυσική έρευνα, η οποία περιλαμβάνει 9 γραμμές μελέτης σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας. Χρησιμοποιώντας τις μεθόδους της σεισμικής διάθλασης και ηλεκτρικής τομογραφίας πραγματοποιείται η επεξεργασία των δεδομένων με τα προγράμματα Seislmager και RES2DINV και προκύπτουν οι αντίστοιχες σεισμικές και γεωηλεκτρικές τομές.

Γίνεται αναφορά στην εφαρμογή της συνδυαστικής ερμηνείας κατά την οποία αντιπαραβάλλονται η σεισμική και η γεωηλεκτρική τομή. Από την ερμηνεία των τομών αυτών στα Φαλάσαρνα Χανίων παρατηρούνται δομικές ομοιότητες ως προς την στρωμάτωση. Επίσης σε δυο από τις 9 γεωηλεκτρικές τομές παρατηρούνται πολύ μικρές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μικρότερες των 10 Ωm), οι οποίες αποδίδονται στο φαινόμενο της υφαλμύρωσης.

Επίσης πραγματοποιήθηκε συνδυασμένη αντιστροφή των σεισμικών και γεωηλεκτρικών δεδομένων. Η τεχνική αυτή, θεωρητικά έχει τη δυνατότητα να προσφέρει πιο έγκυρα αποτελέσματα για την ύπαρξη υφάλμυρου νερού στη περιοχή των Φαλασάρνων καθώς συνδυάζει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα της σεισμικής διάθλασης με το αντίστοιχο της ηλεκτρικής τομογραφίας. Κατά τη συνδυασμένη αντιστροφή προσαρμόστηκε η γεωηλεκτρική τομή με την αντίστοιχη σεισμική τομή. Το αποτέλεσμα της εφαρμογής της τεχνικής αυτής είναι η απόκτηση δύο τομών με κοινά στοιχεία για το πάχος και το βάθος των σεισμικών και γεωηλεκτρικών στρωμάτων. Κατά την παρουσίαση των συνδυαστικών αυτών τομών δεν προκύπτουν ξεκάθαρα συμπεράσματα ως προς τη δομική τους ομοιότητα, σχετικά με τη στρωματογραφία, ενώ επίσης προκύπτουν υψηλές ταχύτητες διάδοσης στις σεισμικές τομές (μεγαλύτερες των 4000 m/s), οι οποίες θεωρούνται πολύ υψηλές για τους υπό μελέτης σχηματισμούς κάτι το οποίο ενδεχομένως οφείλεται σε υπερβολική προσαρμογή των υπολογισμένων πρώτων αφίξεων στις πειραματικές τιμές κατά τη διαδικασία της αντιστροφής.

Περιεχόμενα:

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ:1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ.....	6
1.1.1 Υφαλμύρωση και γεωφυσική.....	7
1.1.2 Υφαλμύρωση στα Φαλάσαρνα.....	9
1.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ:2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ	
2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ.....	13
2.1.1 Περιορισμοί μεθόδου σεισμικής διάθλασης.....	15
2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	15
2.2.1 Βασικές αρχές ηλεκτρικής τομογραφίας.....	16
2.2.2 Ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε ομογενή γη.....	18
2.2.3 Τρόποι διάταξης των ηλεκτροδίων.....	20
2.2.4 Παράγοντες επιλογής της κατάλληλης διάταξης ηλεκτροδίων.....	23
2.2.5 Ηλεκτρική τομογραφία.....	25
2.2.6 Αντιστροφή των δεδομένων.....	25
2.3 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ.....	26
2.3.1 Βασική θεωρία της αντιστροφής.....	26
2.3.2 Συνδυασμένη αντιστροφή ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας με περιορισμό στις βαθμίδες.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ:3 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	
3.1 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	29
3.1.1 Συλλογή σεισμικών δεδομένων.....	30
3.1.2 Επεξεργασία δεδομένων σεισμικής διάθλασης.....	30
3.1.3 Δημιουργία δρομοχρονικών διαγραμμάτων.....	32
3.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	35
3.2.1 Διεξαγωγή της ηλεκτρικής τομογραφίας.....	35
3.2.2 Εξοπλισμός ηλεκτρικής τομογραφίας.....	36

3.2.3 Επεξεργασία δεδομένων ηλεκτρικής τομογραφίας.....	37
3.3 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ.....	38
3.3.1 Προετοιμασία δεδομένων συνδυασμένης αντιστροφής.....	40
3.3.2 Επεξεργασία δεδομένων συνδυασμένης αντιστροφής.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ:4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	
4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ.....	46
4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ:5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	74
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ:1

1.1 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ:

Οι παράκτιες περιοχές αποτελούν ένα ιδιαίτερα ελκυστικό περιβάλλον, που προσφέρεται για την ανθρώπινη διαβίωση. Δεν αποτελεί επομένως παράδοξο το γεγονός, ότι συνήθως πρόκειται για πυκνοκατοικημένες περιοχές στις οποίες ο πληθυσμός ασχολείται με τη γεωργία, την κτηνοτροφία, την αλιεία, τη βιομηχανία, ενώ ακμάζει επίσης το εμπόριο και ο τουρισμός. Όλοι οι παραπάνω τομείς της παραγωγής καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες γλυκού νερού, το οποίο συνήθως προέρχεται από τους υπόγειους υδροφορείς.

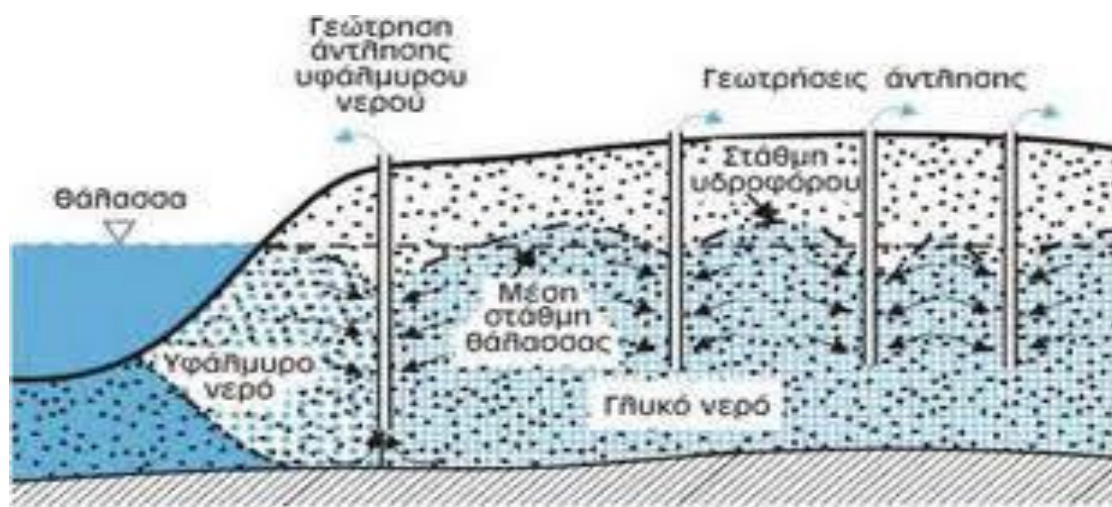
Σημαντικός είναι και ο συνολικός όγκος του νερού που χρησιμοποιείται για την ύδρευση των κατοίκων, ένα μέγεθος που, ειδικά το καλοκαίρι εξαιτίας του τουρισμού, αυξάνεται δραματικά. Η κατανάλωση των υδατικών πόρων όταν γίνεται χωρίς ορθολογική διαχείριση των αποθεμάτων οδηγεί σε υπεράντληση του νερού των υπόγειων υδροφορέων και υποβάθμιση της ποιότητάς του. Η υπεράντληση των υδάτων στις παράκτιες περιοχές συνδέεται με τη διείσδυση της θάλασσας στους υπόγειους υδροφορείς, με αποτέλεσμα τη μετατροπή του γλυκού νερού σε υφάλμυρο. Η θαλάσσια αυτή διείσδυση αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο που ονομάζεται υφαλμύρωση και πρόκειται στην πραγματικότητα για μία μορφή ρύπανσης των υπόγειων νερών

Η υφαλμύρωση είναι ένα ιδιαίτερα σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα, καθώς το υφάλμυρο νερό δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο. Ταυτόχρονα η απορρύπανσή του είναι μία διαδικασία εξαιρετικά χρονοβόρα, μιας και μπορεί να διαρκέσει ως και εκατοντάδες χρόνια. Το φαινόμενο αυτό έχει σοβαρό κοινωνικό και οικονομικό αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής των κατοίκων, που ζουν σε παραθαλάσσιες περιοχές. 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 (Αβραμίδου, 2007).

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που συντελούν στην επιδείνωση του φαινομένου είναι οι πυκνοκατοικημένες παράκτιες περιοχές, που το καλοκαίρι ειδικά αποτελούν πόλο έλξης χιλιάδων τουριστών με αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση του πληθυσμού και των υδατικών αναγκών του.

Ταυτόχρονα οι υπόλοιπες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως η εντατική καλλιέργεια της γης και η ανάπτυξη των βιομηχανιών, όχι μόνο σχετίζονται με την υπεράντληση των υδάτων, αλλά αποτελούν και εστία μόλυνσης για τους υπάρχοντες υδατικούς πόρους. Όλα τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την άναρχη διαχείριση των υδατικών πόρων στην Ελλάδα καθιστούν επιτακτική ανάγκη τη διαμόρφωση ενός σχεδίου δράσης για σωστή και ορθολογική διαχείριση των υδάτων, υπό το πρίσμα της αειφόρου ανάπτυξης. Ίσως με τον τρόπο αυτό να διαφυλαχθεί το μέλλον των επόμενων γενεών, ώστε να ζήσουν σε αρμονία με το φυσικό περιβάλλον (Αβραμίδου, 2007).

Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης περιγράφεται από το Σχήμα 1.1:



Σχήμα:1.1 Το νερό της κατείσδυσης σχηματίζει ένα υδροφόρο στρώμα από γλυκό νερό, επειδή το γλυκό νερό είναι ελαφρύτερο από το θαλασσινό θα πρέπει να επιπλέει (Αβραμίδου, 2007)

Το πρόβλημα και η εξέλιξη του φαινομένου της υφαλμύρωσης στους παράκτιους υδροφορείς είναι ιδιαίτερα σύνθετο και δεν είναι απλός ο τρόπος προσέγγισής του. Υποχώρηση της στάθμης του παράκτιου υδροφόρου στρώματος θα έχει ως συνέπεια την ανύψωση της διεπιφάνειας. Ενώ στην περίπτωση παράκτιων καρστικών υδροφόρων συστημάτων η υδροδυναμική ισορροπία γλυκού αλμυρού- νερού γίνεται πολύπλοκη, από το γεγονός, ότι η διεπιφάνεια έχει μεγάλο πάχος και αποτελεί μια μεταβατική ζώνη, οι διαστάσεις της οποίας εξαρτώνται από τα φυσικά χαρακτηριστικά των αγωγών του συστήματος.

1.1.1 Υφαλμύρωση και γεωφυσική:

Με τις μεθόδους της γεωφυσικής είναι δυνατός ο καθορισμός κάποιων φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους. Οι παράμετροι που μπορούν να μετρηθούν άμεσα είναι η ηλεκτρική αντίσταση ,οι διακυμάνσεις στην πυκνότητα αλλά και χαρακτηριστικά όπως η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών ή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Μετά από διερεύνηση του προβλήματος καθώς και άλλων παραμέτρων όπως η γεωλογία της περιοχής επιλέγονται κατάλληλες μέθοδοι που θα δώσουν αξιόπιστα αποτελέσματα.

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.

Για την εκτίμηση του βαθμού υφαλμύρωσης στον υδροφόρο ορίζοντα της παράκτιας περιοχής Big Cypress στη Νότια Φλόριντα χρησιμοποιήθηκε ο συνδυασμός γεωφυσικής διασκοπήσης και ανάλυσης νερού (Paillet, 1999). Η μελέτη αυτή έγινε για να καθοριστούν οι συνέπειες που θα επέφερε το φαινόμενο αυτό στις τεχνικές κατασκευές της περιοχής. Το πρώτο βήμα της έρευνας ήταν η ταυτοποίηση των δεδομένων από τις ήδη υπάρχουσες γεωτρήσεις και η διάνοιξη νέων σε περιοχές όπου δεν υπήρχαν σημεία. Το επίπεδο αλατότητας στους υποκείμενους υδροφορείς ήταν μεταβλητό και δεν παρουσίαζε σχέση με την απόσταση από την ακτή ή με τη σφηνοειδή παρείσφρηση του θαλασσινού νερού στον υδροφόρο ορίζοντα. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το ότι οι πυρήνες που προέρχονται από τις γεωτρήσεις παρέχουν στοιχεία μόνο για το άμεσο περιβάλλον αυτών, κατέστησε αναγκαία την πραγματοποίηση της ηλεκτρομαγνητικής διασκόπησης. Η επιλογή της μεθόδου αυτής έγινε με βάση το γεγονός ότι η παρουσία του υφάλμυρου νερού στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα προκαλεί αισθητή μείωση της ηλεκτρικής αντίστασης στους γεωλογικούς σχηματισμούς. Έτσι, διενεργήθηκε ηλεκτρομαγνητική διασκόπηση στην περιοχή των γεωτρήσεων και προσδιορίστηκε η αντιστοιχία μεταξύ των δεδομένων από τις γεωτρήσεις και αυτών από τις διασκοπήσεις.

Στα τέλη του 1993 στην περιοχή του Broomehill νοτιοδυτικά της δυτικής Αυστραλίας πραγματοποιήθηκε ηλεκτρομαγνητική διασκόπηση από αέρος χρησιμοποιώντας δυο γεωφυσικά αεροσκάφη. Σκοπός αυτής της έρευνας ήταν:

- Ο εντοπισμός του φαινομένου και η διερεύνηση των αιτιών της υφαλμύρωσης
- Η πρόβλεψη εμφάνισης του φαινομένου στο μέλλον από τα στοιχεία που προκύπτουν με βάση την υδρογεωλογική ερμηνεία
- Η ανάπτυξη σχεδίου διαχείρισης του προβλήματος με βάση τα στοιχεία που προκύπτουν

Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SALTMAP που σχεδιάστηκε ειδικά για έρευνα της μεταβολής της ηλεκτρικής αντίστασης σε μικρά βάθη, για μελέτες που αφορούν την υφαλμύρωση του εδάφους. Η από αέρα διασκόπηση πραγματοποιήθηκε από βορρά προς νότο με απόσταση γραμμών μελέτης 200 m μεταξύ τους και σε ύψος πτήσης 70 m. Τα ψηφιακά δεδομένα για το υψόμετρο κάθε γραμμής μελέτης προέκυψαν με τη βοήθεια του ραντάρ του αεροσκάφους (Leeming et al., 1994).

Η παράκτια περιοχή της Muravera στη Σαρδηνία της Ιταλίας έχει επίσης επηρεαστεί από την υφαλμύρωση σε μεγάλο βαθμό. Διενεργήθηκε μέτρηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε συνδυασμό με τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης ώστε να μελετηθεί το φαινόμενο (Balía et al., 2001). Η επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν από τις μετρήσεις της ηλεκτρικής διασκόπησης απέδειξαν την παρουσία μιας μεγάλης ομοιογενούς ζώνης με χαμηλή ηλεκτρική αντίσταση, η οποία συνδέεται με την υφαλμύρωση. Η

συνδυαστική ερμηνεία των αποτελεσμάτων για την ηλεκτρική αντίσταση και τη σεισμική διάθλαση, συνοδευόμενη από μια βαθμονομημένη γεώτρηση, παρείχε σημαντικές πληροφορίες για τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής. Η έρευνα στο σύνολο της δείχνει πως η συνδυασμένη εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων μπορεί να παρέχει ένα ευρύ φάσμα με αξιόπιστες πληροφορίες, απαραίτητες για τη μαθηματική αναπαράσταση-μοντελοποίηση της μόλυνσης του υδροφόρου ορίζοντα.

Τα πεδία Leon-Chinandega βρίσκονται στο βορειοδυτικό τμήμα της Νικαράγουα και αποτελούν την πιο σημαντική πηγή υπόγειων υδάτων της χώρας (Corriols et al. ,2009). Τα ύδατα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για αγροτικούς σκοπούς και το μεγαλύτερο μέρος της άρδευσης προέρχεται από το ανώτερο τμήμα του υδροφόρου ορίζοντα μέσω φρεάτων όχι βαθύτερων από 70 m. Για την διερεύνηση του υδροφόρου ορίζοντα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας σε συνδυασμό με γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις. Το μέγιστο βάθος των διασκοπήσεων έφτασε τα 100 m. Σε γενικές γραμμές, αποκομίστηκε μια συνεκτική εικόνα του γεωλογικού μοντέλου της περιοχής καθώς τα αποτελέσματα από τον συνδυασμό των διασκοπήσεων αλληλοσυμπληρώθηκαν. Τα γεωλογικά μοντέλα που προέκυψαν αποτέλεσαν ένα πολύ καλό πρόθεμα και για άλλες μεθόδους έρευνας παρέχοντας μια γενική εικόνα του υδροφορέα και μπορούν να χρησιμεύσουν σαν βάση για περαιτέρω επεξεργασία και εξευγενισμό των αριθμητικών μοντέλων του συστήματος. Οι πληροφορίες αυτές καθίστανται πολύτιμες για την εξερεύνηση, διαχείριση και προστασία των υδάτινων πόρων της περιοχής καθώς και την προστασία τους από την υφαλμύρωση ώστε να διασφαλιστεί η μελλοντική πορεία τους.

1.1.2 Υφαλμύρωση στα Φαλάσαρνα:

Εδώ και μερικά χρόνια και στο πλαίσιο περιορισμού της έντονης υφαλμύρωσης που αναπτύχθηκε στην περιοχή, εξαιτίας της υπεράντλησης και των εντατικών δραστηριοτήτων του ανθρώπου, η περιοχή υπάγεται θα λέγαμε “τύποις” στα μέτρα προστασίας υδάτινου δυναμικού με απαγόρευση ανόρυξης νέων γεωτρήσεων και πηγαδιών.

Άλλωστε, το σύστημα των πολυάριθμων υδρότοπων εκτάσεων, που χαρακτήριζε κάποτε τα 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 υπόγειων νερών. Σύμφωνα με στοιχεία αρμόδιων αρχών τα τελευταία τριάντα χρόνια, η καλλιεργούμενη γη αυξήθηκε κατά 52% ενώ οι εκτάσεις του φυσικού περιβάλλοντος μειώθηκαν κατά 47% αντίστοιχα (ΙΓΜΕ, Γεωδιαδρομές, 2009).

Οι θερμοκηπιακές μονάδες έχουν αυξηθεί κατά πολύ από το 1970 χωρίς να γίνεται παράλληλα καμία ενέργεια για την προστασία του εδάφους, των προϊόντων και του νερού (υπόγειου, επιφανειακού και θαλασσινού).

1.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ:

Η περιοχή των Φαλασάρνων βρίσκεται 59km δυτικά των Χανίων και 17km δυτικά της Κισσάμου. Βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της Χερσονήσου της Γραμβούσας. Στο βόρειο τμήμα της περιοχής βρίσκονται τα ερείπια της ομώνυμης αρχαίας Ρωμαϊκής πόλης.

Κατά την αλπική ορογένεση (Ανώτερο Ιουρασικό-Κατώτερο Κρητιδικό) στην οποία έλαβαν χώρα δύο παροξυσμικές φάσεις δημιουργήθηκαν οι Ελληνίδες οροσειρές. Η τελευταία ανύψωση στην οποία εμπεριέχεται η ανάδυση της Κρήτης, έγινε πριν από 11.000.000 περίπου χρόνια κατά το ολιγόκαινο-μειόκαινο. Στην περιοχή των Φαλασάρνων εμφανίζονται δύο κατηγορίες πετρωμάτων που ο σχηματισμός τους είναι αλπικής ηλικίας.

Η πρώτη κατηγορία ανήκει στην ζώνη Πίνδου και η δεύτερη κατηγορία στην ζώνη Τριπόλεως. Ο σεισμός που έγινε το 365 πχ (8,5 ρίχτερ) είναι αυτός που καθόρισε την τελευταία γεωλογική μορφή της περιοχής. Στη περιοχή των Φαλασάρνων εμφανίζονται πετρώματα που ανήκουν στην ζώνη της Τρίπολης και της Πίνδου, καθώς και τεταρτογενή και νεογενή. Στο κομμάτι που ανήκει στην ζώνη Τρίπολης εμφανίζονται μεγάλοι ασβεστολιθικοί όγκοι-βράχοι που λόγω έντονων τεκτονικών φαινομένων έχουν κατακερματιστεί (ΙΓΜΕ, Γεωδιαδρομές, 2009).

Τα νεογενή ιζήματα παρουσιάζονται σε ενδοωκεάνιες και χερσαίες λεκάνες μετά το τέλος της αλπικής ορογένεσης σε ύψη από 200-300m. Έχουν μεγάλο πορώδες που το έχουν αποκτήσει αφού έχουν υποστεί διαγένεση, παρουσιάζονται σ'αυτά ασυνέχειες και υπόκεινται σε εύκολη διάβρωση.

Στην περιοχή εμφανίζονται κροκαλοπαγή (τεταρτογενείς σχηματισμοί) τα οποία δημιουργήθηκαν από διαβρώσεις που έγιναν λόγω ενός υδρογραφικού δικτύου (νερά που δημιούργησαν χείμαρρους οι οποίοι με την σειρά τους μετέφεραν τα υλικά).

Κατά το μειόκαινο στους ασβεστόλιθους της περιοχής έχουμε ανύψωση κεράτων τα οποία κέρατα δημιουργήθηκαν από μεγάλης κλίμακας τεκτονικά φαινόμενα (ΙΓΜΕ, Γεωδιαδρομές, 2009).

Στην περιοχή αυτή εμφανίζονται επίσης και αιολικά ιζήματα. Τα αιολικά ιζήματα αποτελούνται από ασβεστολιθικούς ψαμμίτες και άμμους που ανακατεύτηκαν και συμπίεστηκαν. Ολόκληρα τα αρχαία Φαλάσαρνα είναι χτισμένα απ' ότι έχει διαπιστωθεί από το ίδιο υλικό το οποίο είναι ψαμμίτης. Φαίνεται να υπήρχε και κάποιο λατομείο ψαμμίτη από όπου γινόταν η εξόρυξη τα αρχαία χρόνια. Οι διαφορές στις στρώσεις του ψαμμίτη που παρουσιάζονται, οφείλονται στους ανέμους που υπήρχαν.

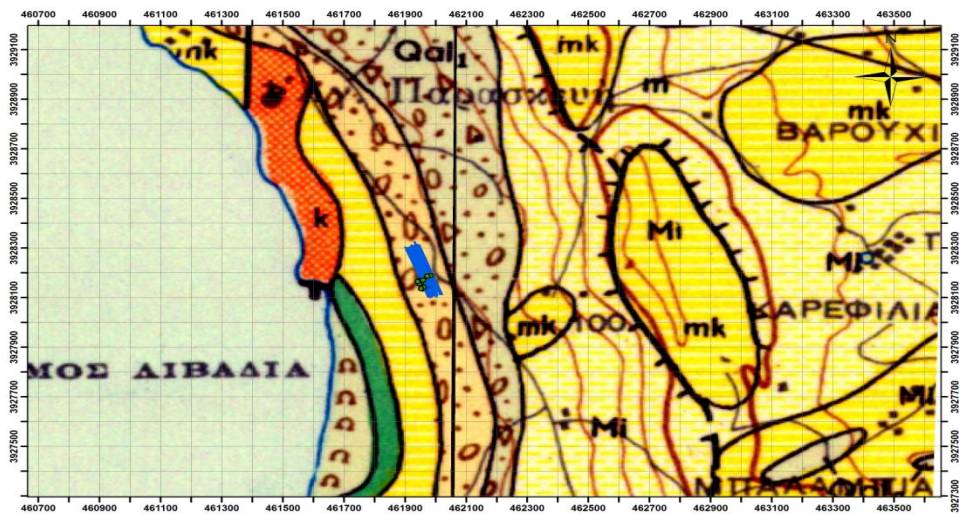
Οι πιο νέες αιολικές αποθέσεις στην περιοχή αυτή είναι οι συσσωρεύσεις της άμμου μπροστά από τα απόκρημνα βράχια (κατακόρυφοι ασβεστόλιθοι ζώνης Τριπόλεως) της ανυψωμένης παλαιάς ακτής. Οι συσσωρεύσεις αυτές έχουν κλίση περίπου 35°. Έτσι η νέα άμμος που μεταφέρεται και σήμερα από τον άνεμο κατρακυλά στη βάση αυτών των παράκτιων θινών. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μείνουν ανώτερα στρώματα για αρκετό καιρό

εκτεθειμένα στους ατμοσφαιρικούς παράγοντες κυρίως στη βροχή και στο ράντισμα με σταγόνες θαλασσινού νερού και να υποστούν μια ασθενή συγκόλληση.

Αυτή η σχετική διαγένεση παρατηρείται μέχρι το βάθος των 0,50-0,60 m, ενώ πιο κάτω η άμμος είναι τελείως χαλαρή. Στο ανώτερο τμήμα παρατηρείται η χαρακτηριστική σταυρωτή στρώση. Στην περιοχή των Φαλασάρνων διακρίνουμε ακόμα και τους «παράκτιους αιολιανίτες» και τους «ενδοχώριους αιολιανίτες», οι οποίοι βέβαια ελάχιστα απέχουν από την ακτή. Η διάκριση αυτή γίνεται γιατί, σχηματίστηκαν σε διαφορετικά χρονικά στάδια. Οι παράκτιοι αιολιανίτες εντοπίζονται κυρίως σε ένα τμήμα του χώρου της αρχαίας πόλης των Φαλασάρνων, δηλαδή στο βόρειο μυχό του κόλπου Λειβάδι.

Οι αιολιανίτες αυτοί έχουν αποτεθεί πάνω σε ένα ανομοιογενές κροκαλοπαγές που εκτείνεται και κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Οι αιολιανίτες έχουν πάχος περίπου 16 m. Στο αιολικό ψαμμίτη έχουν διανοιχθεί αρχαία λατομεία και η εξόρυξη έχει γίνει παράλληλα προς τις επιφάνειες μεγάλων διακλάσεων. Οι διακλάσεις αυτές, που διασχίζουν τον αιολιανίτη καθ' όλο το μήκος έχουν διεύθυνση BA-NA. Δηλαδή είναι παράλληλες προς το κανονικό ρήγμα που περνά από τους ανατολικούς πρόποδες του υψώματος Κούτρι. Οι διακλάσεις αυτές έχουν σχηματιστεί μετά τη διαγένεση του αιολιανίτη, διότι στις εκτεταμένες επιφάνειες τους δεν φαίνεται καμία διατάραξη της εσωτερικής δομής του πετρώματος, όπως συμβαίνει σε προδιαγενετικές διακλάσεις ή μικρορήγματα ψαμμιτών. Οι επιφάνειες τους έχουν καλυφθεί στη μεγαλύτερη έκταση του ανώτερου τμήματος από ασβεστιτικό φλοιό (ΙΓΜΕ, Γεωδιαδρομές, 2009).

Ακολουθούν τμήματα του γεωλογικού χάρτη (Σχήμα:1.2) της περιοχής στην οποία έγιναν οι γεωφυσικές διασκοπήσεις καθώς και ολόκληρης περιοχής της Κισσάμου. Με βάση και το υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη η τοποθεσία των μετρήσεων αποτελούνταν από αργίλους ερυθροκαστανόχρους με υψηλό ποσοστό άμμου, ψηφίδες και κροκάλες από ασβεστόλιθους, κερατόλιθους και σπανιότερα από ψαμμίτη του φλύσχη κατά το πλειστόκαινο.



Σχήμα:1.2 Συναντώνται μάργες λευκές υποκίτρινες και στα βαθύτερα στρώματα πρασινόφαιες σε εναλλαγή με μαργαϊκούς ψαμμίτες και τράπεζες μαργαϊκών ασβεστόλιθων, επίσης πλευρικά κορήματα από ασβεστολιθικές και χαλαζιακές κυρίως λατύπες (Γεωλογικό φύλλο χάρτη ΙΓΜΕ, φύλλο Καστέλι).

- **Πλευρικά κορήματα (Qal₁):** Σύγχρονα και παλαιά. Από ασβεστολιθικές και χαλαζιακές κυρίως λατύπες, κατά θέσεις χαλαρά συνδεδεμένες με αμμώδη πηλό ή/και ασύνδετες. Πάχος έως 2 m.
- **Παλαιότερες ποτάμιες αναβαθμίδες (Qt):** Αργίλοι ερυθροκαστανόχρωες με υψηλό ποσοστό άμμου, ψηφίδων και κροκάλων από ασβεστόλιθους, κερατόλιθους και σπανιότερα από ψαμμίτη του φλύσχη.
- **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.
- **Ασβεστόλιθοι (e,k):** Μελανόφαιοι, συμπαγείς, λεπτοκρυσταλλικοί, απολιθωματοφόροι με έντονη οσμή βιτουμενίων. (ΗΩΚΑΙΝΟ)
- **Ασβεστόλιθοι (j-k):** Λευκοί έως φαιοί, συμπαγείς συνήθως στιφροί ή/και μικροκρυσταλλικοί, κατά τόπους λιθογραφικοί και λεπτοπλακώδεις, σε τράπεζες με έντονη καρστική διάβρωση. (ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ)

Πίνακας:1.1 Γεωλογικοί σχηματισμοί με τη σειρά που εμφανίζονται (νεότεροι => παλαιότεροι) στην περιοχή μελέτης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ:2

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ:

Η αρχή της μεθόδου αυτής βασίζεται στον πειραματικό προσδιορισμό των χρόνων διαδρομής των απευθείας κυμάτων και των κυμάτων διάθλασης και στη χρησιμοποίηση, κατόπιν, των καμπύλων των χρόνων διαδρομής των κυμάτων αυτών, για τον καθορισμό των ταχυτήτων των κυμάτων στα επιφανειακά στρώματα με θεωρητικές σχέσεις.

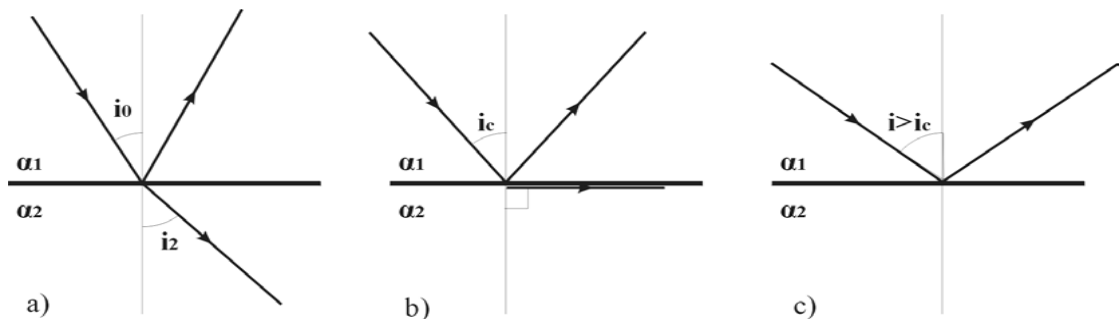
Τα σεισμικά κύματα υφίστανται διαδοχικές διαθλάσεις στις διαχωριστικές επιφάνειες ή σε μέσο όπου η ταχύτητα μεταβάλλεται με το βάθος, με αποτέλεσμα την αλλαγή της πορείας της σεισμικής ακτίνας. Η γωνία πρόσπτωσης, i_0 , η γωνία διάθλασης, i_2 , και οι ταχύτητες α_1 και α_2 στα δύο επιφανειακά στρώματα συνδέονται μέσω του νόμου του Snell:

$$p = \sin(i_0)/\alpha_1 = \sin(i_2)/\alpha_2 \quad (2.1)$$

όπου p είναι η παράμετρος της σεισμικής ακτίνας. Η σεισμική ακτίνα προσπίπτει στην διαχωριστική επιφάνεια υπό **ορική γωνία**, όταν η διαθλώμενη ακτίνα έχει διεύθυνση παράλληλη προς τη διαχωριστική επιφάνεια (Σχήμα:2.1b). Σε μια τέτοια περίπτωση ο νόμος του Snell τροποποιείται ως εξής :

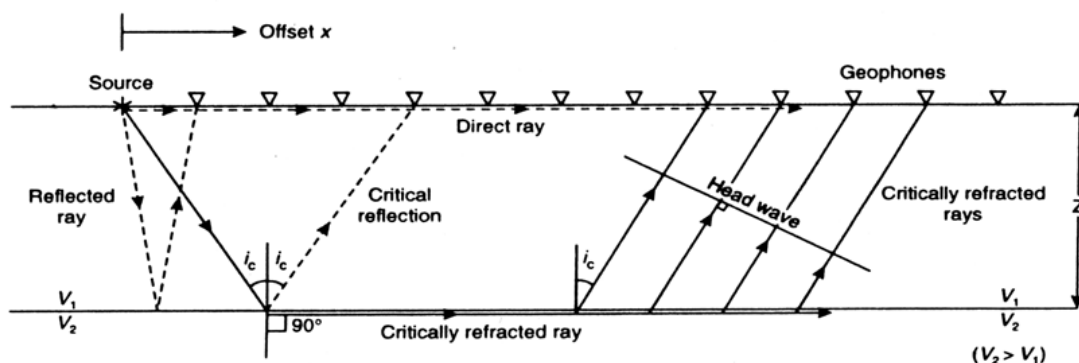
$$\sin(i_c) = \alpha_1/\alpha_2 \quad (2.2)$$

Όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη της ορικής γωνίας, παρατηρείται ολική ανάκλαση (Σχήμα:2.1c)



Σχήμα:2.1 Σχηματική παράσταση των τριών περιπτώσεων πρόσπτωσης μιας σεισμικής ακτίνας σε μια διεπιφάνεια. Κατά την πρόσπτωση υπό **γωνία** a) μικρότερη της ορικής δημιουργούνται ανακλώμενα και διαθλώμενα κύματα, b) ίση με την ορική γωνία δημιουργούνται ανακλώμενα και μετωπικά κύματα και c) με γωνία μεγαλύτερη της ορικής παρατηρείται ολική ανάκλαση (Reynolds, 1997).

Αν σεισμική ακτίνα προσπίπτει στη διαχωριστική επιφάνεια υπό ορική γωνία τότε το διαθλώμενο κύμα θα διαδοθεί στο δεύτερο στρώμα σε διεύθυνση παράλληλη προς τη διαχωριστική επιφάνεια. Σύμφωνα με την αρχή του Huygens , κάθε σημείο του διαθλώμενου μετώπου κύματος αποτελεί μια δευτερογενή πηγή σεισμικών κυμάτων .Από τις δευτερεύουσες αυτές πηγές προέρχονται σεισμικά κύματα τα οποία αναδύονται στο πρώτο στρώμα(Σχήμα:2.2).



Σχήμα:2.2 Σχηματική παράσταση της δημιουργίας των μετωπικών κυμάτων (Reynolds, 1997)

Η γωνία των αναδυόμενων προς την επιφάνεια σεισμικών με την κάθετο στην διαχωριστική επιφάνεια είναι ίση με την ορική γωνία. Αυτά τα αναδυόμενα σεισμικά κύματα ονομάζονται μετωπικά κύματα. Τα σεισμικά κύματα που καταγράφονται πρώτα στις θέσεις των γεωφώνων είναι τα απευθείας και τα μετωπικά κύματα (Σχήμα:2.2). Τα απευθείας κύματα καταγράφονται πρώτα στα γεώφωνα (πρώτες αφίξεις), που βρίσκονται μέχρι ορισμένη απόσταση από το σημείο δημιουργίας της σεισμικής δόνησης, ενώ τα μετωπικά κύματα καταγράφονται ως πρώτες αφίξεις στα μακρινότερα γεώφωνα. Μελετώντας τις πρώτες αφίξεις (απευθείας και μετωπικά κύματα) είναι δυνατό να προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με το πάχος και τη ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στους σχηματισμούς του υπεδάφους.

2.1.1 Περιορισμοί μεθόδου σεισμικής διάθλασης:

Με τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης, το πάχος και η σεισμική ταχύτητα του κάθε στρώματος είναι θεωρητικά απλό να υπολογιστούν για απλές δομές (π.χ οριζόντια στρώματα). Κατά τη πρακτική εφαρμογή, όμως, της μεθόδου εντοπίζονται διάφορες πηγές σημαντικών σφαλμάτων. Γενικότερα, όταν η σεισμική ταχύτητα του κάθε στρώματος είναι σημαντικά μεγαλύτερη της ταχύτητας του υπερκείμενου του και όταν το πάχος των στρωμάτων είναι μεγάλο, έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα με τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης. Οι βασικές πηγές σφαλμάτων εντοπίζονται κυρίως σε φαινόμενα τυφλής ζώνης, δηλαδή στην αδυναμία της μεθόδου να εντοπίσει ένα ενδιάμεσο στρώμα. Σε μια τέτοια περίπτωση σφάλματος είναι δυνατό να υπερεκτιμηθεί το πάχος κάποιου στρώματος, καθώς και να υπολογιστεί λανθασμένα και η σεισμική του ταχύτητα.

Τα φαινόμενα τυφλής ζώνης διακρίνονται στις παρακάτω περιπτώσεις:

- 1) Η ταχύτητα κάποιου στρώματος είναι μικρότερη ή περίπου ίδια με αυτή του υπερκείμενου του. Έτσι στην διεπιφάνεια μεταξύ αυτών των δυο στρωμάτων δεν δημιουργούνται μετωπικά κύματα.
- 2) Κάποιο ενδιάμεσο στρώμα έχει πολύ μικρό πάχος σχετικά με το υπερκείμενο και υποκείμενο του στρώμα. Σε αυτή τη περίπτωση τα μετωπικά κύματα του λεπτού στρώματος φτάνουν αργότερα από αυτά υποκείμενού του.
- 3) Όταν τα γεώφωνα είναι τοποθετημένα μακριά από τη σεισμική πηγή υπάρχει πιθανότητα οι αφίξεις των μετωπικών κυμάτων βαθύτερων σχηματισμών να καταγράφονται στα γεώφωνα νωρίτερα από τις αφίξεις των αντίστοιχων κυμάτων υπερκείμενων στρωμάτων.

2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ:

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι της γεωφυσικής διασκόπησης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: Η πρώτη κατηγορία βασίζεται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών φυσικών ηλεκτρικών ρευμάτων ή πεδίων, και περιλαμβάνει (Σούρλας, 2000):

- Μέθοδο του φυσικού δυναμικού
- Μέθοδο των τελλουρικών ρευμάτων

Η δεύτερη κατηγορία βασίζεται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών τα οποία εξαρτώνται από παραγόμενα τεχνητά ηλεκτρικά ρεύματα ή πεδία, και περιλαμβάνει:

- Μέθοδο της ειδικής αντίστασης
- Μέθοδο της επαγόμενης πολικότητας
- Μέθοδο των ισοδυναμικών γραμμών

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται κυρίως στην αναζήτηση μεταλλευμάτων και γεωθερμικών πεδίων, στην Υδρογεωλογία, στη Γεωθερμία, στην Κοιτασματολογία, στην Τεχνική Γεωλογία (όπως στην παρούσα εργασία) και στην Αρχαιολογία.

2.2.1 Βασικές αρχές ηλεκτρικής τομογραφίας:

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι η πιο διαδεδομένη από τις ηλεκτρικές μεθόδους τόσο από την λειτουργική πλευρά όσο και από την θεωρητική πλευρά.

Έχει σκοπό τον καθορισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους, ή καλύτερα την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος που ονομάζεται γεωηλεκτρική δομή. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία τεχνητών ηλεκτρικών πεδίων. Το ηλεκτρικό πεδίο επηρεάζεται από τη δομή του υπεδάφους, και επομένως από τις μετρήσεις του δυναμικού είναι δυνατός ο καθορισμός της δομής.

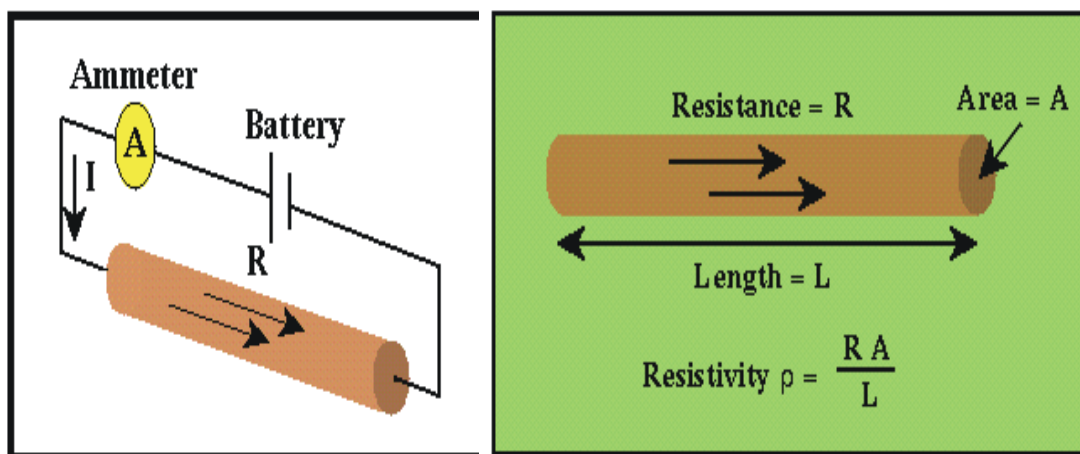
Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ , είναι η ηλεκτρική ιδιότητα των πετρωμάτων που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την ηλεκτρική διασκόπηση. Ο υπολογισμός της στηρίζεται στο νόμο του ohm (σχήμα 1): Αν μια ορθογώνια ράβδος με διατομή A και μήκος L διαρρέεται από ρεύμα έντασης I , η τάση V ανάμεσα στις άκρες της ράβδου θα είναι :

$$V = IR \quad (2.3)$$

Όπου R η ηλεκτρική αντίσταση (Ω)

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (2.4)$$

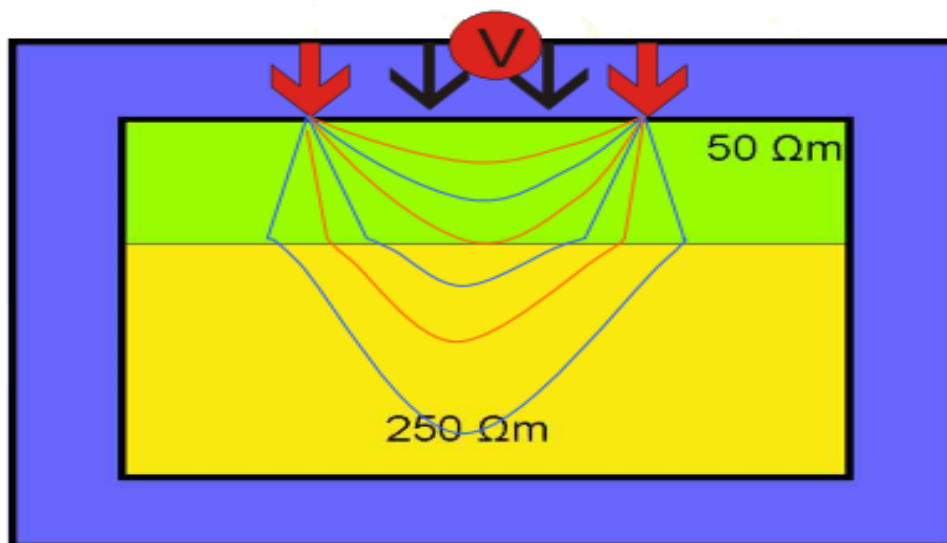


Σχήμα 2.3: Νόμος του Ohm (Hamdan, 2010)

Η μονάδα μέτρησης της ειδικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων, SI, είναι το Ωm , μερικές φορές χρησιμοποιείται και η μονάδα $1\ \Omega\text{cm}$ όπου $1\ \Omega\text{m} = 100\ \Omega\text{cm}$. Το αντίστροφο, $\sigma = 1/\rho$, της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του πετρώματος, με μονάδα μέτρησης στο διεθνές σύστημα το siemens/m.

Το σχήμα 2.3 αντιπροσωπεύει μια τυπική διάταξη που χρησιμοποιείται στη μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Υπάρχουν τα ηλεκτρόδια ρεύματος AB που είναι συνδεδεμένα με ένα αμπερόμετρο για τον υπολογισμό της έντασης του ρεύματος που εισάγεται στο έδαφος, ενώ τα ηλεκτρόδια MN είναι τα ηλεκτρόδια τάσης, που συνδέονται με βολτόμετρο για τη μέτρηση της τάσης. Εφαρμόζοντας το νόμο του ohm προκύπτει ότι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση υπολογίζεται από τη σχέση:

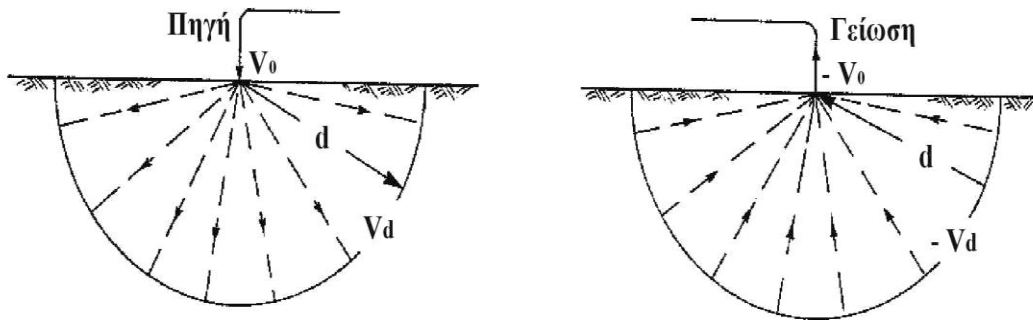
$$\rho = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} \quad (2.5)$$



Σχήμα:2.4 Δυναμικές γραμμές σε δύο στρώματα (Hamdan, 2010)

2.2.2 Ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε ομογενή γη:

Έστω ότι συνδέουμε τη Γη με το θετικό και τον αρνητικό πόλο μιας μπαταρίας (Σχήμα 2.5). Επειδή εφαρμόζουμε διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων ρεύμα εμφανίζεται στο υπέδαφος με κατεύθυνση από το θετικό (source) προς το αρνητικό ηλεκτρόδιο (sink) σύμφωνα με τη συμβατική φορά του ρεύματος. Ας εξετάσουμε ξεχωριστά τη ροή ρεύματος για τα δύο ηλεκτρόδια.



Σχήμα:2.5 Ομοιόμορφη ροή ηλεκτρικών φορτίων προς όλες τις κατευθύνσεις σε ομογενές μέσο (Σούρλας, 2000)

Είναι αυτονόητο ότι το ηλεκτρόδιο που συνδέθηκε με το θετικό πόλο απέκτησε θετικό φορτίο και διοχετεύει ρεύμα στη Γη. Για ευκολία θεωρούμε τη Γη ομογενές μέσο με αποτέλεσμα την ομοιόμορφη ροή ηλεκτρικών φορτίων προς όλες τις κατευθύνσεις

Η ειδική αντίσταση στο υπέδαφος εμφανίζει χωρική μεταβολή, δηλαδή $\rho = \rho(x,y,z)$ όπου x,y,z οι συντεταγμένες της θέσης.

Τώρα θα εξετάσουμε τι συμβαίνει σε απόσταση d από το θετικό ηλεκτρόδιο. Τα ηλεκτρικά φορτία κινούνται από το ηλεκτρόδιο και κατανέμονται σε ημισφαίριο ακτίνας d . Το εμβαδόν του είναι $S=2\pi d^2$. Αν στην αντίσταση ενός κυλινδρικού αγωγού αντικαταστήσουμε το εμβαδόν έχουμε:

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{\rho d}{2\pi d^2} = \frac{\rho}{2\pi d} \quad (2.6)$$

Από την σχέση $R=V/I$ έχουμε:

$$V = IR = \frac{I\rho}{2\pi d} = V_0 - V_d \quad (2.7)$$

Η (2.7) εκφράζει τη διαφορά μεταξύ του δυναμικού V_0 στο θετικό ηλεκτρόδιο και του δυναμικού V_d σε οποιοδήποτε σημείο που βρίσκεται στο υπέδαφος και σε απόσταση d από το ηλεκτρόδιο. Ισοδυναμική επιφάνεια ονομάζεται η επιφάνεια όπου το δυναμικό παραμένει σταθερό. Στην περίπτωση ομογενούς μέσου σύμφωνα με την (2.7), οι ισοδυναμικές επιφάνειες είναι σφαιρικές.

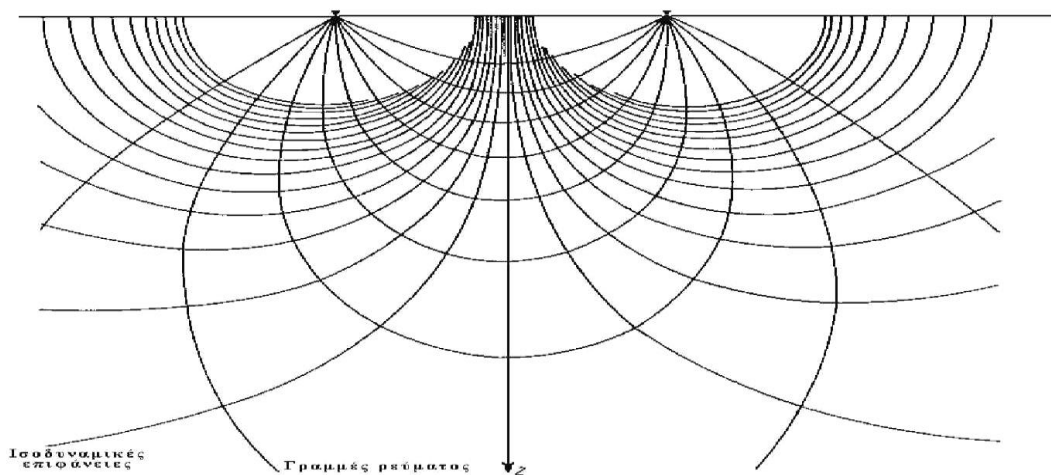
Στο αρνητικό ηλεκτρόδιο ισχύουν αντίστοιχα φαινόμενα μόνο που το ρεύμα έχει φορά προς το ηλεκτρόδιο (Σχήμα 2.5). Έτσι ισχύει η σχέση:

$$-V = IR = \frac{I\rho}{2\pi d} = V_d - V_0 \quad (2.8)$$

Το δυναμικό είναι μονόμετρο μέγεθος. Το δυναμικό σε σημείο Μ του ηλεκτρικού πεδίου που οφείλεται στα δύο ηλεκτρόδια ρεύματος ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των δυναμικών κάθε ηλεκτροδίου. Για τη διάταξη του Σχήματος 2.5 το δυναμικό V σε σημείο που απέχει d_2 και d_1 από το θετικό και το αρνητικό ηλεκτρόδιο αντίστοιχα, είναι:

$$V = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right) \quad (2.9)$$

Η (2.9) περιγράφει το δυναμικό σε κάθε σημείο του υπεδάφους. Ενώνοντας σημεία ίδιου δυναμικού λαμβάνουμε τις ισοδυναμικές επιφάνειες (Σχήμα 2.6). Το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει πάντα κάθετα προς τις ισοδυναμικές επιφάνειες.



Σχήμα:2.6 Απεικόνιση του δυναμικού πεδίου με δυναμικές γραμμές (Σούρλας, 2000)

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ενός γεωλογικού σχηματισμού διαφοροποιείται όταν μεταβάλλεται:

- Το πορώδες και ο βαθμός κορεσμού του σε νερό
- Η περιεκτικότητα σε ιόντα του υπόγειου νερού
- Η θερμοκρασία
- Η περιεκτικότητα σε αργίλους
- Η εξαλλοίωση

Με τη βοήθεια των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης καθορίζονται οι ηλεκτρικές ιδιότητες των πετρωμάτων που αποτελούν τα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης. Αυτό επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των σχηματισμών μετρώντας τη διαφορά δυναμικού σε διάφορα σημεία στην επιφάνεια του εδάφους από την τεχνητή ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο υπέδαφος. Η ηλεκτρική τομογραφία συγκαταλέγεται σε αυτές τις μεθόδους και χαρακτηρίζεται από υψηλή διακριτική ικανότητα καθώς και από ακρίβεια των αποτελεσμάτων της.

Η αντίσταση που εκφράζει το μέσο όρο των τιμών των αντιστάσεων των διαφόρων υλικών που βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα, ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ_a). Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος και από τη γεωμετρία των ηλεκτροδίων. Ο υπολογισμός της είναι πολύ σημαντικός και οδηγεί στον καθορισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Ο υπολογισμός της είναι πολύ σημαντικός για τον προσδιορισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους και υπολογίζεται από τις μετρούμενες τιμές της αντίστασης ($\Delta V/I$) και τη διάταξη των ηλεκτροδίων σύμφωνα με τη σχέση:

$$\rho_a = 2\pi \frac{VMN}{I} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right)^{-1} \quad (2.10)$$

Όπου α: η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών ηλεκτροδίων,

I: η ένταση του ρεύματος, και

MN: η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού

2.2.3 Τρόποι διάταξης των ηλεκτροδίων:

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι διάταξης των ηλεκτροδίων, οι τρεις πιο σημαντικές διατάξεις είναι:

1)Διάταξη Wenner

Στη διάταξη Wenner τα ηλεκτρόδια διατάσσονται σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, δηλαδή, $AM=AN=NB=a$ όπως φαίνεται στο σχήμα:2.6α, έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a θα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\rho_a = 2\pi V_{MN}/I \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right) = 2\pi a \quad (2.11)$$

Η ποσότητα:

$$2\pi \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right) = 2\pi a \quad (2.12)$$

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

Κατά την εφαρμογή της διάταξης Wenner για ηλεκτρική βυθοσκόπηση, δηλαδή κατακόρυφη ηλεκτρική διασκόπηση που δίνει την δομή του υπεδάφους, τα ηλεκτρόδια αναπτύσσονται κάθε φορά συμμετρικά ως προς ένα σημείο, που θεωρείται κέντρο της βυθοσκόπησης.

Στην περίπτωση της ηλεκτρικής χαρτογράφησης το a παραμένει σταθερό και τα τέσσερα ηλεκτρόδια μεταφέρονται κατά μήκος γραμμής μελέτης. Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης χαρτογραφείται στο κέντρο κάθε διάταξης.

Η διάταξη Wenner παρά τη γεωμετρική της απλότητα παρουσιάζει ένα σημαντικό μειονέκτημα, αφού κατά την πραγματοποίηση κάθε νέας μέτρησης πρέπει να μετακινούνται όλα τα ηλεκτρόδια.

2)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:2.6β), 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 τη σχέση:

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{L-b} - \frac{1}{L+b} - \frac{1}{L+b} + \frac{1}{L-b} \right)^{-1} = (L^2 - b^2) \frac{\pi}{2b} \quad (2.13)$$

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

$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2b} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.14)$$

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.

Στην ηλεκτρική χαρτογράφηση τα τέσσερα ηλεκτρόδια μετακινούνται, ενώ η σχετική απόστασή τους παραμένει σταθερή όπως και στη διάταξη Wenner.

Η διάταξη Schlumberger είναι η πιο διαδεδομένη διάταξη. 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. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού παραμένουν σταθερά, γεγονός που βοηθάει επίσης στον περιορισμό των ανεπιθύμητων επιδράσεων που μπορεί να οφείλονται σε τοπικές γεωλογικές ασυνέχειες.

3) 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 ($n \gg a$), όπως φαίνεται στο σχήμα: 2.6γ.

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

$$K = n\pi a(n+1)(n+2) \quad (2.15)$$

και η φαινόμενη ειδική αντίσταση υπολογίζεται από τη σχέση: (2.16)

$$\rho_a = n\pi a(n+1)(n+2) \frac{\Delta V}{i} \quad (2.17)$$

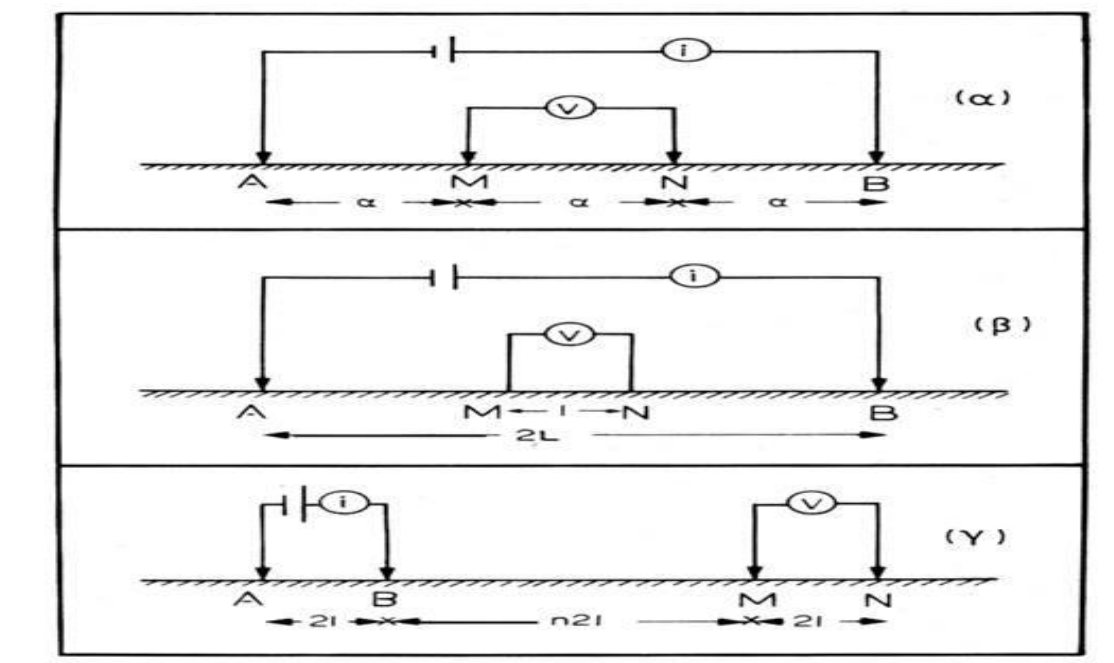
Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της διάταξης αποτελεί η απόσταση $2na$, ανάμεσα στα δίπολα ρεύματος και δυναμικού, που μπορεί να αυξηθεί αρκετά χωρίς να χρειάζονται μεγάλα μήκη καλωδίων. Η διάταξη περιορίζεται μόνο από τη δυνατότητα των καταγραφικών οργάνων και από τον εδαφικό θόρυβο.

Επίσης υπάρχουν ακόμη δύο τρόποι διάταξης ηλεκτροδίων λιγότερο χρήσιμοι από αυτούς που αναφέρθηκαν και είναι:

- Τετραγωνική διάταξη
- Διάταξη διδύμου ηλεκτροδίου

Κάθε διάταξη παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανάλογα με τη θέση και τον σκοπό, για τον οποίο εφαρμόζεται. Η διάταξη Wenner δίνει την πιο έντονη μεταβολή της

φαινόμενης αντίστασης, αλλά παρουσιάζει το φαινόμενο της διπλής κορυφής, δηλαδή μεγάλη τιμή πριν και μετά τη δομή, η οποία έχει μεγαλύτερη αντίσταση από τα περιβάλλοντα πετρώματα, ενώ δίνει μικρή τιμή ακριβώς πάνω από τη δομή. Το αντίθετο συμβαίνει στην περίπτωση που η δομή έχει μικρότερη αντίσταση. Το ίδιο πρόβλημα παρουσιάζει και η διάταξη Schlumberger με το επιπλέον πρόβλημα του μικρού σήματος, δηλαδή δεν δίνει έντονα τη μεταβολή της φαινόμενης αντίστασης. Το πρόβλημα της διπλής κορυφής δεν εμφανίζεται στις διατάξεις διπόλου-διπόλου και διδύμου ηλεκτροδίου. Η διάταξη διπόλου-διπόλου δίνει καθαρά τη μεταβολή της φαινόμενης αντίστασης, αλλά έχει το μειονέκτημα ότι επειδή η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων είναι μικρή περιορίζεται το βάθος διεύθυνσης του ηλεκτρικού ρεύματος και επομένως και η ευαισθησία της μεθόδου με την αύξηση του βάθους. Η διάταξη διδύμου ηλεκτροδίου έχει πλευρική διακριτική ικανότητα α , δηλαδή για να ξεχωρίσει δύο δομές πρέπει να απέχουν μεταξύ τους κατά την οριζόντια διεύθυνση απόσταση α , με α να είναι η απόσταση των ηλεκτροδίων κάθε ζευγαριού. Απαιτεί τη μετακίνηση μόνο των δυο ηλεκτροδίων για κάθε μέτρηση. Όμως η εύκολη και γρήγορη εφαρμογή της και η έντονη μεταβολή της φαινόμενης αντίστασης που δίνει, την έχουν κάνει μια από τις πιο διαδεδομένες διατάξεις.



Σχήμα:2.6 Διατάξεις Wenner (α), Schlumberger(β), Διπόλου-Διπόλου(γ) (Παπαζάχος, 1986)

2.2.4 Παράγοντες επιλογής της κατάλληλης διατάξης ηλεκτροδίων:

Η επιλογή του τρόπου διάταξης των ηλεκτροδίων κατά την πραγματοποίηση μετρήσεων αποτελεί πολύ σημαντικό βήμα για τις γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις. Η διάταξη των ηλεκτροδίων δύναται να επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό την ακρίβεια των μετρήσεων. Οι παράγοντες-κριτήρια που πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν πριν τις ηλεκτρικές διασκοπήσεις είναι οι παρακάτω (Τσιρογιάννης, 2009):

➤ Λόγος σήματος προς θόρυβο

Ως προς τον παράγοντα αυτό κατά σειρά προτεραιότητας οι διατάξεις είναι:1) Wenner, 2) Schlumberger, 3) Διπόλου-Διπόλου.

➤ Ευαισθησία σε οριζόντιες ανομοιογένειες

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

➤ Ευαισθησία σε βάθος και διεισδυτικότητα δια μέσου επιφανειακού αγώγιμου 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 αγώγιμου 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. Επίσης το βάθος διασκόπησης επηρεάζεται από τις ανομοιογένειες, την τοπογραφία, την κλίση των στρωμάτων, το ανάγλυφο του υποβάθρου και από το μοντέλο των στρωμάτων του υπεδάφους.

➤ Ευαισθησία στην μορφολογία του υποβάθρου

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

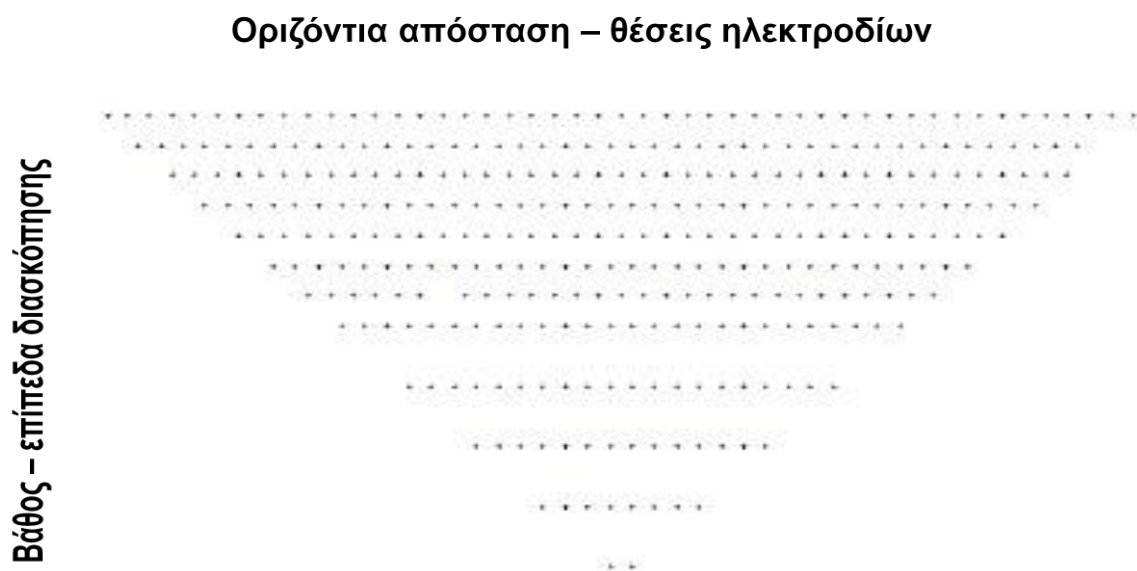
➤ Ευαισθησία στο τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής έρευνας

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.

2.2.5 Ηλεκτρική τομογραφία:

Στην ηλεκτρική τομογραφία, η περιγραφή της γεωλογικής δομής βασίζεται στη μελέτη των μεταβολών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την οριζόντια και την κατακόρυφη διεύθυνση, εντοπίζοντας έτσι ασυνέχειες κατά την οριζόντια ανάπτυξη των σχηματισμών, όπως ρήγματα.

Στην τομογραφία τα αποτελέσματα δίνονται με τη μορφή μιας ψευδοτομής. Στην ψευδοτομή οι φαινόμενες ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις είναι σχεδιασμένες σε μια τομή, με τέτοιο τρόπο, σε σημεία ακριβώς κάτω από το κέντρο της διάταξης των ηλεκτροδίων και σε βάθος που εξαρτάται από τη συγκεκριμένη διάταξη (Σχήμα:2.8).



Σχήμα:2.8 Θέση των μετρήσεων στη ψευδοτομή μιας ηλεκτρικής τομογραφίας (Σούρλας, 2000)

2.2.6 Αντιστροφή των δεδομένων:

Ο προσδιορισμός των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων πραγματοποιείται με την αντιστροφή των δεδομένων.

Ξεκινώντας από ένα αρχικό μοντέλο ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων το πρώτο βήμα είναι η επίλυση του ευθέως προβλήματος, στο οποίο υπολογίζονται οι φαινόμενες αντιστάσεις που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό. 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 βελτίωση αφορά μόνο τις παραμέτρους του μοντέλου.

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.

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. Έτσι και στην περίπτωση της αντιστροφής των φαινομένων αντιστάσεων το πρόβλημα είναι μη γραμμικό. Επιπλέον το πρόβλημα συνήθως 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 όπως η μέθοδος Zohdy και η μέθοδος Loke και Barker (1996) (Παπαδόπουλος, 2007).

2.3 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ:

Με τη συνδυασμένη αντιστροφή, ορίζεται ο βασικός στόχος του αντίστροφου προβλήματος στη γεωφυσική και αναφέρονται οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται συνήθως για την επίλυση του προβλήματος.

Αφού γίνει εισαγωγή στην βασική θεωρία της αντιστροφής, περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο επιλύεται το γεωηλεκτρικό και το σεισμικό πρόβλημα της αντιστροφής.

2.3.1 Βασική θεωρία της αντιστροφής:

Η διαδικασία της αντιστροφής είναι στενά συνδεδεμένη με αυτήν της επίλυσης του ευθέως προβλήματος. Αποτελεί τη διαδικασία έμμεσου προσδιορισμού των παραμέτρων ενός μοντέλου του υπεδάφους, το οποίο αναπαράγει (μέσω του ευθέως προβλήματος) τα δεδομένα στα όρια μιας συγκεκριμένης ακρίβειας.

Όλες οι μέθοδοι αντίστροφης επιδιώκουν τον προσδιορισμό των παραμέτρων ενός μοντέλου του υπεδάφους, το οποίο αναπαράγει τα μετρούμενα δεδομένα κάτω από συγκεκριμένους περιορισμούς. Για τις μεθόδους αντιστροφής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, οι παράμετροι του μοντέλου είναι οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του κάθε κελιού ή στοιχείου του μοντέλου, ενώ τα μετρούμενα μεγέθη είναι οι τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Στην περίπτωση της μεθόδου σεισμικής διάθλασης, οι παράμετροι του μοντέλου είναι οι τιμές της ταχύτητας διάδοσης των (διαμηκών ή εγκάρσιων) σεισμικών κυμάτων για κάθε κελί ή στοιχείο, ενώ τα μετρούμενα μεγέθη είναι οι χρόνοι των πρώτων αφίξεων των κυμάτων αυτών (Hamdan, 2010).

Η γεωφυσική έρευνα συμβάλλει στην οριοθέτηση της ρύπανσης του υπόγειου νερού και στην επιλογή της θέσης των γεωτρήσεων παρακολούθησης. Ειδικότερα για τον εντοπισμό ζωνών υφαλμύρινσης, προτιμάται η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η οποία είναι άμεση και προσφέρει αξιόπιστα συμπεράσματα. Ο σημαντικός ρόλος που παίζει η μέθοδος αυτή έγκειται στο γεγονός ότι ανιχνεύει την διείσδυση αλμυρού νερού σε παράκτιους υδροφορείς, καθώς το ιόν του χλωρίου είναι ένα από τα πιο ηλεκτρικά ενεργά ιόντα (Hamdan,2010)

Σε παράκτιες περιοχές η γνώση του γεωλογικού μοντέλου βοηθά στην κατανόηση των αιτίων της υφαλμύρινσης. Οι σεισμικές μέθοδοι (ανάκλασης και διάθλασης) έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς με σκοπό την ακριβή περιγραφή της γεωλογικής δομής τέτοιων περιοχών. Για το λόγο αυτό, οι μέθοδοι της ηλεκτρικής τομογραφίας και σεισμικής τομογραφίας κρίθηκαν ως οι πιο κατάλληλες για τον προσδιορισμό του μετώπου θαλασσινού / γλυκού νερού στην περιοχή των Φαλασάρνων.

Η συνδυαστική αντιστροφή στη περιοχή των Φαλασάρνων μελετά το φαινόμενο της υφαλμύρωσης, που η επίλυσή του παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την εξερεύνηση, διαχείριση και προστασία των υδατικών πόρων της περιοχής καθώς και την προστασία τους ώστε να διασφαλιστεί η μελλοντική τους ύπαρξή τους.

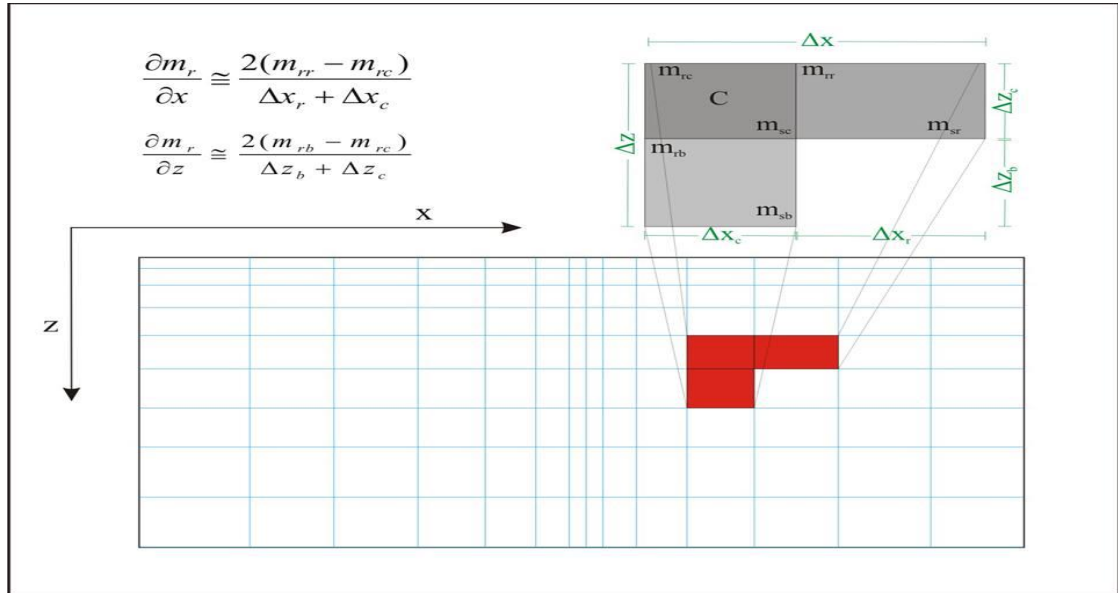
Ο βασικός στόχος της συνδυασμένης αντιστροφής στα Φαλάσαρνα είναι η καλύτερη απεικόνιση των δεδομένων από τον συνδυασμό της σεισμικής διάθλασης και της ηλεκτρικής τομογραφίας γεγονός με σκοπό να επιτευχθεί κατά κάποιον τρόπο το βέλτιστο αποτέλεσμα για την ανάδειξη του προβλήματος της υφαλμύρωσης. Παρόλο που κατά την αντιστροφή των γεωφυσικών δεδομένων σπάνια εξασφαλίζεται η μοναδικότητα της λύσης, η αβεβαιότητα αυτή μπορεί να μειωθεί σημαντικά αν τα δεδομένα προέρχονται από διαφορετικές γεωφυσικές μεθόδους (Hamdan,2010).

Η περιοχή των Φαλασάρνων χαρακτηρίζεται από έντονη ανομοιογένεια στα επιφανειακά στρώματα, λόγω των καρστικών δομών, με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολη η ενιαία ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων. Αυτές οι δομές ευνοούν τη μεγάλη διαφοροποίηση μεταξύ σεισμικού και γεωηλεκτρικού μοντέλου. Η τεχνική της συνδυασμένης αντιστροφής δεδομένων ηλεκτρικής και σεισμικής διασκόπησης αποτελεί ένα επιπλέον εργαλείο για πιο αξιόπιστη απεικόνιση της πολύπλοκης αυτής γεωλογικής δομής.

2.3.2 Συνδυασμένη αντιστροφή ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας με περιορισμό στις βαθμίδες:

Η αντιστροφή με περιορισμό στις βαθμίδες λαμβάνει υπόψη της ότι αναμένεται να υπάρχει, μέχρι έναν βαθμό, ομοιότητα στα δομικά χαρακτηριστικά των αντίστοιχων μοντέλων. Γενικώς, οι φυσικές παράμετροι του υπεδάφους μεταβάλλονται από θέση σε θέση. Η μεταβολή των φυσικών παραμέτρων του υπεδάφους σε οποιαδήποτε θέση περιγράφεται με διάνυσμα το οποίο χαρακτηρίζεται από: α) το μέτρο και β) την διεύθυνση. Η σύγκριση της

μεταβολής αυτών των φυσικών παραμέτρων, μπορεί να καθορίσει αν τα γεωφυσικά μοντέλα πχ. της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και σεισμικής ταχύτητας παρουσιάζουν ομοιότητα στα δομικά τους στοιχεία. Τα δύο χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν (μέτρο και διεύθυνση), εκφράζονται από το διάνυσμα της βαθμίδας (Hamdan, 2010).



Σχήμα:2.9 Αριθμητική εκτίμηση των μερικών παραγώγων σε ορθογώνιο πλέγμα, Κάθε κελί του πλέγματος χαρακτηρίζεται από μια τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της σεισμικής ταχύτητας. Το μέτρο του t αντιστοιχεί στο κέντρο ενός κελιού (c) λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των παραμέτρων των κελιών που βρίσκονται δεξιά (r) και κάτω (b) από αυτό (τροποποιημένο από Gallardo and Meju 2003, Gallardo and Meju, 2004)

Συνήθως, η επίλυση του προβλήματος της αντιστροφής σε δισδιάστατα προβλήματα, βασίζεται στην ελαχιστοποίηση του σφάλματος μεταξύ των πειραματικών μετρήσεων και της απόκρισης ενός μοντέλου με την χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων και περιορισμών εξομάλυνσης.

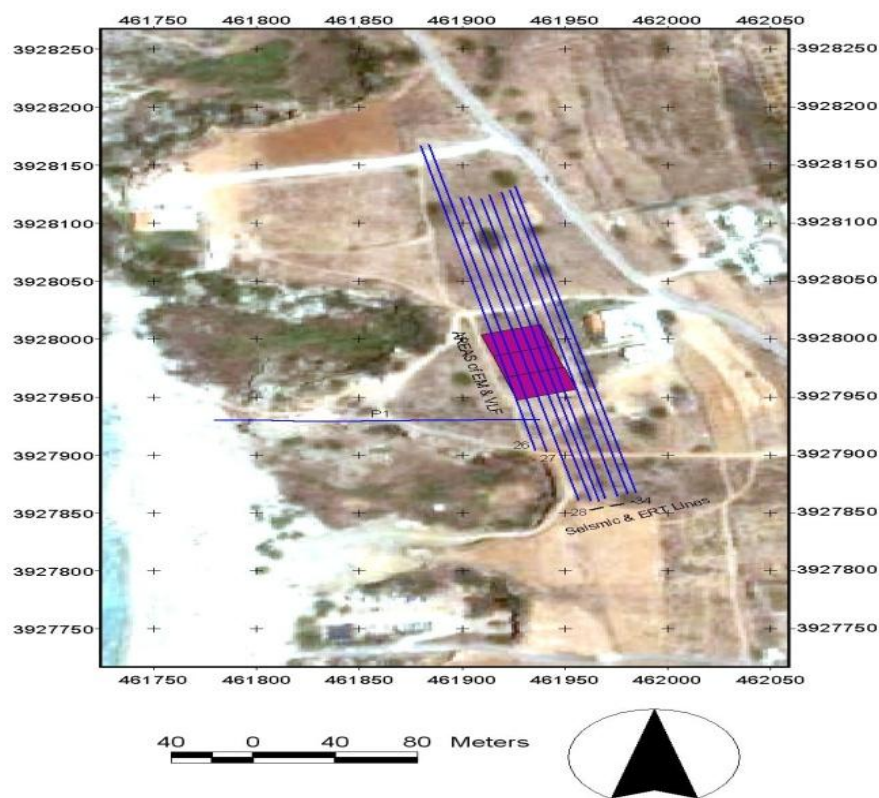
Η εξομάλυνση θεωρείται απαραίτητη για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αστάθειας και μη μοναδικότητας της λύσης που χαρακτηρίζουν την αντιστροφή γεωφυσικών δεδομένων.

Όταν ο περιορισμός των βαθμίδων ικανοποιείται, τότε αν υπάρχει χωρική μεταβολή στις δύο μεταβλητές (ειδική ηλεκτρική αντίσταση και σεισμική ταχύτητα), τα διανύσματα της βαθμίδας τους έχουν την ίδια ή αντίθετη διεύθυνση ανεξάρτητα από το μέτρο τους. Από γεωλογική άποψη, αυτό σημαίνει ότι στα όρια γεωλογικού στρώματος, που ανιχνεύονται και από τις δυο μεθόδους, η βαθμίδα της φυσικής παραμέτρου παραμένει ίδιας διεύθυνσης ανεξάρτητα από το είδος της φυσικής παραμέτρου και το μέγεθος της μεταβολής της (Gallardo and Meju 2003).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ:3

ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή των Φαλασάρνων. Διασκοπήθηκαν 9 παράλληλες γραμμές μελέτης που απείχαν μεταξύ τους περίπου 5 m και στις οποίες πραγματοποιήθηκε διασκοπήση με τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης και της ηλεκτρικής τομογραφίας και μια γραμμή (P_1) στην οποία πραγματοποιήθηκε μόνο ηλεκτρική τομογραφία (Σχήμα:3.1). Οι γραμμές μελέτης F26 και F27 βρίσκονται στα δυτικά των 9 παράλληλων γραμμών και εκτείνονται πιο βόρεια της περιοχής μελέτης. Οι σεισμικές γραμμές μελέτης αποτελούνταν από 1 (F26, F27), 2 (F28, F29, F30, F31, F33), ή 3 (F32, F34) αναπτύγματα των 12 γεωφώνων ιδιοσυχνότητας 0.125 ms, ενώ η διάρκεια καταγραφής στα 500 ms (οι θέσεις των πηγών και των γεωφώνων παρατίθενται στον πίνακα 1 του παραρτήματος Α). Για την ηλεκτρική τομογραφία χρησιμοποιήθηκαν 55 ηλεκτρόδια σε ισαποστάσεις των 5 m (μήκος τομής = 270 m) και ο συνδυασμός των διατάξεων ηλεκτροδίων Wenner και Schlumberger οι οποίες έχουν καλύτερη διακριτική ικανότητα στην κατακόρυφη διεύθυνση. Τόσο οι σεισμικές όσο και οι ηλεκτρικές γραμμές μελέτης διασκοπήθηκαν από N-NA (αρχή) προς B-BΔ (τέλος). Το υψόμετρο της περιοχής εκτιμάται από GPS και Google Earth στα 20-25 m.



Σχήμα:3.1 Χάρτης προσανατολισμού γραμμών μελέτης στην περιοχή των Φαλασάρνων (ΕΓΣΑ 87, Συντεταγμένες χάρτη σε m)

3.1 ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ:

Κατά τη σεισμική διασκόπηση με τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης P-κυμάτων, αρχικά οριοθετείται η γραμμή μελέτης, κατά μήκος της οποίας τοποθετούνται τα γεώφωνα σε ισαπέχουσες θέσεις. Τα γεώφωνα που χρησιμοποιούνται είναι ευαίσθητα στην κατακόρυφη ταλάντωση του εδάφους. Στη συνέχεια, σε προκαθορισμένο σημείο επί της γραμμής μελέτης δημιουργείται τεχνητή σεισμική δόνηση με έκρηξη δυναμίτη ή με απλά μηχανικά χτυπήματα, ενώ στα γεώφωνα καταγράφεται το πλάτος της εδαφικής κίνησης συναρτήσει του χρόνου. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται, τουλάχιστον δύο φορές για κάθε γραμμή μελέτης (ευθύ και αντίστροφο πείραμα), τοποθετώντας την πηγή σε διάφορα σημεία εκατέρωθεν ή και ενδιάμεσα του αναπτύγματος των γεωφώνων, διατηρώντας τις θέσεις αυτών σταθερές.

3.1.1 Σύλλογή σεισμικών δεδομένων:

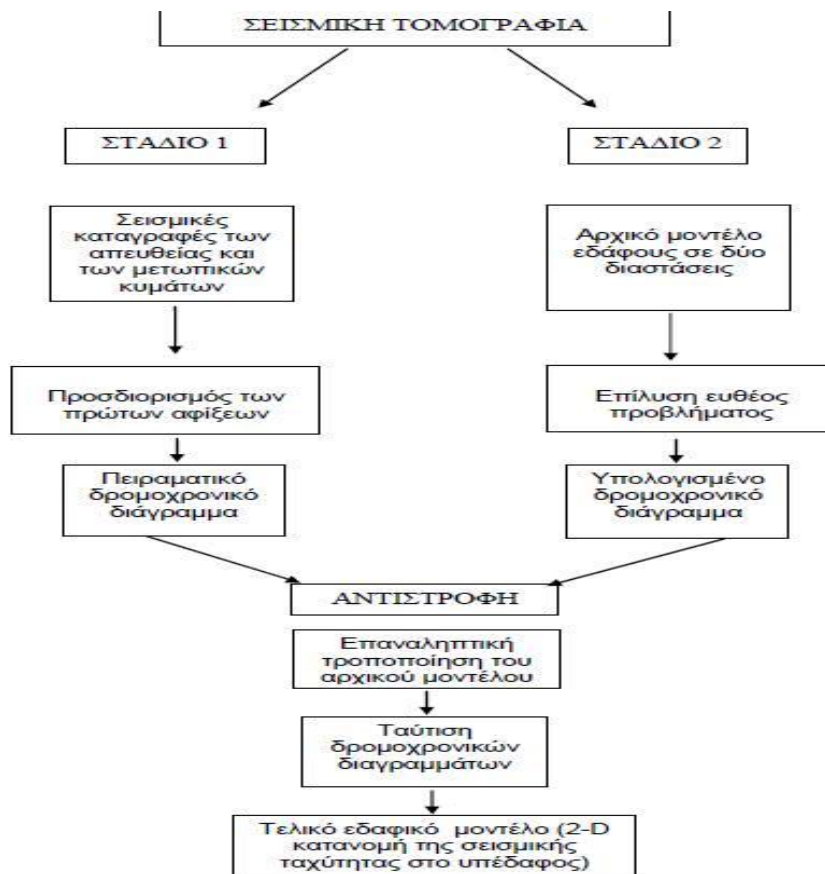
Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στην ύπαιθρο περιελάμβανε:

- Σεισμογράφος 12 καναλιών GEODE της Geometrics ©.
- 12 γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσας ιδιοσυχνότητας Geometrics ©.
- Μία μπαταρία 12 Volt για την τροφοδοσία του σεισμογράφου.
- Ένα καλώδιο σύνδεσης μπαταρίας - σεισμογράφου.
- Ένα καλώδιο με 12 απολήξεις ανά 5 m για την σύνδεση των γεωφώνων με το σεισμογράφο.
- Μία βαριοπούλα 8 kg για την δημιουργία σεισμικών δονήσεων.
- Μία σιδερένια πλάκα διαστάσεων 20 cm x 20 cm πάνω στην οποία κρούεται η βαριοπούλα.
- Ένα πιεζοηλεκτρικό στοιχείο της Mark Products © προσαρτημένο στο στέλεχος της βαριοπούλας για την ενεργοποίηση (triggering) της καταγραφής του σεισμογράφου.
- Καλώδιο 100 m για την σύνδεση του πιεζοηλεκτρικού στοιχείου με τον σεισμογράφο.
- Δύο μεγάλα καρούλια για τα καλώδια των γεωφώνων και ένα μικρότερο για το καλώδιο της πηγής.
- Δύο μετροταινίες των 50 m και μία των 30 m.
- Σιδερένιοι πάσσαλοι για την οριοθέτηση της γραμμής μελέτης.
- Έναν φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή για την διαχείριση και αποθήκευση των καταγραφών.

3.1.2 Επεξεργασία δεδομένων σεισμικής διάθλασης:

Για τη μελέτη του υπεδάφους της εξεταζόμενης περιοχής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας.

Η μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας χρησιμοποιείται κυρίως όταν υπάρχει έντονο ανάγλυφο, όταν υπάρχει πλευρική μεταβολή της σεισμικής ταχύτητας και όταν υπάρχει βαθμιαία μεταβολή στην ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων με το βάθος. Το τελικό αποτέλεσμα της μεθόδου αυτής, είναι μια δυσδιάστατη κατανομή της ταχύτητας στο υπέδαφος. Τα στάδια της επεξεργασίας των δεδομένων με τη μέθοδο σεισμικής τομογραφίας συνοψίζονται στο διάγραμμα ροής του σχήματος:3.2.

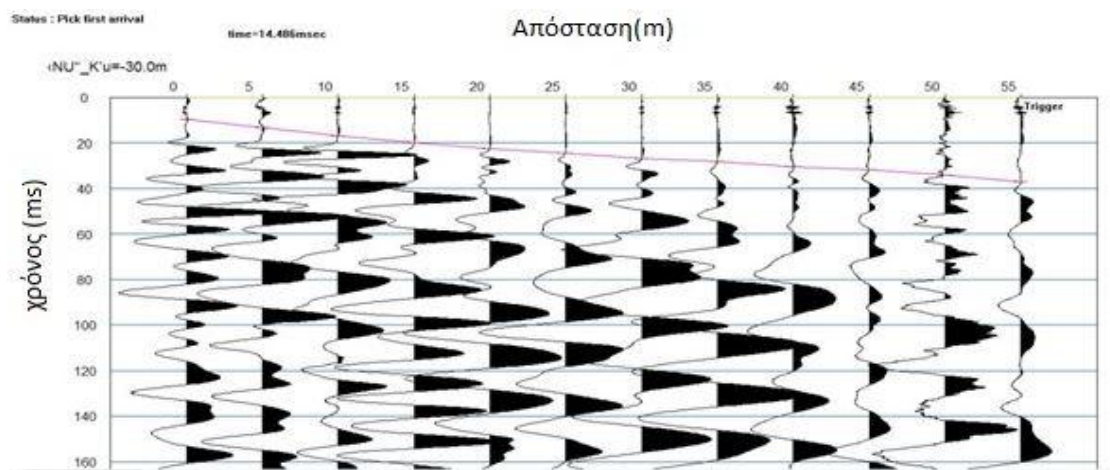


Σχήμα:3.2 Διάγραμμα ροής της σεισμικής τομογραφίας (Σαγκιώτη, 2010)

Το πρόγραμμα επεξεργασίας στο οποίο εισάγονται τα δεδομένα με τη μορφή SEG-2 είναι το PickWin του λογισμικού πακέτου SeisImager^(TM).

Οι καταγραφές των σεισμικών δεδομένων αποτελούνται από σειсмоγράμματα, στα οποία απεικονίζεται για κάθε κανάλι του σεισμογράφου (που αντιστοιχεί σε ένα γεώφωνο) η εδαφική ταλάντωση σε συνάρτηση με το χρόνο.

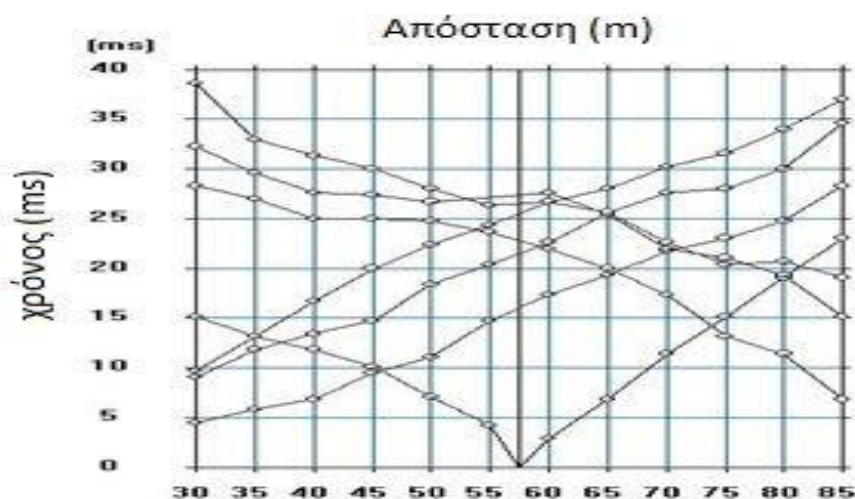
Η επιλογή των πρώτων αφίξεων, δηλαδή της χρονικής στιγμής όπου το έδαφος αρχίζει να ταλαντώνεται σε κάποιο γεώφωνο, πραγματοποιείται αυτόματα από το λογισμικό με δυνατότητα παρέμβασης-διόρθωσης από το χρήστη.



Σχήμα:3.3 Επιλογή των πρώτων αφίξεων, γραμμή μελέτης F27, θέση πηγής στα 30 m

3.1.3 Δημιουργία δρομοχρονικών διαγραμμάτων:

Με τη βοήθεια του προγράμματος Plotrefa οι πρώτες αφίξεις απεικονίζονται ως δρομοχρονικά διαγράμματα. Εκτιμάται ο αριθμός των στρωμάτων καθώς ένδειξη ύπαρξης διαφορετικού στρώματος αποτελεί κάθε σημείο που παρατηρείται αλλαγή στη κλίση της καμπύλης των πρώτων αφίξεων.



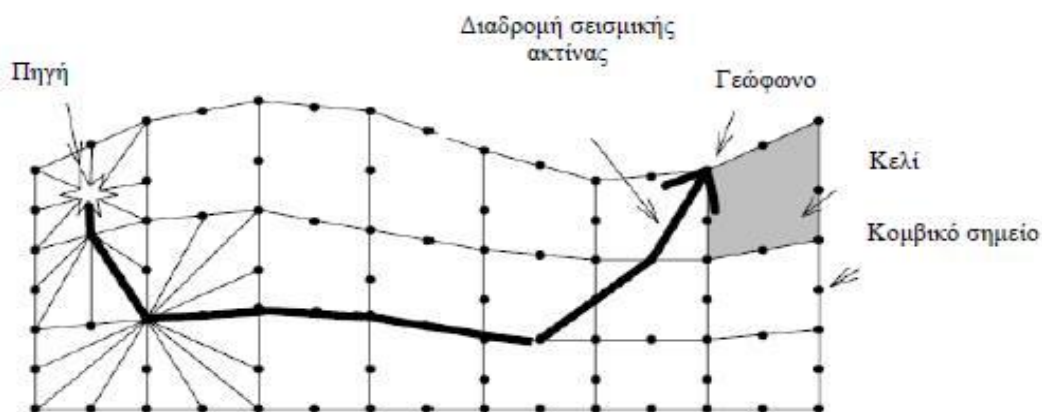
Σχήμα:3.4 Δρομοχρονικό διάγραμμα της γραμμής F27

Η μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας προϋποθέτει την ύπαρξη του αρχικού εδαφικού μοντέλου. Αυτό μπορεί να είναι ένα οριζόντια στρωματομένο μοντέλο ή ένα μοντέλο το οποίο έχει προέλθει από προεπεξεργασία με τη μέθοδο της αντιστροφής των χρόνων πρώτων αφίξεων (Time team Inversion).

Στη παρούσα εργασία επιλέχθηκε η χρήση του λογισμικού πακέτου SeisImager, όπου δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να παρέμβει (όπου είναι απαραίτητο) στη γεωμετρία του πειράματος. Με φίλτρα για την απομάκρυνση του θορύβου, ενισχυτές για το πλάτος των κυμάτων και άλλα μέσα, το πρόγραμμα αυτό παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα να βελτιώσει την εμφάνιση των ιχνών, ώστε οι πρώτες αφίξεις να μπορούν να διακριθούν πιο εύκολα.

Το αρχικό μοντέλο χωρίζεται σε κελιά σταθερής ταχύτητας, οι πλευρές των οποίων διακριτοποιούνται από τα κομβικά σημεία.

Ακολουθώς το λογισμικό σχεδιάζει όλες τις πιθανές διαδρομές τις οποίες μπορεί να έχει ακολουθήσει η σεισμική ακτίνα κατά τη διαδρομή της από κάθε πηγή προς κάθε γεώφωνο. Η σεισμική ακτίνα διαδίδεται από την πηγή προς το γεώφωνο μέσω των κομβικών σημείων. Από όλες τις πιθανές διαδρομές μιας σεισμικής ακτίνας επιλέγεται η διαδρομή με τον ελάχιστο χρόνο(πρώτη άφιξη).



Σχήμα:3.5 Αρχικό εδαφικό μοντέλο χωρισμένο σε κελιά σταθερής ταχύτητας (Μενάγιας, 2009)

1. Χρήση οριζόντια στρωματωμένου μέσου ως αρχικό μοντέλο:

Το αρχικό μοντέλο μπορεί να αποτελείται από οριζόντια σεισμικά στρώματα όπως έγινε και στη συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς είναι πιο εύκολο και δεν απαιτεί ιδιαίτερη πείρα. Στην περίπτωση αυτή, θεωρείται ότι δεν υπάρχει προγενέστερη γνώση των παραμέτρων του μοντέλου και επομένως ο χρήστης χρησιμοποιεί ως δεδομένα τους χρόνους πρώτων αφίξεων και δημιουργεί ως αρχικό εδαφικό μοντέλο ένα οριζόντια στρωματωμένο μέσο.

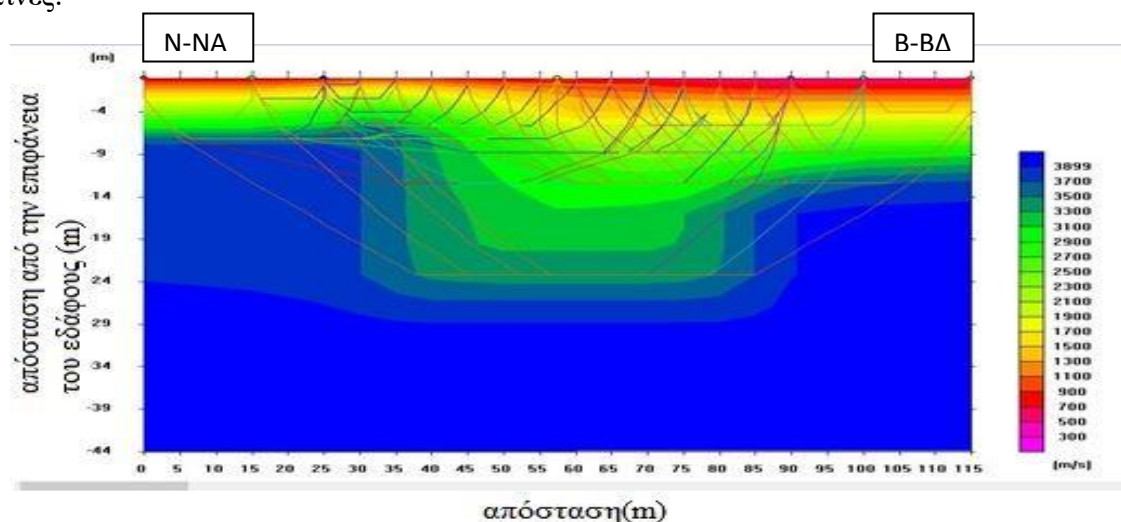
2. Χρήση μη οριζόντια στρωματωμένου μέσου ως αρχικό μοντέλο:

Στη διαδικασία επεξεργασίας σεισμικών δεδομένων με τη βοήθεια της σεισμικής τομογραφίας μπορεί το αρχικό μοντέλο να είναι το μοντέλο βάθους που προέκυψε από προεπεξεργασία που περιλαμβάνει την αντιστοίχιση των πρώτων αφίξεων με τα εδαφικά στρώματα και την αντιστροφή των χρόνων διαδρομής. Η χρήση αυτού ως αρχικό μοντέλο, οδηγεί πιο κοντά στο τελικό εδαφικό μοντέλο που προκύπτει από τη μέθοδο της σεισμικής τομογραφίας. Μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι για την αντιστοίχιση των πρώτων αφίξεων με τα εδαφικά στρώματα απαιτείται εμπειρία, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις πολύπλοκων γεωλογικών δομών.

Αρχικά τα πειραματικά δρομοχρονικά διαγράμματα εισάγονται στο λογισμικό Plotrefa και ορίζονται οι παράμετροι δημιουργίας ενός οριζόντια στρωματωμένου μέσου. Οι παράμετροι αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

- Αριθμός επαναλήψεων.
- Αριθμός κόμβων ανά στοιχείο διακριτοποίησης.
- Οριζόντια και κατακόρυφη εξομάλυνση της ταχύτητας.
- Αριθμός επαναλήψεων εξομάλυνσης.
- Συντελεστής εξομάλυνσης.
- Ελάχιστη και μέγιστη ταχύτητα διάδοσης σεισμικών κυμάτων.
- Ελάχιστη και μέγιστη ταχύτητα διάδοσης σεισμικών κυμάτων: Ορίστηκε από 300 έως 4000 m/s.

Μετά την ολοκλήρωση όλων των επαναλήψεων, το λογισμικό απεικονίζει το τελικό μοντέλο βάθους (Σχήμα:3.6). Οι τεθλασμένες γραμμές αντιστοιχούν στις υπολογιζόμενες σεισμικές ακτίνες.



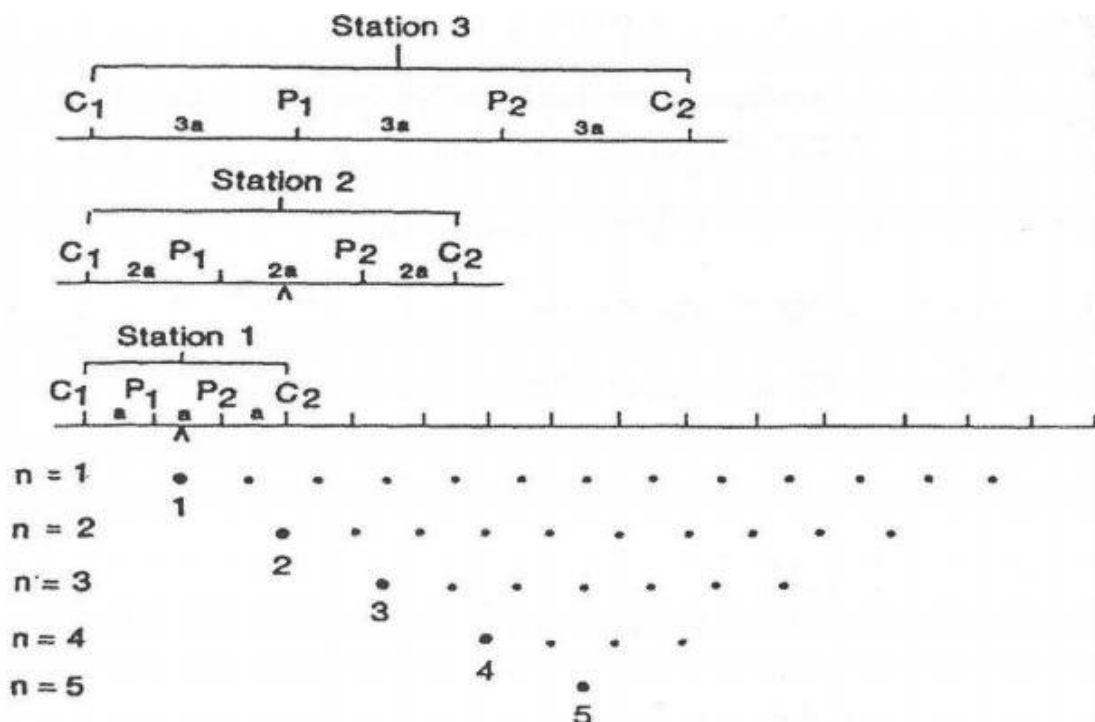
Σχήμα:3.6 Τελικό μοντέλο βάθους για τη γραμμή μελέτης F27. Φαίνονται οι ακτίνες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους (σε m) και ο οριζόντιος τις αποστάσεις κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων (σε m/s)

3.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ:

3.2.1 Διεξαγωγή της ηλεκτρικής τομογραφίας:

Η συλλογή δεδομένων με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας στην περιοχή των Φαλασάρνων πραγματοποιήθηκε με συνδυασμό των διατάξεων Wenner και Schlumberger, ακολουθώντας την παρακάτω διαδικασία:

- Αναπτύσσεται η γραμμή μελέτης όσο το δυνατόν σε ευθεία γραμμή και παράλληλα στη παράταξη των γεωλογικών σχηματισμών.
- Κατά μήκος της γραμμής μελέτης τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια σε σταθερή απόσταση (a) μεταξύ τους. Δίπλα σε αυτά τοποθετούνται αριθμημένες σημαίες για την εύκολη διάκρισή τους.
- Το όργανο συνδέεται με τα καλώδια, και τοποθετείται δίπλα στη γραμμή μελέτης.
- Τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού οριοθετούνται σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους (διάταξη Wenner). Τα ηλεκτρόδια ρεύματος συνδέονται με τα καλώδια μέσω των οποίων διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα γνωστής έντασης I και μετράται η διαφορά ΔV μεταξύ δυο αντίστοιχων ηλεκτροδίων.
- Στη συνέχεια μετακινείται το κέντρο των ηλεκτροδίων κατά απόσταση (a) από την προηγούμενη θέση και επαναλαμβάνεται η διαδικασία των μετρήσεων.
- Για μέτρηση σε μεγαλύτερο βάθος, διαδοχικά τα ηλεκτρόδια του ρεύματος τοποθετούνται σε μεγαλύτερη απόσταση από το κέντρο της διάταξής τους (πολλαπλάσια της αρχικής απόστασης a , δηλαδή $2a$, $3a$, κ.λ.π.) για να επαναληφθεί η ίδια διαδικασία σε ολοένα και μεγαλύτερες αποστάσεις. Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3.6, για μέτρηση βάθους ως το σημείο 1, οι θέσεις των ηλεκτροδίων είναι αυτές που απεικονίζονται στο σταθμό 1 (station 1), ενώ για την πραγματοποίηση μέτρησης σε βάθος που αντιστοιχεί στο σημείο 2, τα ηλεκτρόδια βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους όπως απεικονίζονται στο σταθμό 2 (station 2).
- 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.
- Οι αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος, οι τιμές της έντασης του ρεύματος και της διαφοράς δυναμικού καταγράφονται για τον υπολογισμό της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και τη δημιουργία ψευδοτομής (Σχήμα 3.7).



Σχήμα:3.7 Σημεία μέτρησης των φαινόμενων ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων με τη χρήση της διάταξης ηλεκτροδίων Wenner (Βαφείδης, 2001)

3.2.2 Εξοπλισμός ηλεκτρικής τομογραφίας:

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται συνήθως κατά την εφαρμογή της μεθόδου της ηλεκτρικής τομογραφίας αποτελείται από :πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όργανα μέτρησης του δυναμικού και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, ηλεκτρόδια και μονωμένα καλώδια μεγάλου μήκους.

Κατά την πραγματοποίηση των γεωλογικών τομογραφιών ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι:

1. Τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού είναι απλές ανοξείδωτοι ράβδοι από χάλυβα.
2. Μετροταινίες.
3. GPS για την οριοθέτηση των άκρων της γραμμής.
4. Όργανο Μέτρησης: Κατά την εκτέλεση της ηλεκτρικής τομογραφίας χρησιμοποιήθηκε όργανο μέτρησης ειδικών αντιστάσεων, STING-R1,
 - ✓ το οποίο εισάγει στη γη ρεύμα AC, που η ένταση του κυμαίνεται μεταξύ 0,1-200 mA και
 - ✓ μετράει τάση σε τάξη μεγέθους 0,05 Volt.

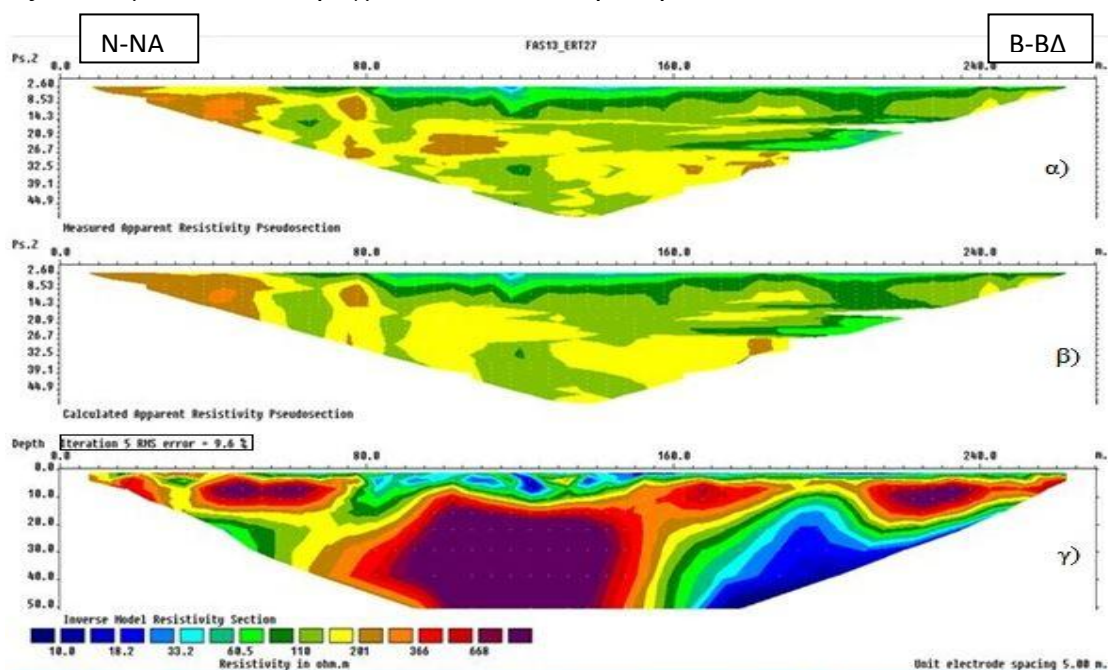
3.2.3 Επεξεργασία δεδομένων ηλεκτρικής τομογραφίας:

Η επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό RES2DINV.

Πιο συγκεκριμένα το λογισμικό RES2DINV πραγματοποιεί την αντιστροφή των γεωηλεκτρικών δεδομένων (φαινόμενες ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις καταναμημένες σε ψευδοτομή), δηλαδή υπολογίζει τη πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ .

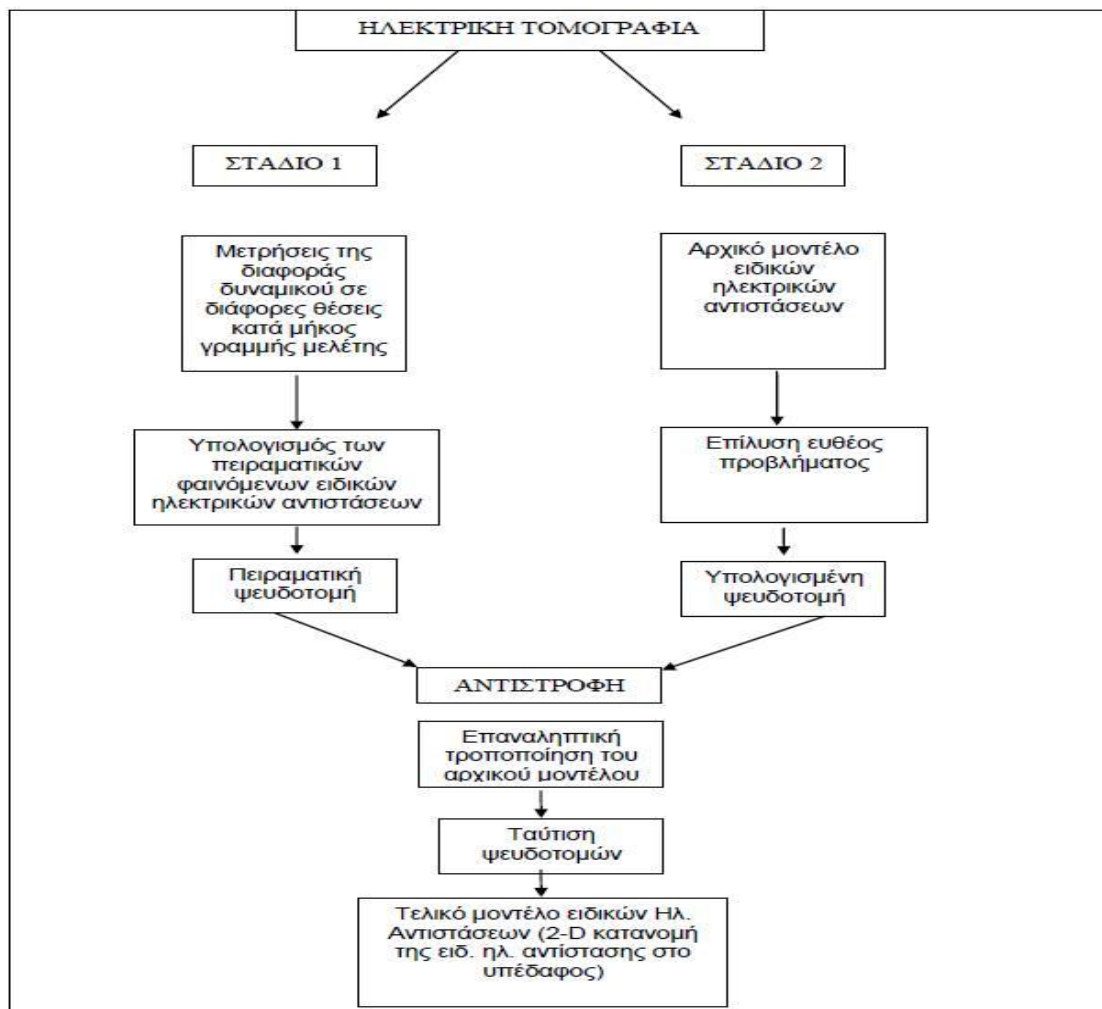
Ειδικότερα το πρόγραμμα αυτό χωρίζει το υπέδαφος σε έναν αριθμό ορθογωνίων παραλληλογράμμων και θεωρεί σταθερή την πραγματική ειδική αντίσταση σε κάθε ένα από αυτά. Ξεκινώντας από το αρχικό μοντέλο υπολογίζονται οι τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό και συγκρίνονται με τις μετρημένες τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Πραγματοποιώντας διαδοχικές επαναλήψεις, τροποποιεί τις ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις του αρχικού γεωηλεκτρικού μοντέλου με στόχο τη διαρκή μείωση του σφάλματος, δηλαδή της διαφοράς μεταξύ θεωρητικών και μετρούμενων τιμών της φαινόμενης ειδικής αντίστασης ως τελικό επιλέγεται αυτό με το μικρότερο σφάλμα. Χαρακτηριστικό των όσων προαναφέρθηκαν είναι το (σχήμα:3.8) όπου διακρίνονται οι ψευδοτομές των μετρούμενων τιμών της φαινόμενης αντίστασης, των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης αντίστασης, καθώς και το μοντέλο των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων.



Σχήμα:3.8 Γραμμή μελέτης F27.Ψευδοτομή α) των μετρούμενων και β) των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. γ) γεωηλεκτρικό μοντέλο (τομή πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων) από το οποίο προέκυψε η ψευδοτομή (β). Το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ (α) και (β) είναι 9.6%

Στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί (Σχήμα:3.9), παρουσιάζεται συνοπτικά η επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας:



Σχήμα:3.9 Διάγραμμα ροής της ηλεκτρικής τομογραφίας (Σαγκιώτη,2010)

3.3 Συνδυασμένη αντιστροφή:

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, χρησιμοποιήθηκε αλγόριθμος συνδυασμένης αντιστροφής γεωηλεκτρικών και σεισμικών δεδομένων σε περιβάλλον Matlab™, που βασίστηκε στην μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων με περιορισμό των βαθμίδων που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο και αναπτύχθηκε από τον Δρ.Hamdan (2010), στα πλαίσια της διδακτορικής του διατριβής .

Αρχικά εισάγονται τα δεδομένα και η γεωμετρία των πειραμάτων της ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας. Στην συνέχεια δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει τις

παραμέτρους της αντιστροφής, όπως οι παράγοντες κανονικοποίησης (α_r και α_s) ο βοηθητικός παράγοντας απόσβεσης β , το είδος του πίνακα κανονικοποίησης (απόσβεση, εξομάλυνση κ.λ.π), ενώ ορίζονται και οι διαστάσεις του αρχικού σεισμικού μοντέλου.

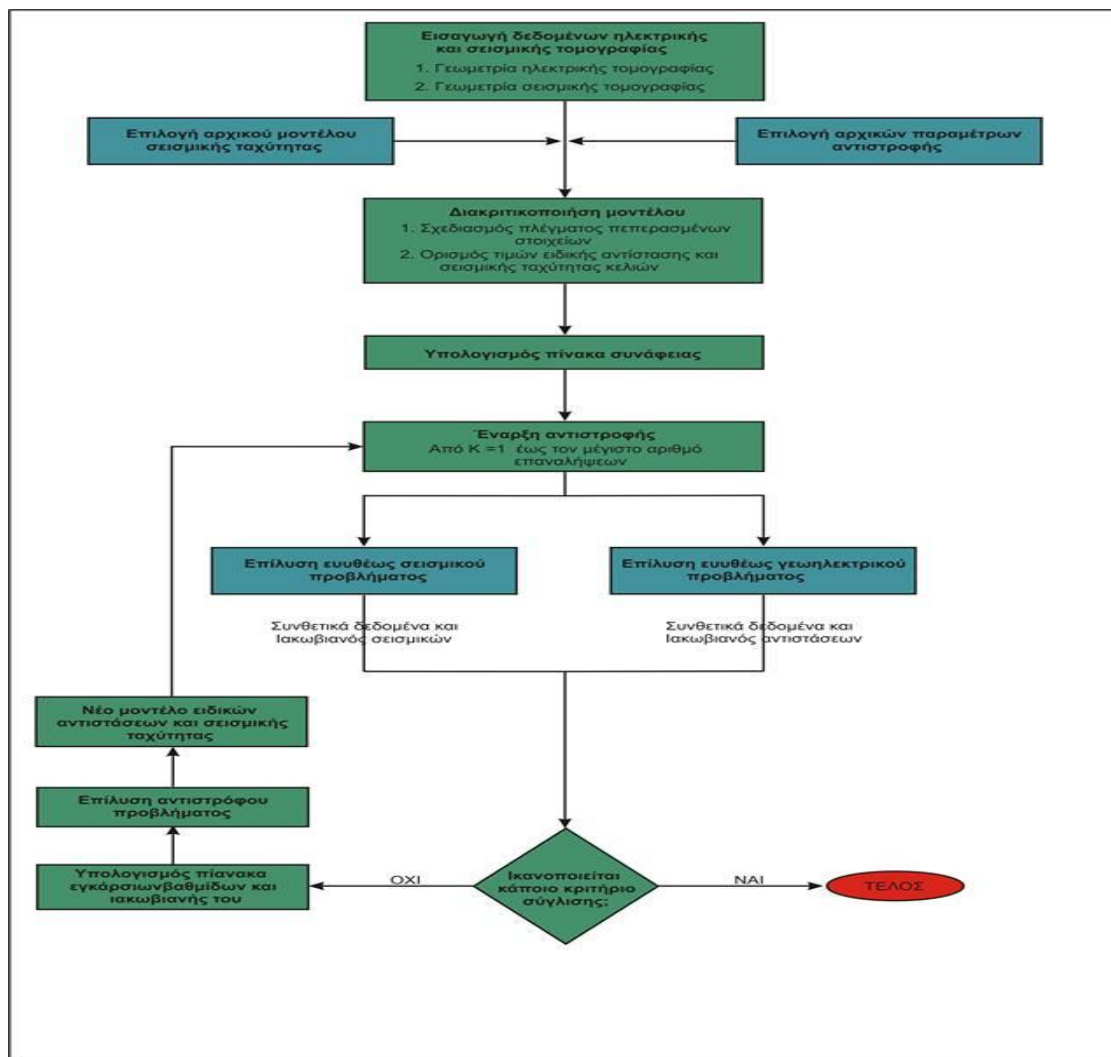
Μετά από την εισαγωγή των δεδομένων και των παραμέτρων αντιστροφής, πραγματοποιείται η διακριτοποίηση του σεισμικού μοντέλου σε ένα πεπερασμένο αριθμό κελιών, που είναι ίδια με αυτή του γεωηλεκτρικού μοντέλου.

Το επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή του αρχικού μοντέλου της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της σεισμικής ταχύτητας. Το αρχικό ηλεκτρικό μοντέλο είναι ομοιογενές με ειδική ηλεκτρική αντίσταση ίση με το μέσο όρο των μετρήσεων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Στην περίπτωση του αρχικού σεισμικού μοντέλου ο χρήστης καλείται να ορίσει τον αριθμό των στρωμάτων και την σεισμική ταχύτητα τους. Τονίζεται ότι η σεισμική ταχύτητα αντιστοιχεί στους κόμβους των κελιών (λόγω της μεθόδου με την οποία επιλύεται το ευθύ πρόβλημα των σεισμικών). Από αυτές τις τιμές υπολογίζεται η ταχύτητα στο κέντρο κάθε κελιού χρησιμοποιώντας γραμμική παρεμβολή.

Στην συνέχεια δημιουργούνται οι πίνακες κανονικοποίησης ηλεκτρικών και σεισμικών δεδομένων, και πραγματοποιείται η επίλυση του ευθέως προβλήματος για την κάθε μέθοδο ξεχωριστά. Οι υπολογισμένες τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και πρώτων αφίξεων χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του Ιακωβιανού πίνακα των αντιστάσεων και της σεισμικής ταχύτητας ξεχωριστά.

Εφόσον υπολογισθούν οι Ιακωβιανοί πίνακες η διαδικασία της αντιστροφής ξεκινά. Σε κάθε επανάληψη υπολογίζεται το καινούργιο μοντέλο των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων και της σεισμικής ταχύτητας, τα οποία χρησιμοποιούνται για την επίλυση του ευθέως γεωηλεκτρικού και σεισμικού προβλήματος της νέας επανάληψης. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι το RMS να θεωρείται ικανοποιητικό και για τα δύο μοντέλα (ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και σεισμικής ταχύτητας), ή όταν η τροποποίηση είναι πολύ μικρή.

Η διαδικασία αυτή της συνδυασμένης αντιστροφής απεικονίζεται αναλυτικά στο Σχήμα:3.10.



Σχήμα:3.10 Απλοποιημένο διάγραμμα ροής του αλγόριθμου συνδυασμένης αντιστροφής (Hamdan, 2010)

3.3.1 Προετοιμασία δεδομένων συνδυασμένης αντιστροφής:

Αρχικά μετατρέπονται τα δεδομένα της σεισμικής και ηλεκτρικής τομογραφίας, των 9 γραμμών μελέτης που χρησιμοποιήθηκαν στη περιοχή των Φαλασάρνων σε πίνακες Matlab.

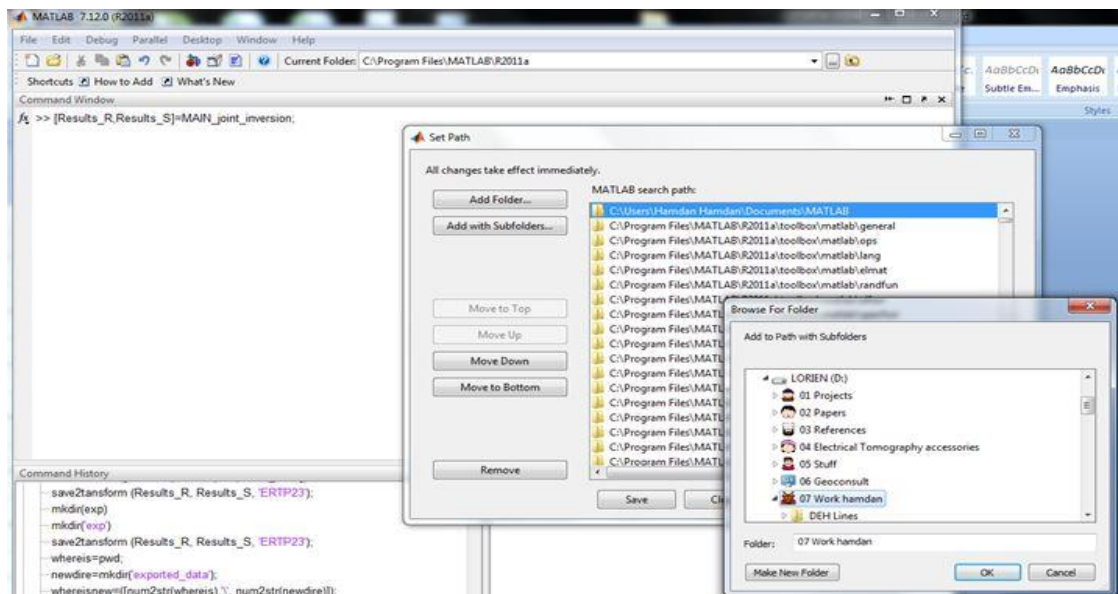
Πιο συγκεκριμένα, για τη σεισμική τομογραφία δημιουργήθηκε ένα controlfile (.txt) για κάθε γραμμή μελέτης στο οποίο αναγράφονται τα ονόματα 7 διαφορετικών αρχείων που το καθένα από αυτά περιέχει πληροφορίες όπως για τον αριθμό των πηγών και γεωφώνων, χρόνους άφιξης κ.α. Τα αρχεία αυτά είναι τα παρακάτω:

- input file (αρχείο για τη δημιουργία του πλέγματος).
- xyz data file (πληροφορίες για το πλέγμα στη περίπτωση που τα κελιά έχουν διαφορετικό μέγεθος, σε διαφορετικές διαστάσεις).
- velocity file (αρχείο ταχυτήτων αρχικού μοντέλου).
- source file (αρχείο με τις συντεταγμένες των πηγών).
- receiver file (αρχείο με τις συντεταγμένες των γεωφώνων).
- real time file (αρχείο με τα δεδομένα των πρώτων αφίξεων και σε ποια πηγή αντιστοιχούν).
- defbend file (παράμετροι αντιστροφής).

Για την ηλεκτρική τομογραφία μετατρέπονται τα δεδομένα των γραμμών μελέτης σε αρχεία (.d) για κάθε γραμμή με τη βοήθεια των αρχείων excel που δημιουργήθηκαν. Τα αρχεία αυτά παρέχουν τις συντεταγμένες ηλεκτροδίων ρεύματος (A και B) και δυναμικού (M και N) καθώς και τις τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

3.3.2 Επεξεργασία δεδομένων συνδυασμένης αντιστροφής:

Μόλις ξεκινήσει το πρόγραμμα της Matlab αποθηκεύεται η διαδρομή (set path) όπου βρίσκεται ο αλγόριθμος συνδυασμένης αντιστροφής και τα δεδομένα εισόδου που έχουν δημιουργηθεί. Επιλέγεται Save και Close.



Σχήμα:3.11 Απεικόνιση αποθήκευσης διαδρομής όπου βρίσκεται ο αλγόριθμος συνδυασμένης αντιστροφής

Ορίζεται ως τρέχον φάκελος (current folder), όπου βρίσκονται τα δεδομένα εισόδου που έχουν δημιουργηθεί.

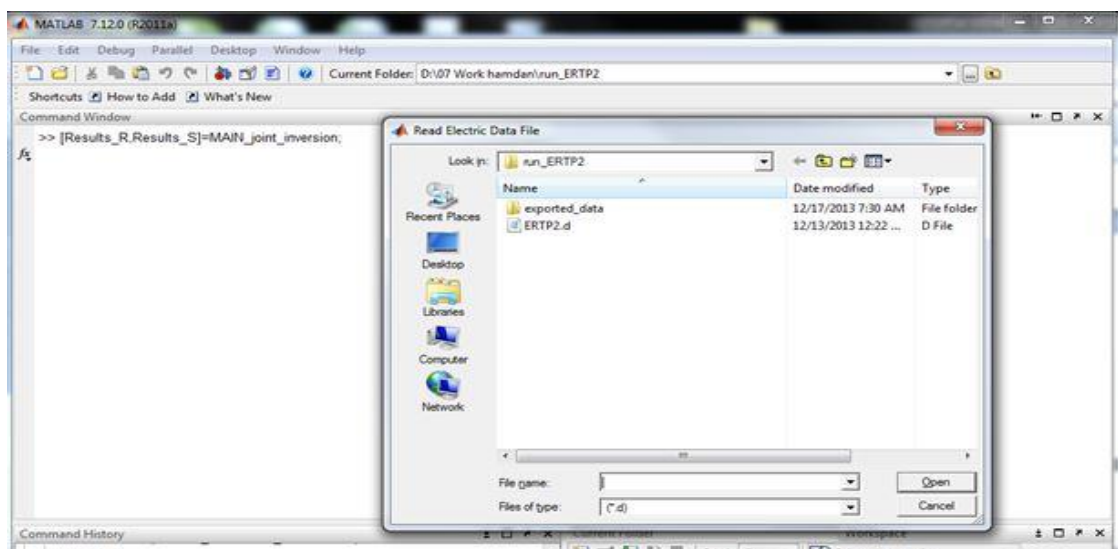
Στο κεντρικό παράθυρο εντολών της Matlab (Command Window) πληκτρολογείται η παρακάτω εντολή:

[Results_R,Results_S]=MAIN_joint_inersion;

Το Results_R είναι μέρος των δεδομένων εξόδου στο οποίο εμπεριέχονται όλα τα αποτελέσματα σχετικά με τα ηλεκτρικά δεδομένα.

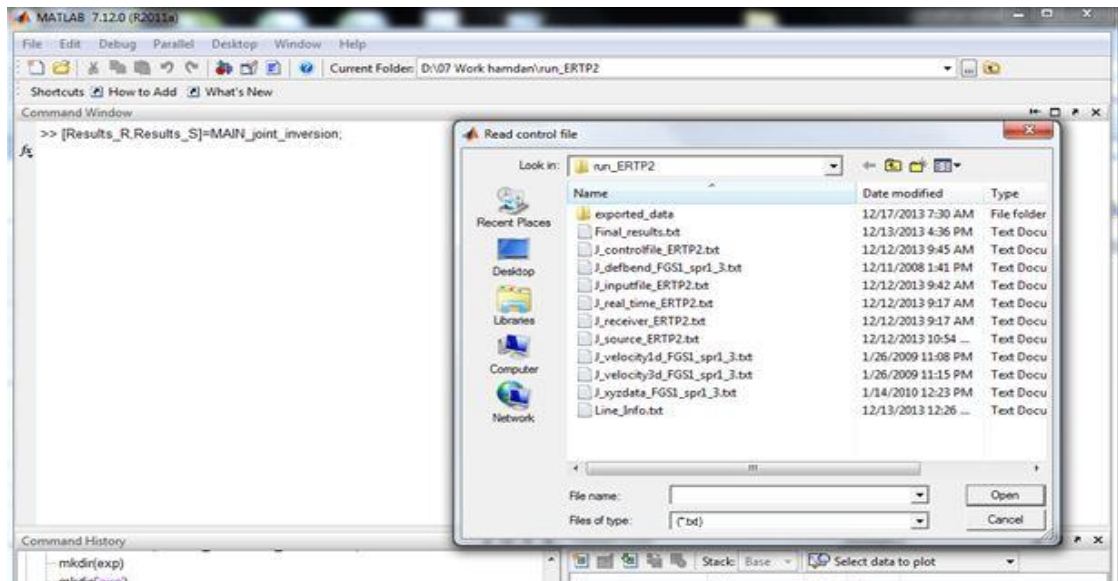
Το Results_S είναι μέρος των δεδομένων εξόδου στο οποίο εμπεριέχονται όλα τα αποτελέσματα σχετικά με τα σεισμικά δεδομένα.

Στην συνέχεια εμφανίζεται παράθυρο, στο οποίο ζητείται από τον χρήστη να επιλέξει το αρχείο με τα ηλεκτρικά δεδομένα (δηλαδή αρχείο με κατάληξη (.d), (Σχήμα:3.12).



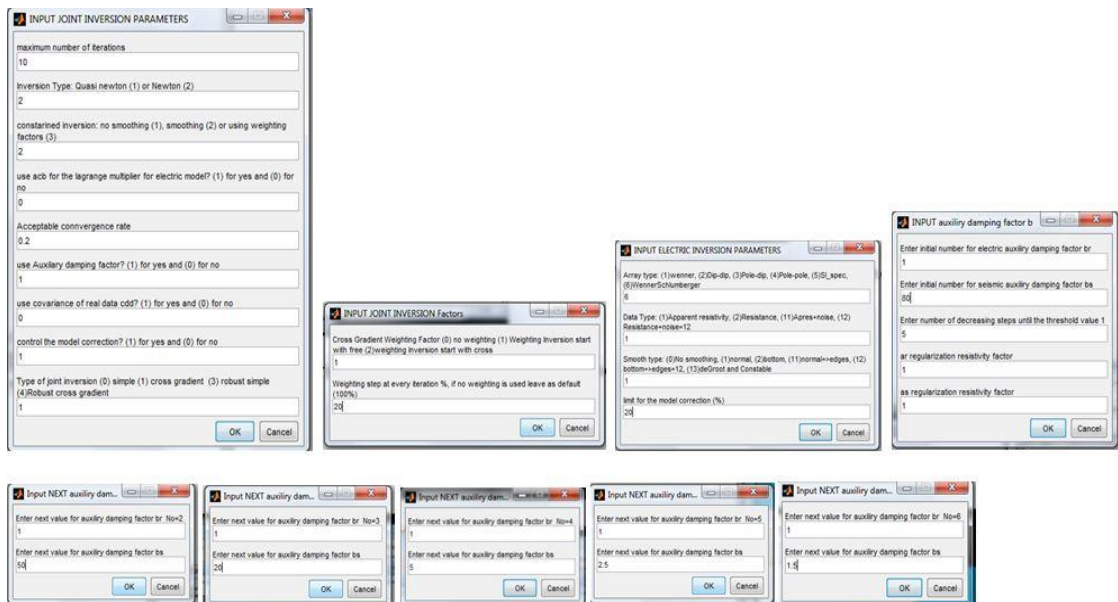
Σχήμα:3.12(Απεικόνιση επιλογής αρχείου (.d) όπου εμπεριέχει τα ηλεκτρικά δεδομένα.)

Έπειτα εμφανίζεται παράθυρο στο οποίο ομοίως ζητείται από τον χρήστη να επιλέξει το control file για την εισαγωγή των σεισμικών δεδομένων (Σχήμα:3.13).

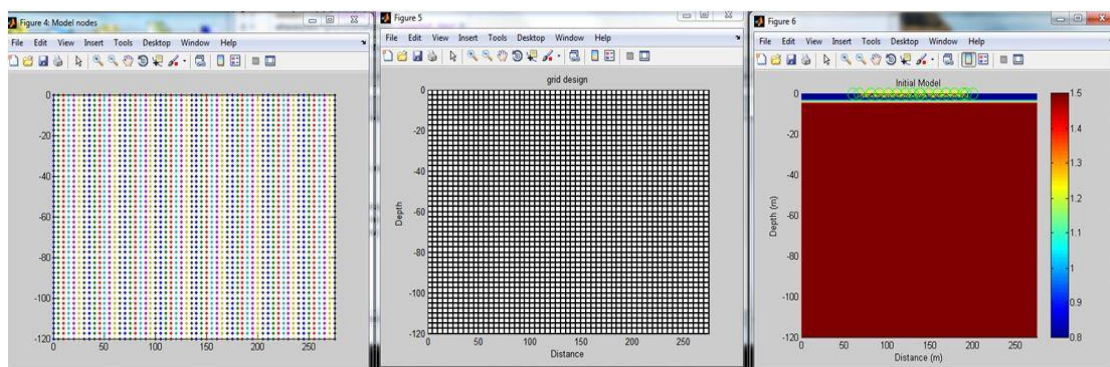


Σχήμα:3.13 Απεικόνιση επιλογής του control file

Τέλος, εμφανίζονται παράθυρα εισαγωγής παραμέτρων συνδυασμένης αντιστροφής (Σχήμα:3.14) και στη συνέχεια ξεκινάει η διαδικασία της συνδυασμένης αντιστροφής με την απεικόνιση του κανάβου και του αρχικού σεισμικού και γεωηλεκτρικού μοντέλου (Σχήμα:3.15).



Σχήμα:3.14 Απεικόνιση εισαγωγής παραμέτρων συνδυασμένης αντιστροφής



Σχήμα:3.15 Απεικόνιση αρχικού γεωηλεκτρικού μοντέλου (αριστερά προς τα δεξιά, κόμβοι, κάναβος και μοντέλο) μετά την εισαγωγή των παραμέτρων συνδυασμένης αντιστροφής

Όταν ολοκληρωθεί η συνδυασμένη αντιστροφή, βρίσκονται στα παράθυρα μεταβλητών της Matlab, δυο πίνακες (Results_R και Results_S), οι οποίοι θα πρέπει να αποθηκευτούν σαν mat αρχεία για μετέπειτα απεικόνιση των αποτελεσμάτων στο λογισμικό transform .

Επίσης, στον επιλεγμένο στα πρώτα βήματα φάκελο, αποθηκεύονται αυτόματα δύο txt αρχεία (Final_results.txt και Line_Info.txt) τα οποία περιέχουν το γεωηλεκτρικό και σεισμικό μοντέλο της τελευταίας επανάληψης καθώς και περεταίρω πληροφορίες για τα αποτελέσματα της συνδυασμένης αντιστροφής. Αυτό επιτυγχάνεται με την εξής εντολή:

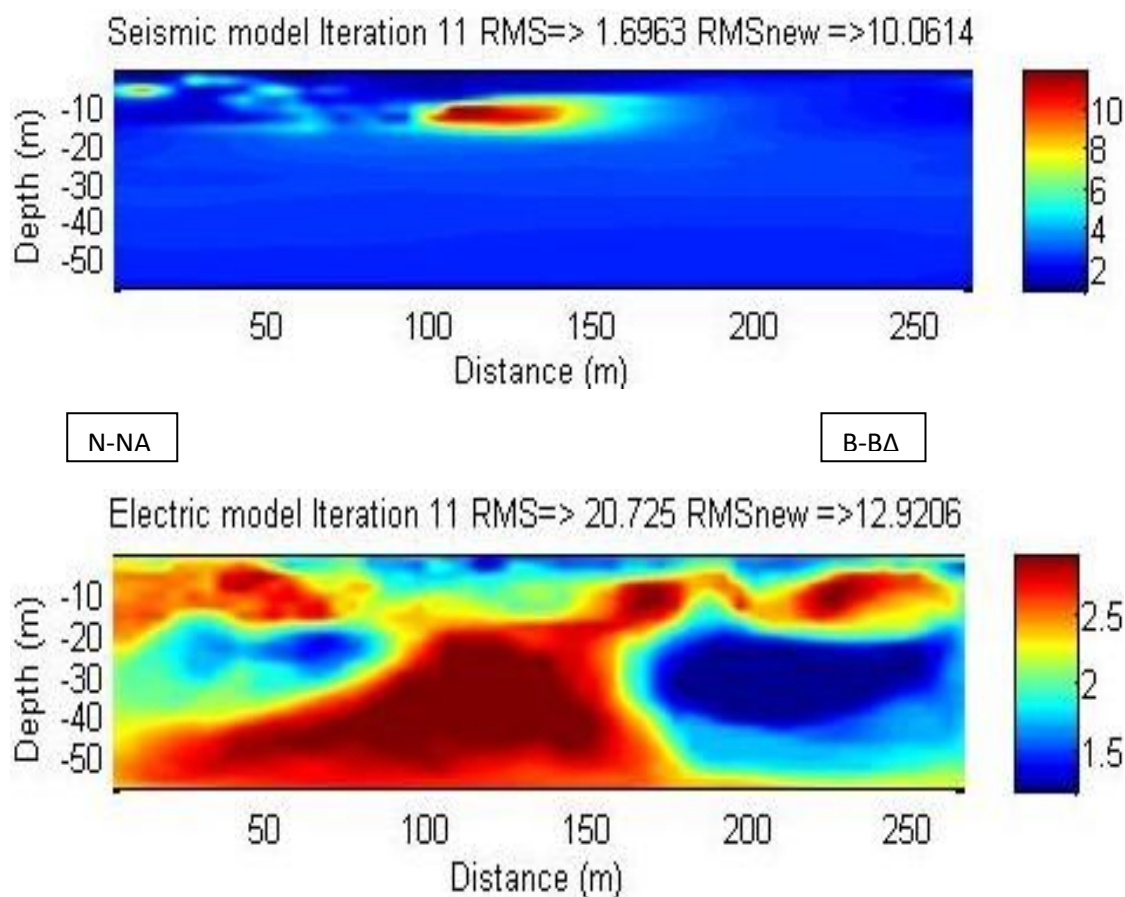
Save2transform(Results_R, Results_S,“ERT”);

Αυτή η διαδικασία επαναλήφθηκε 9 φορές ώστε να επιτευχθεί η αντιστροφή των δεδομένων για όλες τις γραμμές μελέτης.

Η διαδικασία της συνδυασμένης αντιστροφής απαιτεί αρκετό χρονικό διάστημα για την ολοκλήρωσή της, αναλόγως με ποια γραμμή μελέτης επεξεργάζεται.

Για παράδειγμα στη γραμμή μελέτης 27 η οποία αποτελείται από δυο σεισμικά αναπτύγματα 12 γεωφώνων και μια γραμμή ηλεκτρικής τομογραφίας με 55 ηλεκτρόδια, η διαδικασία της συνδυασμένης αντιστροφής χρειάστηκε περίπου τέσσερις ώρες και τριάντα λεπτά.

Από την αντιστροφή της σεισμικής διάθλασης και ηλεκτρικής τομογραφίας καταλήγουμε στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα:3.16 Συνδυασμός δεδομένων σεισμικής διάθλασης και ηλεκτρικής τομογραφίας της γραμμής μελέτης F27. Η χρωματική κλίμακα στη σεισμική διάθλαση αντιστοιχεί στη ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων (m/ms), ενώ στη ηλεκτρική τομογραφία αντιστοιχεί στον δεκαδικό λογάριθμο ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Ωm)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ:4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας που προέκυψαν από την επεξεργασία των σεισμικών και γεωηλεκτρικών δεδομένων και την διαδικασία της συνδυασμένης αντιστροφής.

Γενικά χρησιμοποιήθηκαν τα σεισμικά και τα ηλεκτρικά δεδομένα στο σύνολο τους. Ωστόσο σεισμικά δεδομένα τα οποία ήταν εκτός γραμμής μελέτης (0-270 m) αφαιρέθηκαν με σκοπό την πλήρη αλληλοεπικάλυψη των σεισμικών και ηλεκτρικών δεδομένων. Για παράδειγμα σεισμικά δεδομένα ορισμένων γραμμών μελέτης που επεξεργάστηκαν ξεκινούσαν πριν τα 0 m της γεωηλεκτρικής γραμμής με αποτέλεσμα να μην χρησιμοποιηθούν στην συνδυασμένη αντιστροφή. Ακόμη επειδή οι μετρήσεις της σεισμικής διάθλασης δεν φθάνουν τα 270 m (τέλος της γεωηλεκτρικής γραμμής μελέτης μας) μέρος από τις γεωηλεκτρικές τομογραφίες δεν παρουσιάζονται ώστε να είναι συγκρίσιμα τα σεισμικά με τα ηλεκτρικά δεδομένα (οι σεισμικές και οι γεωηλεκτρικές τομές όπως προέκυψαν μετά το τέλος της αντιστροφής παρατίθενται αυτούσιες στο παράρτημα Β).

4.1 Αποτελέσματα από μεμονωμένη επεξεργασία:

Κατά τη μεμονωμένη επεξεργασία πραγματοποιήθηκε αντιστροφή μεμονωμένα στα σεισμικά δεδομένα και αντίστοιχα στα ηλεκτρικά.

Μετά την επεξεργασία των δεδομένων της σεισμικής διάθλασης και της ηλεκτρικής τομογραφίας οι τομές που προέκυψαν προσαρμόστηκαν στην ίδια κλίμακα με σκοπό την καλύτερη απεικόνιση των αποτελεσμάτων.

Από την ερμηνεία των συνδυαστικών τομών και χρησιμοποιώντας τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής μελέτης, απεικονίστηκαν οι κυριότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι αποτελούνται από μάργες, μαργαϊκούς ψαμμίτες και ασβεστόλιθους καθώς επίσης και η ύπαρξη του φαινομένου της υφαλμύρωσης.

Γραμμή μελέτης F26

Η σεισμική γραμμή F26 αποτελείται από ένα ανάπτυγμα γεωφώνων (0-55 m). Στη γραμμή αυτή αναπτύχθηκε και ηλεκτρική γραμμή.

Στη σεισμική τομή της εν λόγω γραμμής που προκύπτει (Σχήμα:4.2) απεικονίζονται οι θέσεις των πηγών και οι ακτίνες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, των οποίων το μέγιστο βάθος διάδοσης είναι περίπου τα 20 m. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά αντιστοιχεί στη ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, παρέχοντας στοιχεία για τη στρωματογραφία.

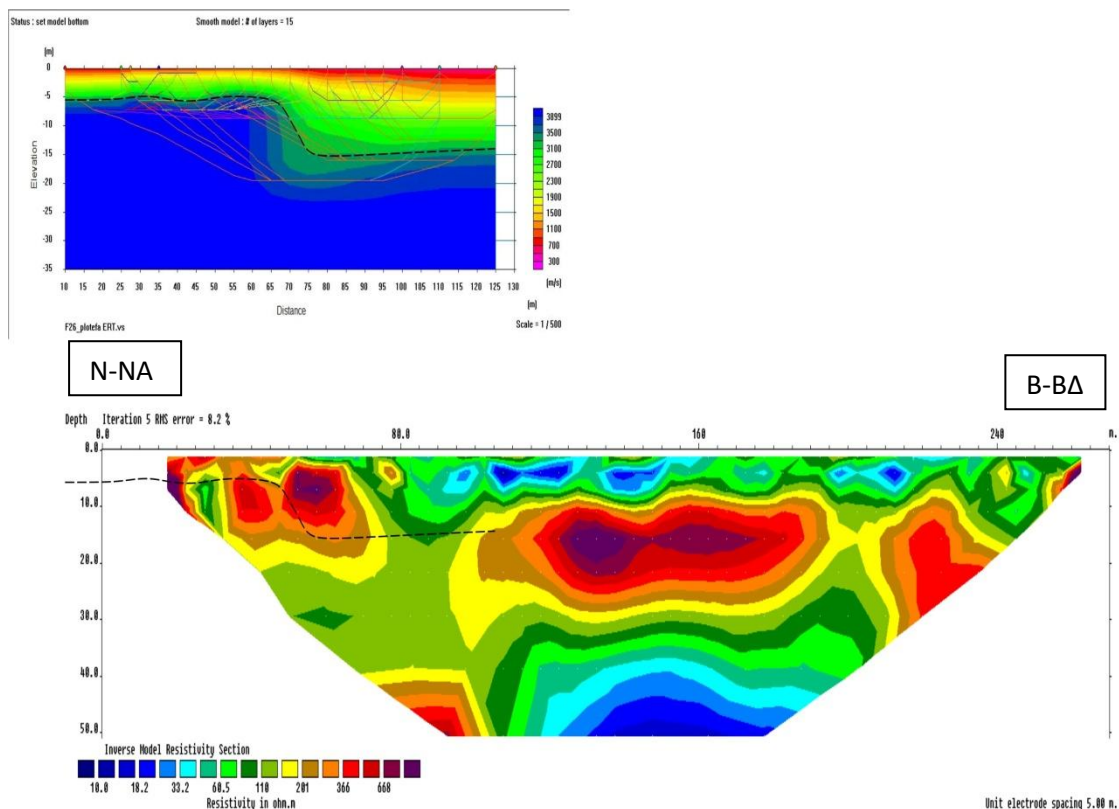
Διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα που χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρές ταχύτητες διάδοσης (από 700 m/s έως 2100 m/s). Το στρώμα αυτό στην αρχή της γραμμής μελέτης παρουσιάζει μικρό πάχος (περίπου 5 m), ενώ κατά μήκος το πάχος αυξάνεται μέχρι τα 15 m. Κάτω από αυτό υπάρχει ένα δεύτερο στρώμα το οποίο παίρνει ταχύτητες μεγαλύτερες από 2300 m/s.

Το επιφανειακό στρώμα αποδίδεται σε παλαιότερες εναλλαγές άμμων και ποταμοχειμάρριων αποθέσεων ενώ το άλλο στρώμα αποδίδεται σε ψαμμίτες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους.

Στη γεωηλεκτρική τομή, το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 8.2%. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις κυμαίνονται από 10 μέχρι 1000 Ωm .

Εντοπίζονται τρία γεωηλεκτρικά στρώματα. Το πρώτο επιφανειακό στρώμα παρουσιάζει αντιστάσεις από 10 έως 100 Ωm , το δεύτερο στρώμα με πάχος από 10 έως 30 m παρουσιάζει υψηλότερες αντιστάσεις από 100 έως 1000 Ωm και το τρίτο στρώμα με πάχος 30 m έως τα 50 m παρουσιάζει πολύ χαμηλές αντιστάσεις από 10 έως 100 Ωm κάτι το οποίο δηλώνει την ύπαρξη κορεσμένων σχηματισμών πιθανόν με υφάλμυρο νερό.

Η διακεκομμένη γραμμή που εμφανίζεται στα παρακάτω σχήματα αντιστοιχεί στη διεπιφάνεια των σεισμικών στρωμάτων η οποία έχει υπερτεθεί και στη γεωηλεκτρική τομή για σύγκριση.



Σχήμα:4.1 Σεισμικό μοντέλο και γεωηλεκτρική τομή της γραμμής F26. Τα σφάλματα είναι 4.17 m/s και 8.2% αντίστοιχα

Στα παραπάνω σχήματα όπου γίνεται σύγκριση της σεισμικής διάθλασης και της ηλεκτρικής τομογραφίας εμφανίζονται πολύ χαμηλές αντιστάσεις (μικρότερες των 10 Ωm) σε μεγάλο βάθος (περίπου 50 m) γεγονός που δείχνει την ύπαρξη του φαινομένου της υφαλμύρωσης. Ως προς τη στρωματογραφία, οι δυο τομές παρουσιάζουν δομικές ομοιότητες.

Γραμμή μελέτης F27

Η σεισμική γραμμή F27 αποτελείται από ένα ανάπτυγμα γεωφώνων (0-55 m). Στη γραμμή αυτή αναπτύχθηκε και ηλεκτρική γραμμή.

Στη σεισμική τομή της εν λόγω γραμμής που προκύπτει (Σχήμα:4.2) απεικονίζονται οι θέσεις των πηγών και οι ακτίνες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, των οποίων το μέγιστο βάθος διάδοσης είναι περίπου τα 24 m. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, παρέχοντας στοιχεία για τη στρωματογραφία.

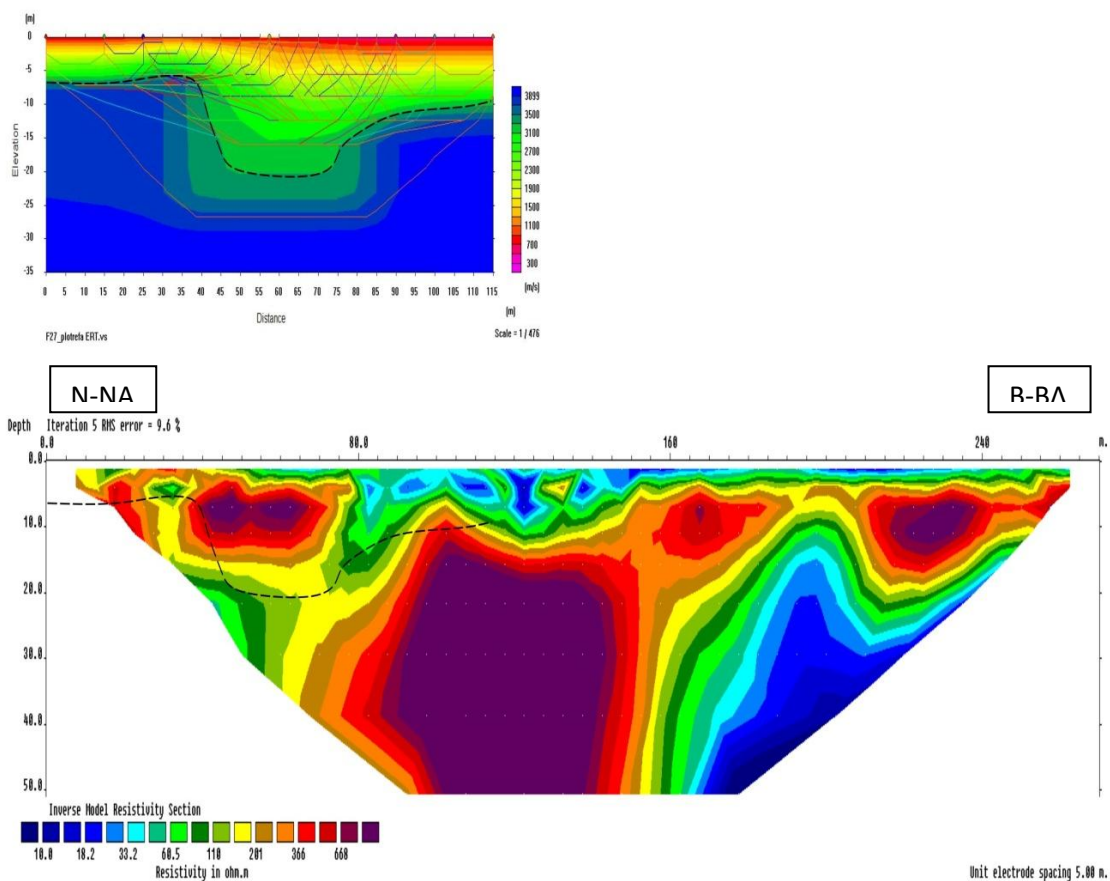
Διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα που χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρές ταχύτητες διάδοσης (από 700 m/s έως 2300 m/s). Το στρώμα αυτό στην αρχή της γραμμής μελέτης παρουσιάζει μικρό πάχος (περίπου 7 m), ενώ κατά μήκος το πάχος αυξάνεται μέχρι τα 20 m. Κάτω από αυτό υπάρχει ένα δεύτερο στρώμα το οποίο παίρνει ταχύτητες μεγαλύτερες από 2300 m/s.

Το επιφανειακό στρώμα αποδίδεται σε παλαιότερες εναλλαγές άμμων και ποταμοχειμάρριων αποθέσεων ενώ το άλλο στρώμα αποδίδεται σε ψαμμίτες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους.

Στη γεωηλεκτρική τομή, το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 9.6%. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις κυμαίνονται από 10 μέχρι 1000 Ωm .

Εντοπίζονται τρία γεωηλεκτρικά στρώματα. Το πρώτο επιφανειακό στρώμα παρουσιάζει αντιστάσεις από 10 έως 100 Ωm , το δεύτερο στρώμα παρουσιάζει υψηλότερες αντιστάσεις από 100 έως 1000 Ωm και το τρίτο στρώμα με πάχος από 10 m έως 50 m το οποίο εκτείνεται βορειοδυτικά της τομής παρουσιάζει πολύ χαμηλές αντιστάσεις από 10 έως 100 Ωm κάτι το οποίο δηλώνει την ύπαρξη κορεσμένων σχηματισμών πιθανόν με υφάλμυρο νερό.

Η διακεκομμένη γραμμή που εμφανίζεται στα παρακάτω σχήματα αντιστοιχεί στη διεπιφάνεια των σεισμικών στρωμάτων η οποία έχει υπερτεθεί και στη γεωηλεκτρική τομή για σύγκριση.



Σχήμα:4.2 Σεισμικό μοντέλο και γεωηλεκτρική τομή της γραμμής F27. Τα σφάλματα είναι 1.48 m/s και 9.6% αντίστοιχα

Στα παραπάνω σχήματα όπου γίνεται σύγκριση της σεισμικής διάθλασης και της ηλεκτρικής τομογραφίας εμφανίζονται χαμηλές αντιστάσεις (μικρότερες των 10 Ωm) στο βορειοδυτικό τμήμα, σε μεγάλος βάθος (μεγαλύτερο των 45 m), γεγονός που δείχνει την ύπαρξη του φαινομένου της υφαλμύρωσης. Ως προς τη στρωματογραφία, οι δυο τομές παρουσιάζουν δομικές ομοιότητες.

Γραμμή μελέτης F28

Η σεισμική γραμμή F28 αποτελείται από δυο αναπτύγματα γεωφώνων (0-55 m) και (60-115 m). Στη γραμμή αυτή αναπτύχθηκε και ηλεκτρική γραμμή.

Στη σεισμική τομή της εν λόγω γραμμής που προκύπτει (Σχήμα:4.3) απεικονίζονται οι θέσεις των πηγών και οι ακτίνες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, των οποίων το μέγιστο βάθος διάδοσης είναι περίπου τα 22 m. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, παρέχοντας στοιχεία για τη στρωματογραφία.

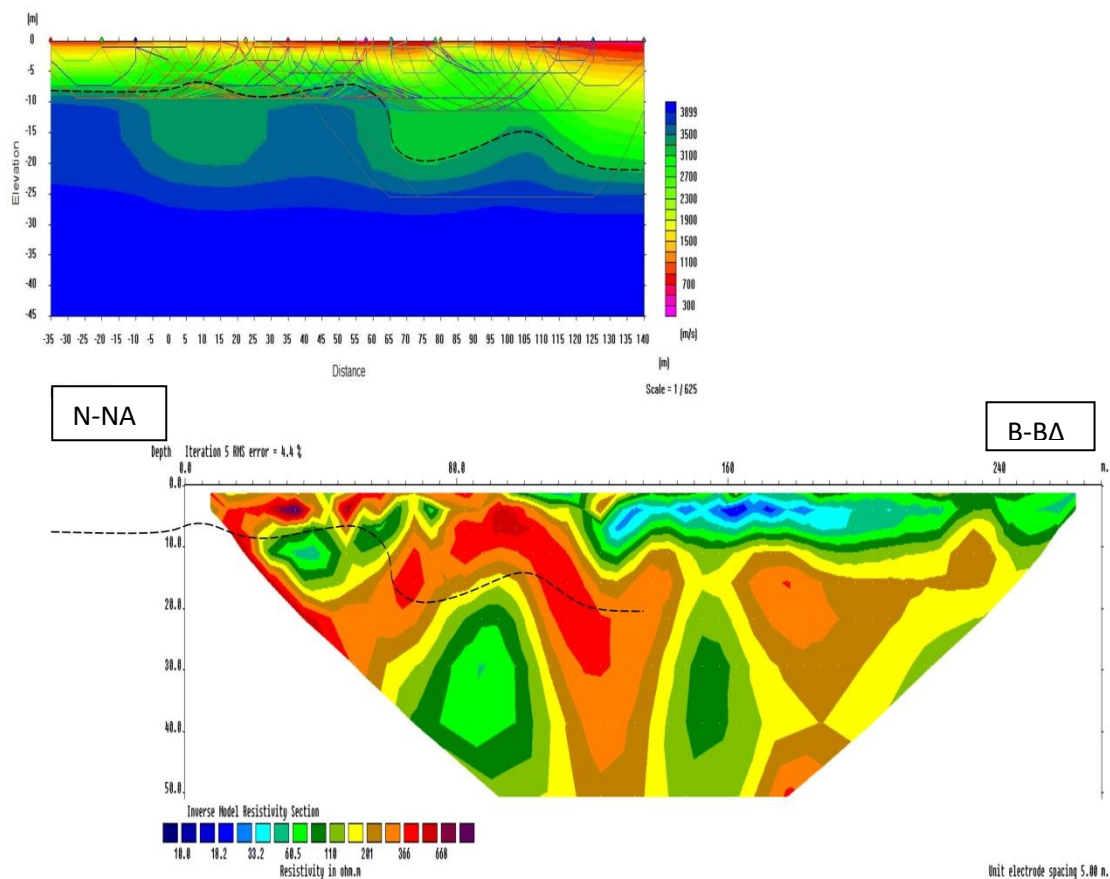
Διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα που χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρές ταχύτητες διάδοσης (από 700 m/s έως 2300 m/s). Το στρώμα αυτό στην αρχή της γραμμής μελέτης παρουσιάζει μικρό πάχος (περίπου 8 m), ενώ κατά μήκος το πάχος αυξάνεται μέχρι τα 18 m. Κάτω από αυτό υπάρχει ένα δεύτερο στρώμα το οποίο παίρνει ταχύτητες μεγαλύτερες από 2300 m/s.

Το επιφανειακό στρώμα αποδίδεται σε παλαιότερες εναλλαγές άμμων και ποταμοχειμάρριων αποθέσεων ενώ το άλλο στρώμα αποδίδεται σε ψαμμίτες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους.

Στη γεωηλεκτρική τομή, το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 4.4%. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις κυμαίνονται από 10 μέχρι 1000 Ωm .

Εντοπίζονται δυο γεωηλεκτρικά στρώματα. Το πρώτο στρώμα παρουσιάζει αντιστάσεις από 10 έως 100 Ωm , το δεύτερο στρώμα το οποίο χαρακτηρίζεται από έντονη πλευρική ανομοιογένεια παρουσιάζει υψηλότερες αντιστάσεις από 100 έως 1000 Ωm .

Η διακεκομμένη γραμμή που εμφανίζεται στα παρακάτω σχήματα αντιστοιχεί στη διεπιφάνεια των σεισμικών στρωμάτων η οποία έχει υπερτεθεί και στη γεωηλεκτρική τομή για σύγκριση.



Σχήμα:4.3 Σεισμικό μοντέλο και γεωηλεκτρική τομή της γραμμής F28. Τα σφάλματα είναι 1.47 m/s και 4.4% αντίστοιχα

Στα παραπάνω σχήματα όπου γίνεται σύγκριση της σεισμικής διάθλασης και της ηλεκτρικής τομογραφίας της γραμμής μελέτης F28 δεν παρατηρείται το φαινόμενο της υπαλμύρωσης αλλά παρατηρούνται πλευρικές ανομοιογένειες που συνοδεύονται από χαμηλές αντιστάσεις στα 150 m. Οι ζώνες χαμηλών αντιστάσεων της γεωηλεκτρικής τομής αποδίδονται σε νεογενή ιζήματα με σχετικά μεγάλο πορώδες τα οποία είναι επιρρεπή στη θαλάσσια διάβρωση. Αυτός πιθανόν είναι και ο λόγος όπου στην ακτογραμμή παρατηρούνται θέσεις με έντονη διάβρωση των σχηματισμών από τη διείδυση της θάλασσας.

Γραμμή μελέτης F29

Η σεισμική γραμμή F29 αποτελείται από δυο αναπτύγματα γεωφώνων (0-55 m) και (60-115 m). Στη γραμμή αυτή αναπτύχθηκε και ηλεκτρική γραμμή.

Στη σεισμική τομή της εν λόγω γραμμής που προκύπτει (Σχήμα:4.4) απεικονίζονται οι θέσεις των πηγών και οι ακτίνες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, των οποίων το μέγιστο βάθος διάδοσης είναι περίπου τα 24 m. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, παρέχοντας στοιχεία για τη στρωματογραφία.

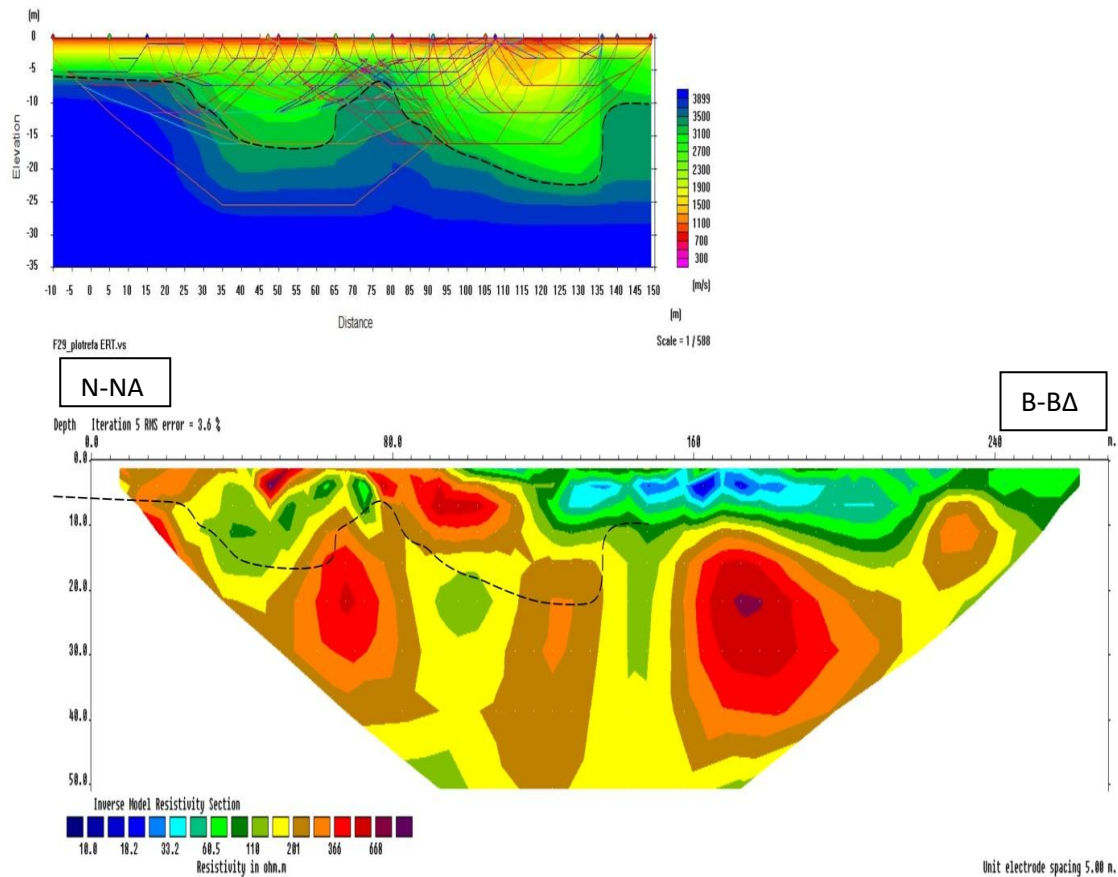
Διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα που χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρές ταχύτητες διάδοσης (από 700 m/s έως 2300 m/s). Το στρώμα αυτό στην αρχή της γραμμής μελέτης παρουσιάζει μικρό πάχος (περίπου 5 m), ενώ κατά μήκος το πάχος αυξάνεται μέχρι τα 22 m. Κάτω από αυτό υπάρχει ένα δεύτερο στρώμα το οποίο παίρνει ταχύτητες μεγαλύτερες από 2300 m/s.

Το επιφανειακό στρώμα αποδίδεται σε παλαιότερες εναλλαγές άμμων και ποταμοχειμάρριων αποθέσεων ενώ το άλλο στρώμα αποδίδεται σε ψαμμίτες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους.

Στη γεωηλεκτρική τομή, το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 3.6%. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις κυμαίνονται από 10 μέχρι 1000 Ωm .

Εντοπίζονται δυο γεωηλεκτρικά στρώματα. Το πρώτο στρώμα παρουσιάζει αντιστάσεις από 10 έως 100 Ωm , το δεύτερο στρώμα το οποίο χαρακτηρίζεται από έντονη πλευρική ανομοιογένεια παρουσιάζει υψηλότερες αντιστάσεις από 100 έως 1000 Ωm .

Η διακεκομμένη γραμμή που εμφανίζεται στα παρακάτω σχήματα αντιστοιχεί στη διεπιφάνεια των σεισμικών στρωμάτων η οποία έχει υπερτεθεί και στη γεωηλεκτρική τομή για σύγκριση.



Σχήμα:4.4 Σεισμικό μοντέλο και γεωηλεκτρική τομή της γραμμής F29. Τα σφάλματα είναι 1.74 m/s και 3.6% αντίστοιχα

Στα παραπάνω σχήματα όπου γίνεται σύγκριση της σεισμικής διάθλασης και της ηλεκτρικής τομογραφίας της γραμμής μελέτης F29 δεν παρατηρείται το φαινόμενο της υπαλμύρωσης αλλά παρατηρούνται πλευρικές ανομοιογένειες που συνοδεύονται από χαμηλές αντιστάσεις στα 100 m και στα 150 m. Οι ζώνες χαμηλών αντιστάσεων της γεωηλεκτρικής τομής αποδίδονται σε νεογενή ιζήματα με σχετικά μεγάλο πορώδες τα οποία είναι επιρρεπή στη θαλάσσια διάβρωση. Αυτός πιθανόν είναι και ο λόγος όπου στην ακτογραμμή παρατηρούνται θέσεις με έντονη διάβρωση των σχηματισμών από τη διείδυση της θάλασσας.

Γραμμή μελέτης F30

Η σεισμική γραμμή F30 αποτελείται από δυο αναπτύγματα γεωφώνων (0-55 m) και (60-115 m). Στη γραμμή αυτή αναπτύχθηκε και ηλεκτρική γραμμή.

Στη σεισμική τομή της εν λόγω γραμμής που προκύπτει (Σχήμα:4.5) απεικονίζονται οι θέσεις των πηγών και οι ακτίνες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, των οποίων το μέγιστο βάθος διάδοσης είναι περίπου τα 20 m. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, παρέχοντας στοιχεία για τη στρωματογραφία.

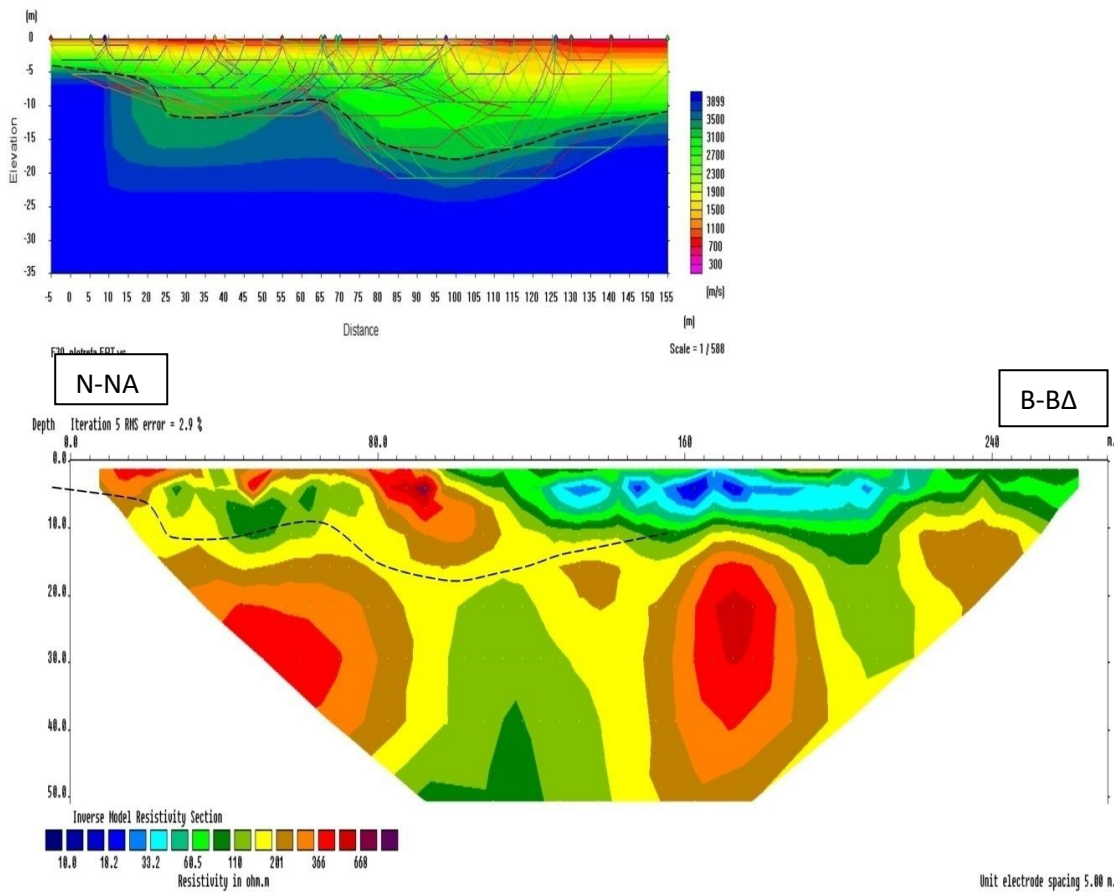
Διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα που χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρές ταχύτητες διάδοσης (από 700 m/s έως 2300 m/s). Το στρώμα αυτό στην αρχή της γραμμής μελέτης παρουσιάζει μικρό πάχος (περίπου 4 m), ενώ κατά μήκος το πάχος αυξάνεται μέχρι τα 18 m. Κάτω από αυτό υπάρχει ένα δεύτερο στρώμα το οποίο παίρνει ταχύτητες μεγαλύτερες από 2300 m/s.

Το επιφανειακό στρώμα αποδίδεται σε παλαιότερες εναλλαγές άμμων και ποταμοχειμάρριων αποθέσεων ενώ το άλλο στρώμα αποδίδεται σε ψαμμίτες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους.

Στη γεωηλεκτρική τομή, το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 2.9%. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις κυμαίνονται από 10 μέχρι 1000Ωm.

Εντοπίζονται δυο γεωηλεκτρικά στρώματα. Το πρώτο στρώμα παρουσιάζει αντιστάσεις από 10 έως 100 Ωm, το δεύτερο στρώμα το οποίο χαρακτηρίζεται από έντονη πλευρική ανομοιογένεια παρουσιάζει υψηλότερες αντιστάσεις από 100 έως 1000 Ωm.

Η διακεκομμένη γραμμή που εμφανίζεται στα παρακάτω σχήματα αντιστοιχεί στη διεπιφάνεια των σεισμικών στρωμάτων η οποία έχει υπερτεθεί και στη γεωηλεκτρική τομή για σύγκριση.



Σχήμα:4.5 Σεισμικό μοντέλο και γεωηλεκτρική τομή της γραμμής F30. Τα σφάλματα είναι 1.20 m/s και 2.9% αντίστοιχα

Στα παραπάνω σχήματα όπου γίνεται σύγκριση της σεισμικής διάθλασης και της ηλεκτρικής τομογραφίας της γραμμής μελέτης F30 δεν παρατηρείται το φαινόμενο της υφαλμύρωσης αλλά παρατηρούνται πλευρικές ανομοιογένειες που συνοδεύονται από χαμηλές αντιστάσεις στα 90 m και στα 140 m. Οι ζώνες χαμηλών αντιστάσεων της γεωηλεκτρικής τομής αποδίδονται σε νεογενή ιζήματα με σχετικά μεγάλο πορώδες τα οποία είναι επιρρεπή στη θαλάσσια διάβρωση. Αυτός πιθανόν είναι και ο λόγος όπου στην ακτογραμμή παρατηρούνται θέσεις με έντονη διάβρωση των σχηματισμών από τη διείσδυση της θάλασσας.

Γραμμή μελέτης F31

Η σεισμική γραμμή F31 αποτελείται από δυο αναπτύγματα γεωφώνων (0-55 m) και (60-115 m). Στη γραμμή αυτή αναπτύχθηκε και ηλεκτρική γραμμή.

Στη σεισμική τομή της εν λόγω γραμμής που προκύπτει (Σχήμα:4.6) απεικονίζονται οι θέσεις των πηγών και οι ακτίνες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, των οποίων το μέγιστο βάθος διάδοσης είναι περίπου τα 29 m. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, παρέχοντας στοιχεία για τη στρωματογραφία.

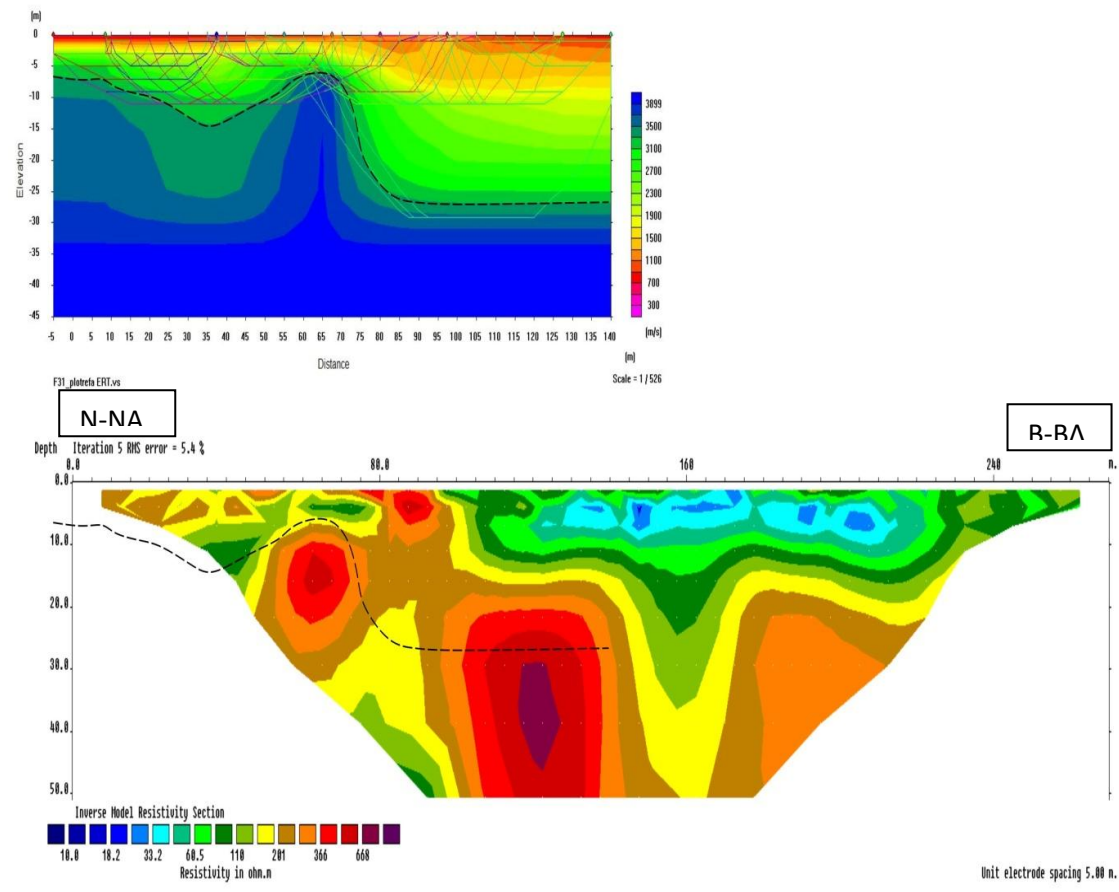
Διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα που χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρές ταχύτητες διάδοσης (από 700 m/s έως 2300 m/s). Το στρώμα αυτό στην αρχή της γραμμής μελέτης παρουσιάζει μικρό πάχος (περίπου 7 m), ενώ κατά μήκος το πάχος αυξάνεται μέχρι τα 27 m. Κάτω από αυτό υπάρχει ένα δεύτερο στρώμα το οποίο παίρνει ταχύτητες μεγαλύτερες από 2300 m/s.

Το επιφανειακό στρώμα αποδίδεται σε παλαιότερες εναλλαγές άμμων και ποταμοχειμάρριων αποθέσεων ενώ το άλλο στρώμα αποδίδεται σε ψαμμίτες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους.

Στη γεωηλεκτρική τομή, το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 5.4%. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις κυμαίνονται από 10 μέχρι 1000 Ωm .

Εντοπίζονται δυο γεωηλεκτρικά στρώματα. Το πρώτο στρώμα παρουσιάζει αντιστάσεις από 10 έως 100 Ωm , το δεύτερο στρώμα το οποίο χαρακτηρίζεται από έντονη πλευρική ανομοιογένεια παρουσιάζει υψηλότερες αντιστάσεις από 100 έως 1000 Ωm .

Η διακεκομμένη γραμμή που εμφανίζεται στα παρακάτω σχήματα αντιστοιχεί στη διεπιφάνεια των σεισμικών στρωμάτων η οποία έχει υπερτεθεί και στη γεωηλεκτρική τομή για σύγκριση.



Σχήμα:4.6 Σεισμικό μοντέλο και γεωηλεκτρική τομή της γραμμής F31. Τα σφάλματα είναι 1.07 m/s και 5.4% αντίστοιχα

Στα παραπάνω σχήματα όπου γίνεται σύγκριση της σεισμικής διάθλασης και της ηλεκτρικής τομογραφίας της γραμμής μελέτης F31 δεν παρατηρείται το φαινόμενο της υφαλμύρωσης αλλά παρατηρούνται πλευρικές ανομοιογένειες που συνοδεύονται από χαμηλές αντιστάσεις στα 80 m και στα 160 m. Οι ζώνες χαμηλών αντιστάσεων της γεωηλεκτρικής τομής αποδίδονται σε νεογενή ιζήματα με σχετικά μεγάλο πορώδες τα οποία είναι επιρρεπή στη θαλάσσια διάβρωση. Αυτός πιθανόν είναι και ο λόγος όπου στην ακτογραμμή παρατηρούνται θέσεις με έντονη διάβρωση των σχηματισμών από τη διείσδυση της θάλασσας.

Γραμμή μελέτης F32

Η σεισμική γραμμή F32 αποτελείται από τρία αναπτύγματα γεωφώνων (0-55 m), (60-115 m) και (120-175). Στη γραμμή αυτή αναπτύχθηκε και ηλεκτρική γραμμή.

Στη σεισμική τομή της εν λόγω γραμμής που προκύπτει (Σχήμα:4.7) απεικονίζονται οι θέσεις των πηγών και οι ακτίνες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, των οποίων το μέγιστο βάθος διάδοσης είναι περίπου τα 30 m. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, παρέχοντας στοιχεία για τη στρωματογραφία.

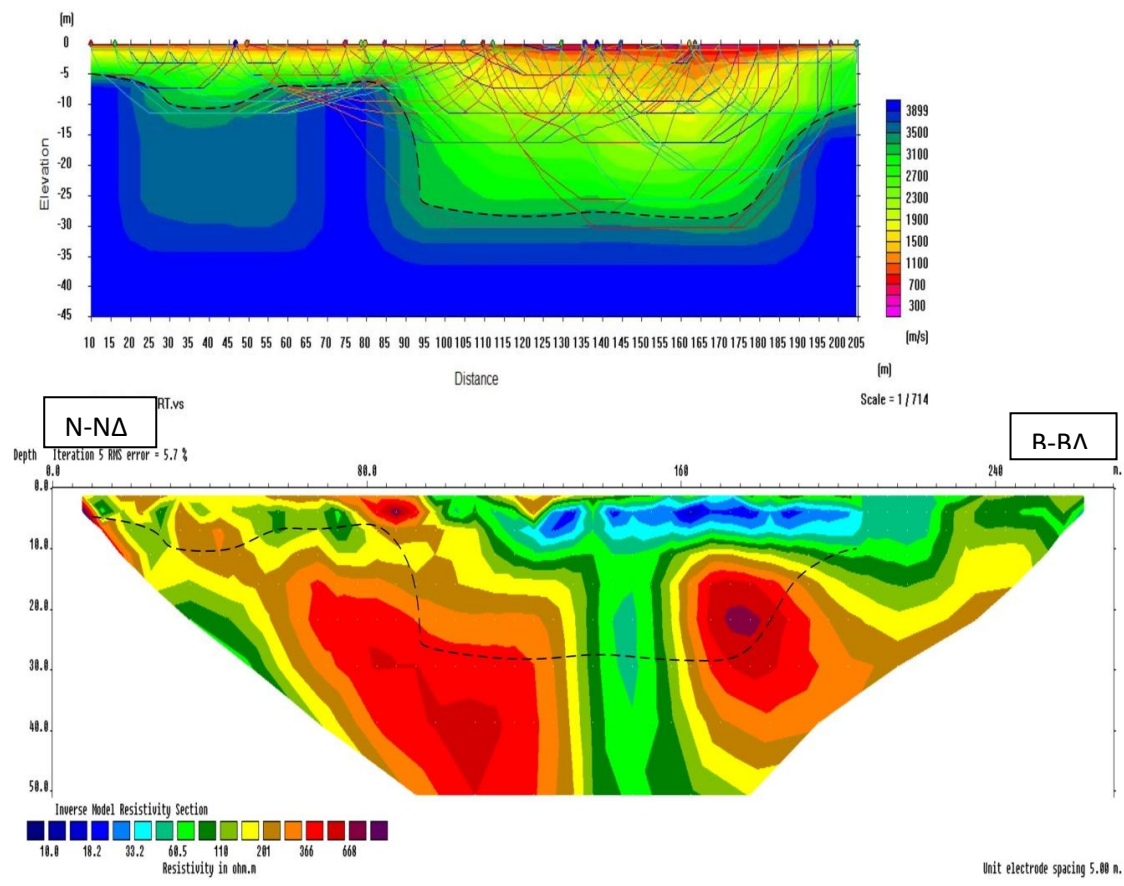
Διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα που χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρές ταχύτητες διάδοσης (από 700 m/s έως 2300 m/s). Το στρώμα αυτό στην αρχή της γραμμής μελέτης παρουσιάζει μικρό πάχος (περίπου 5 m), ενώ κατά μήκος το πάχος αυξάνεται μέχρι τα 27 m. Κάτω από αυτό υπάρχει ένα δεύτερο στρώμα το οποίο παίρνει ταχύτητες μεγαλύτερες από 2300 m/s.

Το επιφανειακό στρώμα αποδίδεται σε παλαιότερες εναλλαγές άμμων και ποταμοχειμάρριων αποθέσεων ενώ το άλλο στρώμα αποδίδεται σε ψαμμίτες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους.

Στη γεωηλεκτρική τομή, το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 5.7%. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις κυμαίνονται από 10 μέχρι 1000 Ωm .

Εντοπίζονται δυο γεωηλεκτρικά στρώματα. Το πρώτο στρώμα παρουσιάζει αντιστάσεις από 10 έως 100 Ωm , το δεύτερο στρώμα το οποίο χαρακτηρίζεται από έντονη πλευρική ανομοιογένεια παρουσιάζει υψηλότερες αντιστάσεις από 100 έως 1000 Ωm .

Η διακεκομμένη γραμμή που εμφανίζεται στα παρακάτω σχήματα αντιστοιχεί στη διεπιφάνεια των σεισμικών στρωμάτων η οποία έχει υπερτεθεί και στη γεωηλεκτρική τομή για σύγκριση.



Σχήμα:4.7 Σεισμικό μοντέλο και γεωηλεκτρική τομή της γραμμής F32. Τα σφάλματα είναι 1.47 m/s και 5.7% αντίστοιχα

Στα παραπάνω σχήματα όπου γίνεται σύγκριση της σεισμικής διάθλασης και της ηλεκτρικής τομογραφίας της γραμμής μελέτης F32 δεν παρατηρείται το φαινόμενο της υπαλμύρωσης αλλά παρατηρούνται πλευρικές ανομοιογένειες που συνοδεύονται από χαμηλές αντιστάσεις στα 140 m. Οι ζώνες χαμηλών αντιστάσεων της γεωηλεκτρικής τομής αποδίδονται σε νεογενή ιζήματα με σχετικά μεγάλο πορώδες τα οποία είναι επιρρεπή στη θαλάσσια διάβρωση. Αυτός πιθανόν είναι και ο λόγος όπου στην ακτογραμμή παρατηρούνται θέσεις με έντονη διάβρωση των σχηματισμών από τη διείδυση της θάλασσας.

Γραμμή μελέτης F33

Η σεισμική γραμμή F33 αποτελείται από δυο αναπτύγματα γεωφώνων (0-55 m) και (60-115 m). Στη γραμμή αυτή αναπτύχθηκε και ηλεκτρική γραμμή.

Στη σεισμική τομή της εν λόγω γραμμής που προκύπτει (Σχήμα:4.8) απεικονίζονται οι θέσεις των πηγών και οι ακτίνες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, των οποίων το μέγιστο βάθος διάδοσης είναι περίπου τα 27 m. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, παρέχοντας στοιχεία για τη στρωματογραφία.

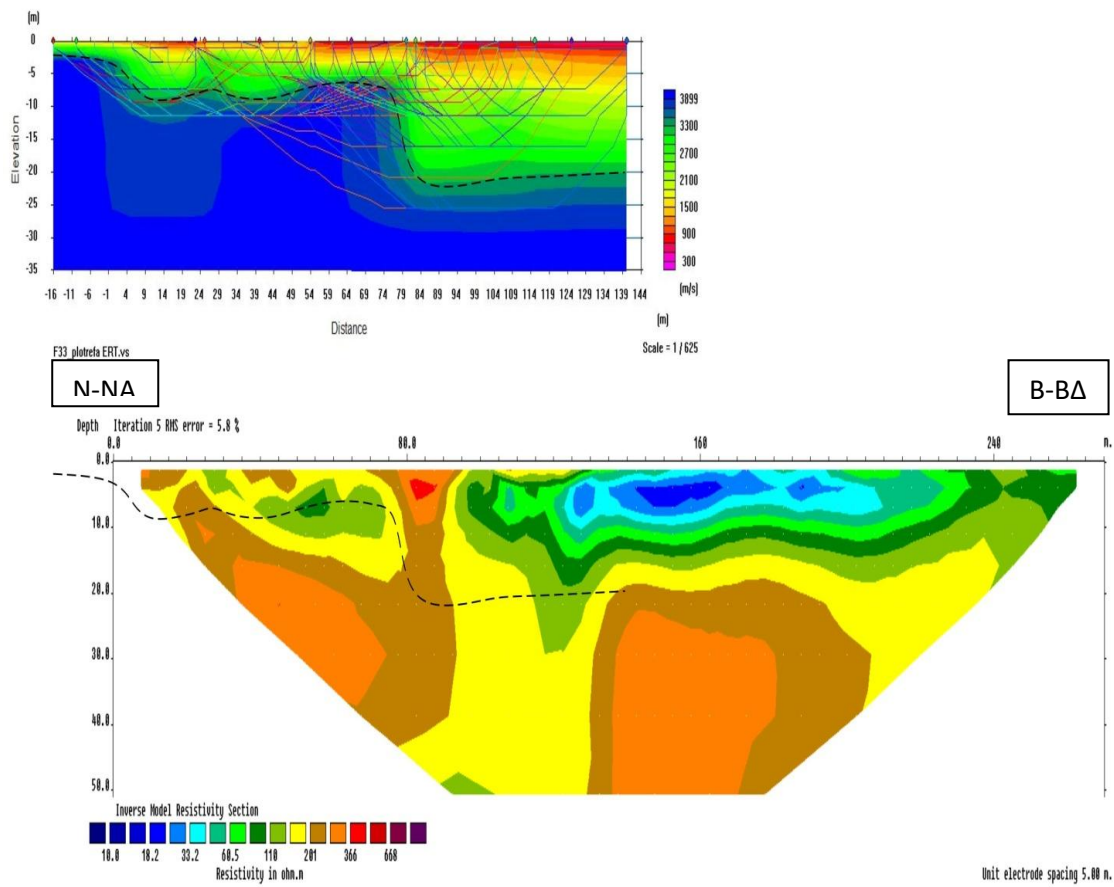
Διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα που χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρές ταχύτητες διάδοσης (από 700 m/s έως 2300 m/s). Το στρώμα αυτό στην αρχή της γραμμής μελέτης παρουσιάζει μικρό πάχος (περίπου 2 m), ενώ κατά μήκος το πάχος αυξάνεται μέχρι τα 25 m. Κάτω από αυτό υπάρχει ένα δεύτερο στρώμα το οποίο παίρνει ταχύτητες μεγαλύτερες από 2300 m/s.

Το επιφανειακό στρώμα αποδίδεται σε παλαιότερες εναλλαγές άμμων και ποταμοχειμάρριων αποθέσεων ενώ το άλλο στρώμα αποδίδεται σε ψαμμίτες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους.

Στη γεωηλεκτρική τομή, το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 5.8%. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις κυμαίνονται από 10 μέχρι 1000 Ωm .

Εντοπίζονται δυο γεωηλεκτρικά στρώματα. Το πρώτο στρώμα παρουσιάζει αντιστάσεις από 10 έως 100 Ωm , το δεύτερο στρώμα το οποίο χαρακτηρίζεται από έντονη πλευρική ανομοιογένεια παρουσιάζει υψηλότερες αντιστάσεις από 100 έως 1000 Ωm .

Η διακεκομμένη γραμμή που εμφανίζεται στα παρακάτω σχήματα αντιστοιχεί στη διεπιφάνεια των σεισμικών στρωμάτων η οποία έχει υπερτεθεί και στη γεωηλεκτρική τομή για σύγκριση.



Σχήμα:4.8 Σεισμικό μοντέλο και γεωηλεκτρική τομή της γραμμής F33. Τα σφάλματα είναι 2.08 m/s και 5.8% αντίστοιχα

Στα παραπάνω σχήματα όπου γίνεται σύγκριση της σεισμικής διάθλασης και της ηλεκτρικής τομογραφίας της γραμμής μελέτης F33 δεν παρατηρείται το φαινόμενο της υφαλμύρωσης αλλά ούτε και αξιόλογες πλευρικές ανομοιογένειες.

Γραμμή μελέτης F34

Η σεισμική γραμμή F32 αποτελείται από τρία αναπτύγματα γεωφώνων (0-55 m), (60-115 m) και (120-175). Στη γραμμή αυτή αναπτύχθηκε και ηλεκτρική γραμμή.

Στη σεισμική τομή της εν λόγω γραμμής που προκύπτει (Σχήμα:4.9) απεικονίζονται οι θέσεις των πηγών και οι ακτίνες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, των οποίων το μέγιστο βάθος διάδοσης είναι περίπου τα 35 m. Η χρωματική κλίμακα στα δεξιά αντιστοιχεί στις ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων, παρέχοντας στοιχεία για τη στρωματογραφία.

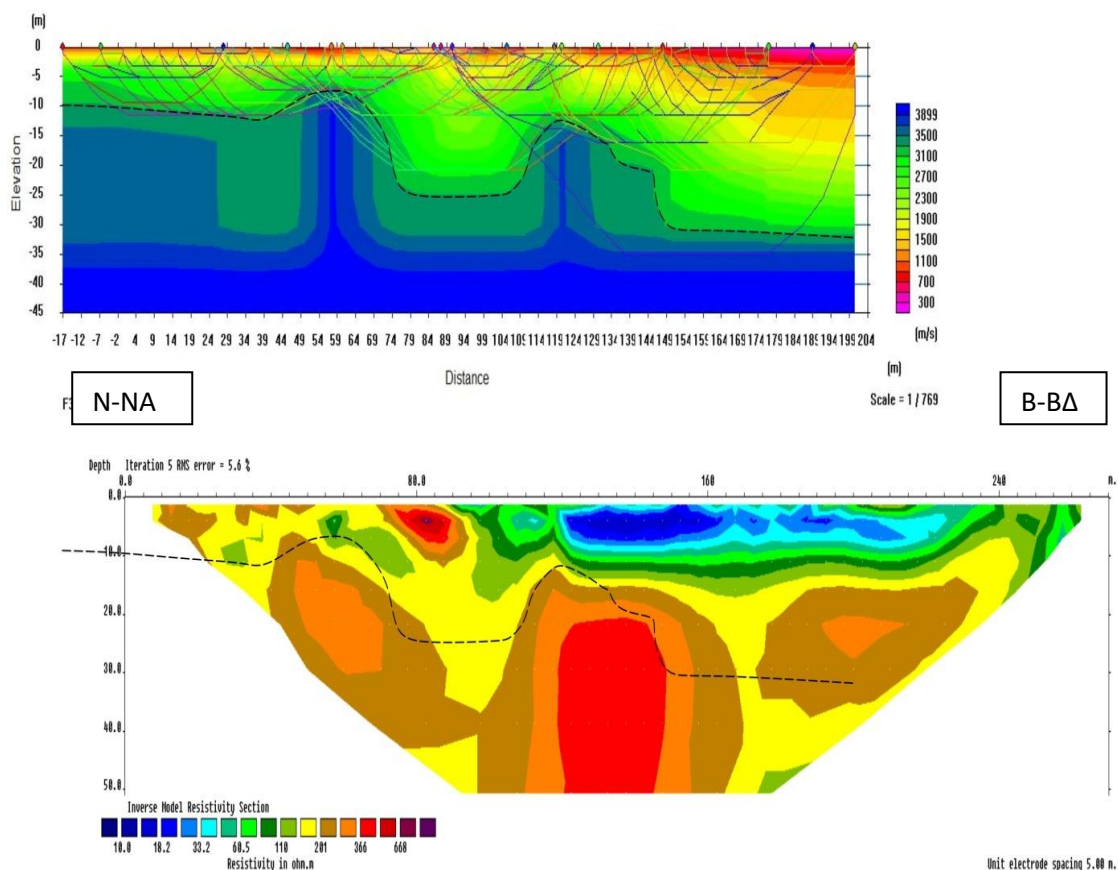
Διακρίνεται ένα επιφανειακό στρώμα που χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρές ταχύτητες διάδοσης (από 700 m/s έως 2300 m/s). Το στρώμα αυτό στην αρχή της γραμμής μελέτης παρουσιάζει μικρό πάχος (περίπου 10 m), ενώ κατά μήκος το πάχος αυξάνεται μέχρι τα 32 m. Κάτω από αυτό υπάρχει ένα δεύτερο στρώμα το οποίο παίρνει ταχύτητες μεγαλύτερες από 2300 m/s.

Το επιφανειακό στρώμα αποδίδεται σε παλαιότερες εναλλαγές άμμων και ποταμοχειμάρριων αποθέσεων ενώ το άλλο στρώμα αποδίδεται σε ψαμμίτες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους.

Στη γεωηλεκτρική τομή, το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής είναι 5.6%. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις κυμαίνονται από 10 μέχρι 1000 Ωm .

Εντοπίζονται δυο γεωηλεκτρικά στρώματα. Το πρώτο στρώμα παρουσιάζει αντιστάσεις από 10 έως 100 Ωm , το δεύτερο στρώμα το οποίο χαρακτηρίζεται από έντονη πλευρική ανομοιογένεια παρουσιάζει υψηλότερες αντιστάσεις από 100 έως 1000 Ωm .

Η διακεκομμένη γραμμή που εμφανίζεται στα παρακάτω σχήματα αντιστοιχεί στη διεπιφάνεια των σεισμικών στρωμάτων η οποία έχει υπερτεθεί και στη γεωηλεκτρική τομή για σύγκριση.



Σχήμα:4.9 Σεισμικό μοντέλο και γεωηλεκτρική τομή της γραμμής F34. Τα σφάλματα είναι 1.80 m/s και 5.6% αντίστοιχα

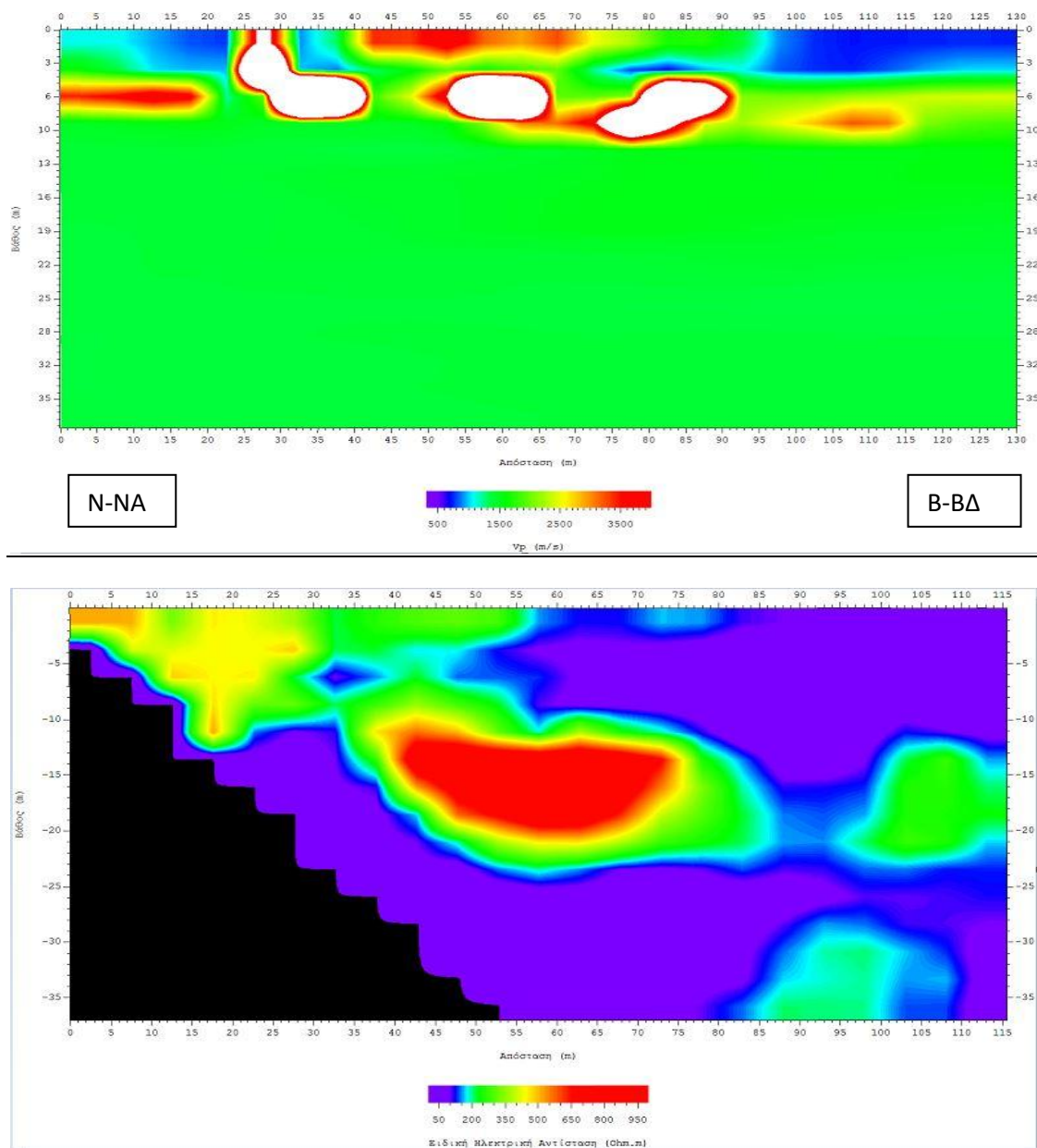
Στα παραπάνω σχήματα όπου γίνεται σύγκριση της σεισμικής διάθλασης και της ηλεκτρικής τομογραφίας της γραμμής μελέτης F34 δεν παρατηρείται το φαινόμενο της υπαλμύρωσης αλλά παρατηρούνται πλευρικές ανομοιογένειες που συνοδεύονται από χαμηλές αντιστάσεις στα 100 m και στα 170 m. Οι ζώνες χαμηλών αντιστάσεων της γεωηλεκτρικής τομής αποδίδονται σε νεογενή ιζήματα με σχετικά μεγάλο πορώδες τα οποία είναι επιρρεπή στη θαλάσσια διάβρωση. Αυτός πιθανόν είναι και ο λόγος όπου στην ακτογραμμή παρατηρούνται θέσεις με έντονη διάβρωση των σχηματισμών από τη διείσδυση της θάλασσας.

4.2 Αποτελέσματα από συνδυαστική αντιστροφή:

Η συνδυαστική αντιστροφή θεωρητικά έχει τη δυνατότητα να προσφέρει πιο έγκυρα αποτελέσματα για την ύπαρξη υφάλμυρου νερού στη περιοχή των Φαλασάρνων καθώς συνδυάζει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα της σεισμικής διάθλασης με το αντίστοιχο της ηλεκτρικής τομογραφίας.

Γραμμή μελέτης F26

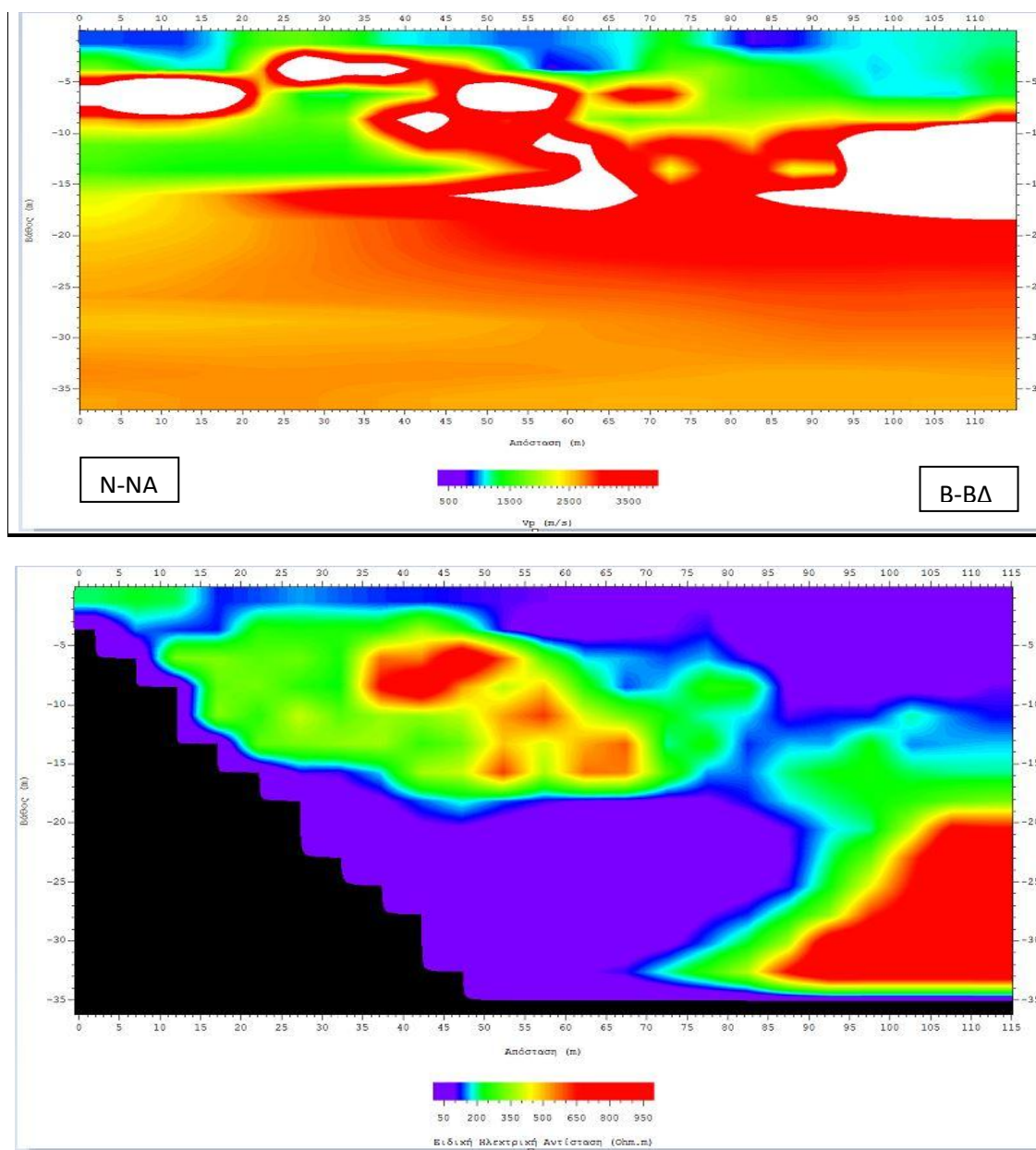
Στο Σχήμα: 4.10 το σεισμικό μοντέλο (πάνω) και η γεωηλεκτρική τομή (κάτω) που προκύπτει από τη συνδυασμένη αντιστροφή. Τα λευκά κενά που παρατηρούνται στην σεισμική τομή, αντιστοιχούν σε ταχύτητα διάδοσης μεγαλύτερη των 4000 m/s η οποία θεωρείται πολύ υψηλή για τους υπό μελέτη σχηματισμούς, ενδεχομένως οφείλεται σε υπερβολική προσαρμογή των υπολογισμένων πρώτων αρίξεων στις πειραματικές τιμές κατά τη διαδικασία της αντιστροφής. Στη γεωηλεκτρική τομή τα δεδομένα έχουν αφαιρεθεί έως τα 117.5 m, όπως επίσης έχουν αφαιρεθεί και τα δεδομένα στην κάτω αριστερά γωνία της τομής. Από τη σύγκριση των συνδυασμένων τομών δεν προκύπτουν ξεκάθαρα συμπεράσματα ως προς τη δομική τους ομοιότητα σχετικά με τη στρωματογραφία.



Σχήμα:4.10 Σεισμικό μοντέλο και γεωηλεκτρική τομή της γραμμής F26 έπειτα από συνδυασμένη αντιστροφή των αντίστοιχων δεδομένων

Γραμμή μελέτης F27

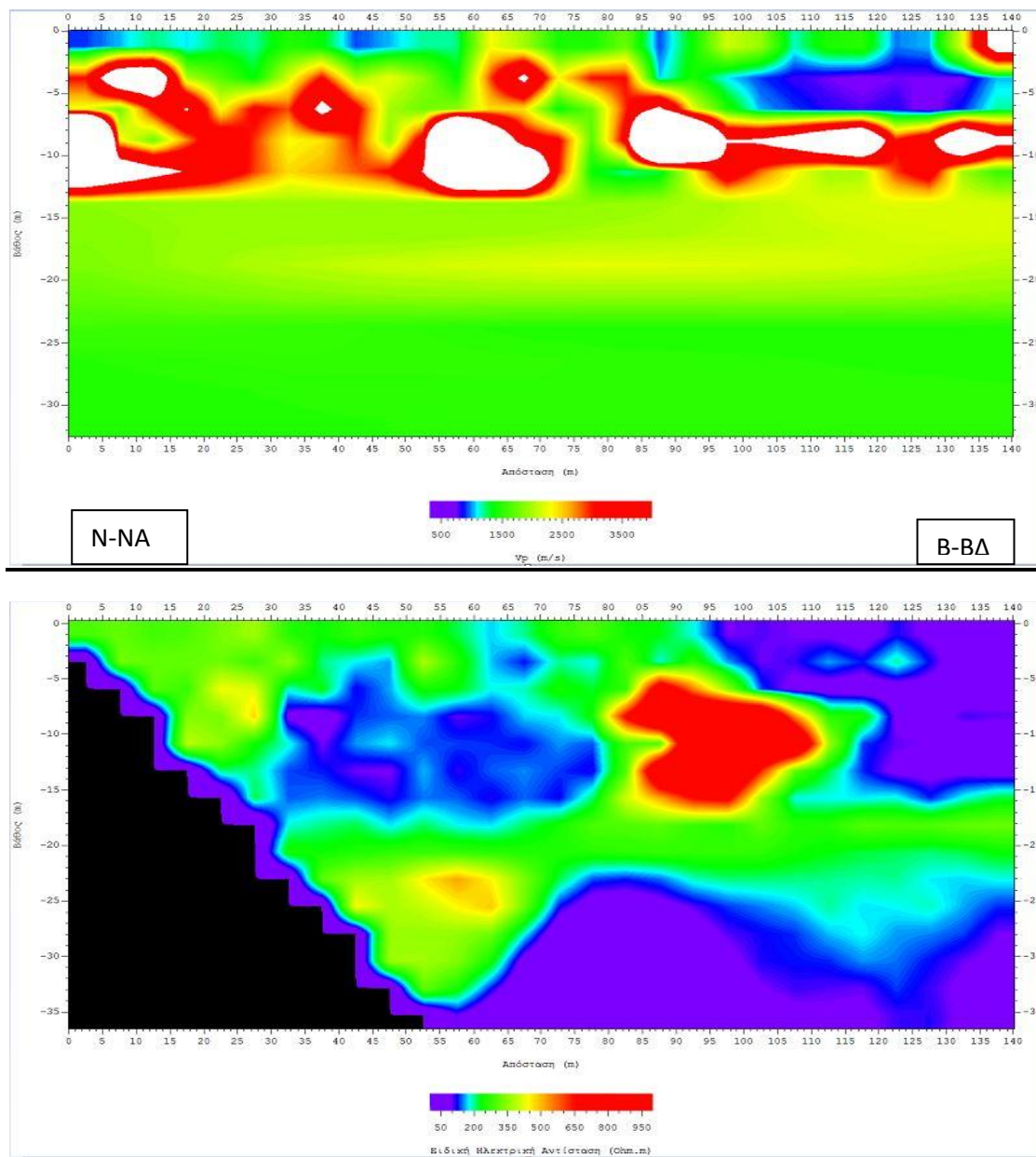
Στο Σχήμα: 4.10 το σεισμικό μοντέλο (πάνω) και η γεωηλεκτρική τομή (κάτω) που προκύπτει από τη συνδυασμένη αντιστροφή. Τα λευκά κενά που παρατηρούνται στην σεισμική τομή, αντιστοιχούν σε ταχύτητα διάδοσης μεγαλύτερη των 4000 m/s η οποία θεωρείται πολύ υψηλή για τους υπό μελέτη σχηματισμούς, ενδεχομένως οφείλεται σε υπερβολική προσαρμογή των υπολογισμένων πρώτων αρίξεων στις πειραματικές τιμές κατά τη διαδικασία της αντιστροφής. Στη γεωηλεκτρική τομή τα δεδομένα έχουν αφαιρεθεί έως τα 117.5 m, όπως επίσης έχουν αφαιρεθεί και τα δεδομένα στην κάτω αριστερά γωνία της τομής. Από τη σύγκριση των συνδυασμένων τομών δεν προκύπτουν ξεκάθαρα συμπεράσματα ως προς τη δομική τους ομοιότητα σχετικά με τη στρωματογραφία.



Σχήμα:4.11 Σεισμικό μοντέλο και γεωηλεκτρική τομή της γραμμής F27 έπειτα από συνδυασμένη αντιστροφή των αντίστοιχων δεδομένων

Γραμμή μελέτης F28

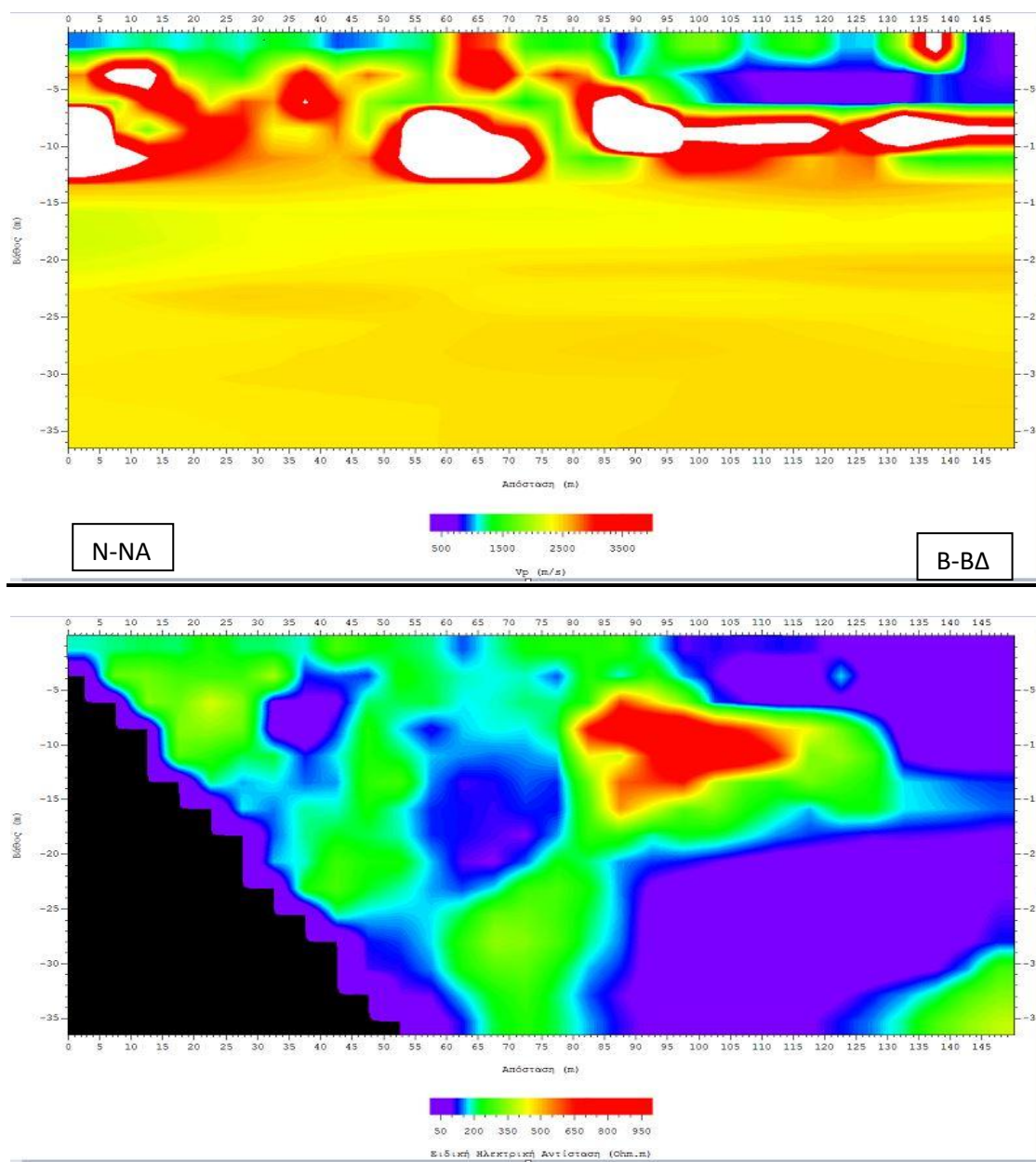
Στο Σχήμα: 4.10 το σεισμικό μοντέλο (πάνω) και η γεωηλεκτρική τομή (κάτω) που πρόκυψε από τη συνδυασμένη αντιστροφή. Τα λευκά κενά που παρατηρούνται στην σεισμική τομή, αντιστοιχούν σε ταχύτητα διάδοσης μεγαλύτερη των 4000 m/s η οποία θεωρείται πολύ υψηλή για τους υπό μελέτη σχηματισμούς, ενδεχομένως οφείλεται σε υπερβολική προσαρμογή των υπολογισμένων πρώτων αφίξεων στις πειραματικές τιμές κατά τη διαδικασία της αντιστροφής. Στη γεωηλεκτρική τομή τα δεδομένα έχουν αφαιρεθεί έως τα 117.5 m, όπως επίσης έχουν αφαιρεθεί και τα δεδομένα στην κάτω αριστερά γωνία της τομής. Από τη σύγκριση των συνδυασμένων τομών δεν προκύπτουν ξεκάθαρα συμπεράσματα ως προς τη δομική τους ομοιότητα σχετικά με τη στρωματογραφία.



Σχήμα:4.12 Σεισμικό μοντέλο και γεωηλεκτρική τομή της γραμμής F28 έπειτα από συνδυασμένη αντιστροφή των αντίστοιχων δεδομένων

Γραμμή μελέτης F29

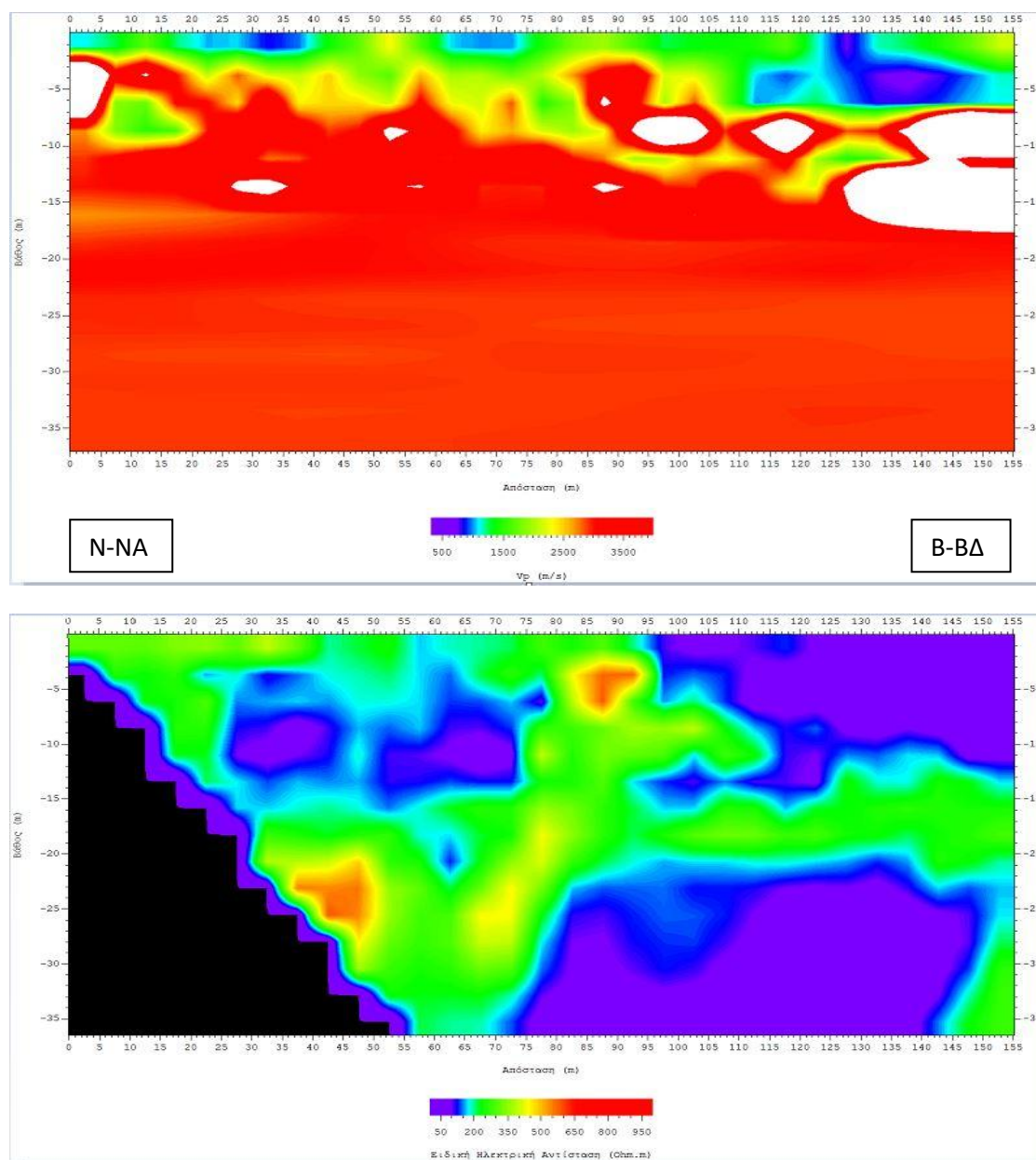
Στο Σχήμα: 4.10 το σεισμικό μοντέλο (πάνω) και η γεωηλεκτρική τομή (κάτω) που προκύπτει από τη συνδυασμένη αντιστροφή. Τα λευκά κενά που παρατηρούνται στην σεισμική τομή, αντιστοιχούν σε ταχύτητα διάδοσης μεγαλύτερη των 4000 m/s η οποία θεωρείται πολύ υψηλή για τους υπό μελέτη σχηματισμούς, ενδεχομένως οφείλεται σε υπερβολική προσαρμογή των υπολογισμένων πρώτων αφίξεων στις πειραματικές τιμές κατά τη διαδικασία της αντιστροφής. Στη γεωηλεκτρική τομή τα δεδομένα έχουν αφαιρεθεί έως τα 117.5 m, όπως επίσης έχουν αφαιρεθεί και τα δεδομένα στην κάτω αριστερά γωνία της τομής. Από τη σύγκριση των συνδυασμένων τομών δεν προκύπτουν ξεκάθαρα συμπεράσματα ως προς τη δομική τους ομοιότητα σχετικά με τη στρωματογραφία.



Σχήμα:4.13 Σεισμικό μοντέλο και γεωηλεκτρική τομή της γραμμής F29 έπειτα από συνδυασμένη αντιστροφή των αντίστοιχων δεδομένων

Γραμμή μελέτης F30

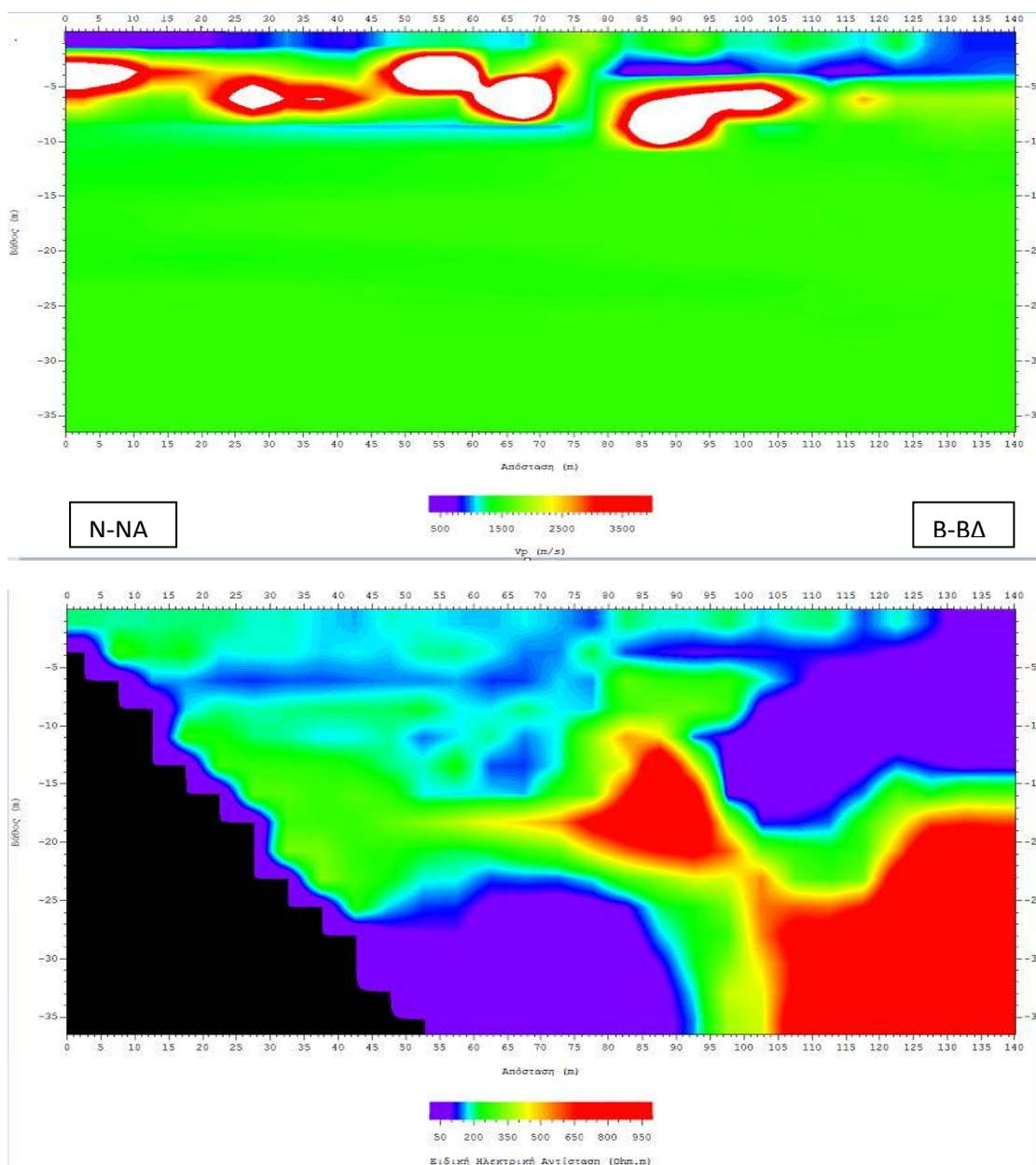
Στο Σχήμα: 4.10 το σεισμικό μοντέλο (πάνω) και η γεωηλεκτρική τομή (κάτω) που προκύπτει από τη συνδυασμένη αντιστροφή. Τα λευκά κενά που παρατηρούνται στην σεισμική τομή, αντιστοιχούν σε ταχύτητα διάδοσης μεγαλύτερη των 4000 m/s η οποία θεωρείται πολύ υψηλή για τους υπό μελέτη σχηματισμούς, ενδεχομένως οφείλεται σε υπερβολική προσαρμογή των υπολογισμένων πρώτων αφίξεων στις πειραματικές τιμές κατά τη διαδικασία της αντιστροφής. Στη γεωηλεκτρική τομή τα δεδομένα έχουν αφαιρεθεί έως τα 117.5 m, όπως επίσης έχουν αφαιρεθεί και τα δεδομένα στην κάτω αριστερά γωνία της τομής. Από τη σύγκριση των συνδυασμένων τομών δεν προκύπτουν ξεκάθαρα συμπεράσματα ως προς τη δομική τους ομοιότητα σχετικά με τη στρωματογραφία.



Σχήμα:4.14 Σεισμικό μοντέλο και γεωηλεκτρική τομή της γραμμής F30 έπειτα από συνδυασμένη αντιστροφή των αντίστοιχων δεδομένων

Γραμμή μελέτης F31

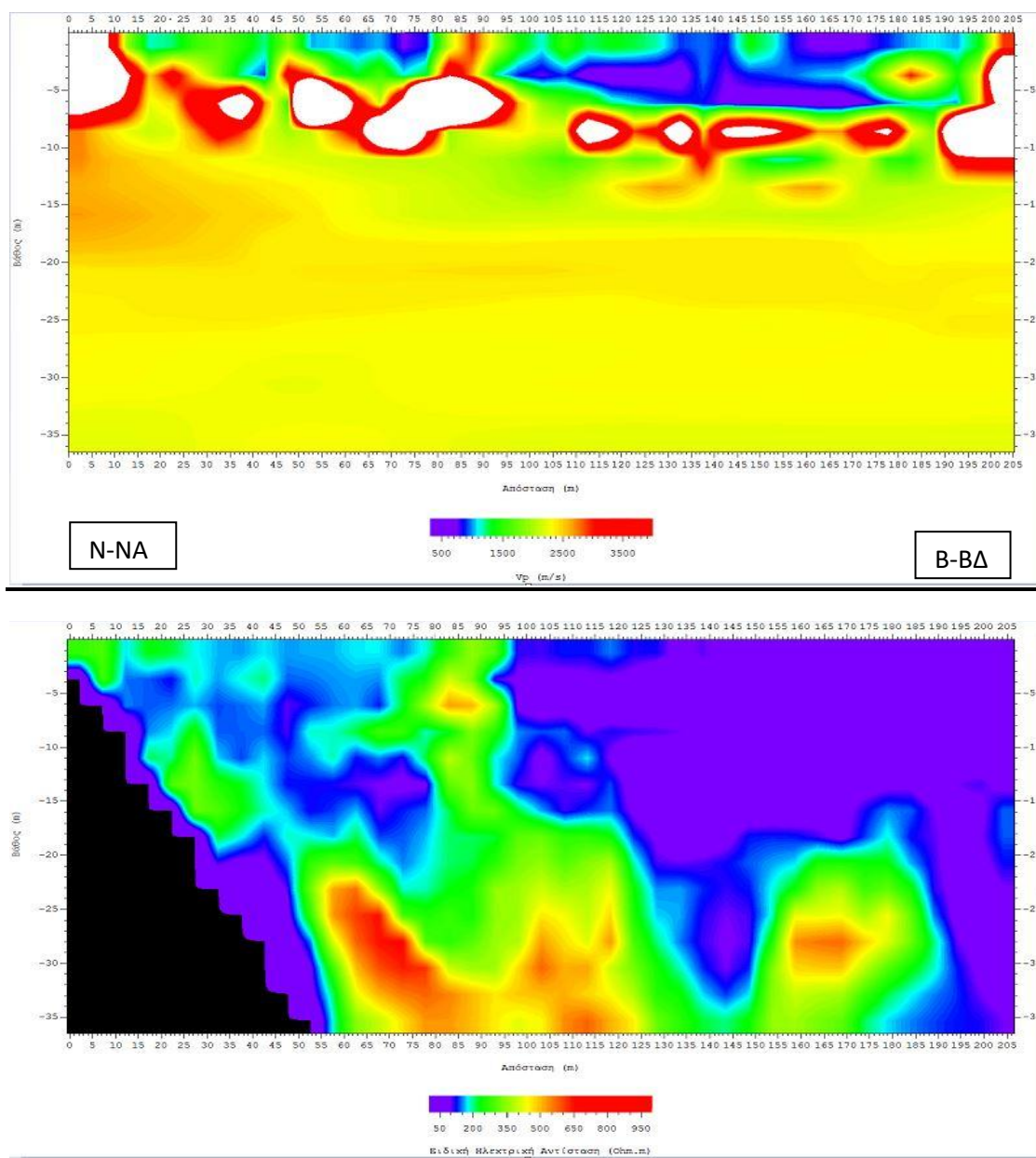
Στο Σχήμα: 4.10 το σεισμικό μοντέλο (πάνω) και η γεωηλεκτρική τομή (κάτω) που προκύπτει από τη συνδυασμένη αντιστροφή. Τα λευκά κενά που παρατηρούνται στην σεισμική τομή, αντιστοιχούν σε ταχύτητα διάδοσης μεγαλύτερη των 4000 m/s η οποία θεωρείται πολύ υψηλή για τους υπό μελέτη σχηματισμούς, ενδεχομένως οφείλεται σε υπερβολική προσαρμογή των υπολογισμένων πρώτων αρίξεων στις πειραματικές τιμές κατά τη διαδικασία της αντιστροφής. Στη γεωηλεκτρική τομή τα δεδομένα έχουν αφαιρεθεί έως τα 117.5 m, όπως επίσης έχουν αφαιρεθεί και τα δεδομένα στην κάτω αριστερά γωνία της τομής. Από τη σύγκριση των συνδυασμένων τομών δεν προκύπτουν ξεκάθαρα συμπεράσματα ως προς τη δομική τους ομοιότητα σχετικά με τη στρωματογραφία.



Σχήμα:4.15 Σεισμικό μοντέλο και γεωηλεκτρική τομή της γραμμής F31 έπειτα από συνδυασμένη αντιστροφή των αντίστοιχων δεδομένων

Γραμμή μελέτης F32

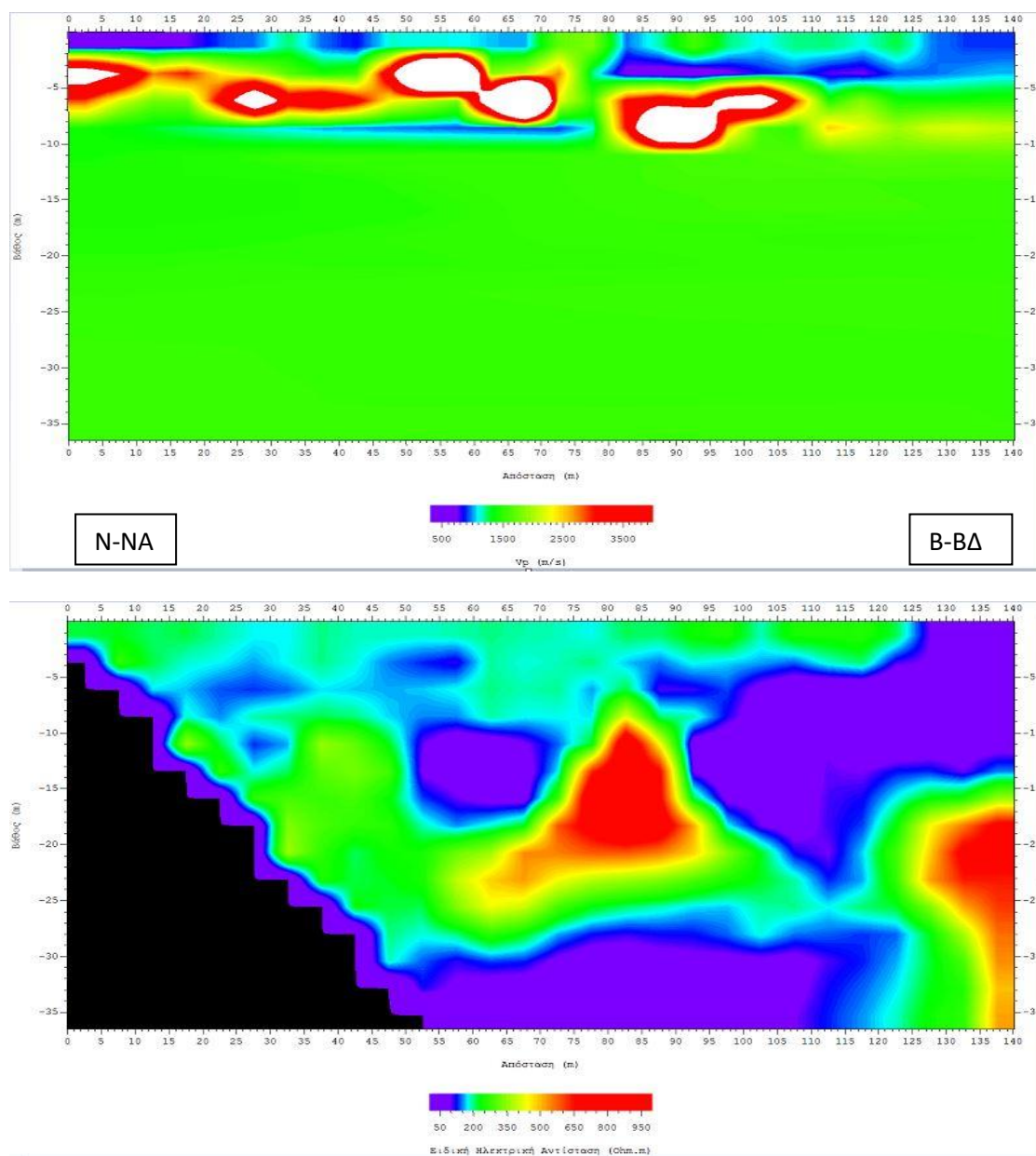
Στο Σχήμα: 4.10 το σεισμικό μοντέλο (πάνω) και η γεωηλεκτρική τομή (κάτω) που προκύπτει από τη συνδυασμένη αντιστροφή. Τα λευκά κενά που παρατηρούνται στην σεισμική τομή, αντιστοιχούν σε ταχύτητα διάδοσης μεγαλύτερη των 4000 m/s η οποία θεωρείται πολύ υψηλή για τους υπό μελέτη σχηματισμούς, ενδεχομένως οφείλεται σε υπερβολική προσαρμογή των υπολογισμένων πρώτων αρίξεων στις πειραματικές τιμές κατά τη διαδικασία της αντιστροφής. Στη γεωηλεκτρική τομή τα δεδομένα έχουν αφαιρεθεί έως τα 117.5 m, όπως επίσης έχουν αφαιρεθεί και τα δεδομένα στην κάτω αριστερά γωνία της τομής. Από τη σύγκριση των συνδυασμένων τομών δεν προκύπτουν ξεκάθαρα συμπεράσματα ως προς τη δομική τους ομοιότητα σχετικά με τη στρωματογραφία.



Σχήμα:4.16 Σεισμικό μοντέλο και γεωηλεκτρική τομή της γραμμής F32 έπειτα από συνδυασμένη αντιστροφή των αντίστοιχων δεδομένων

Γραμμή μελέτης F33

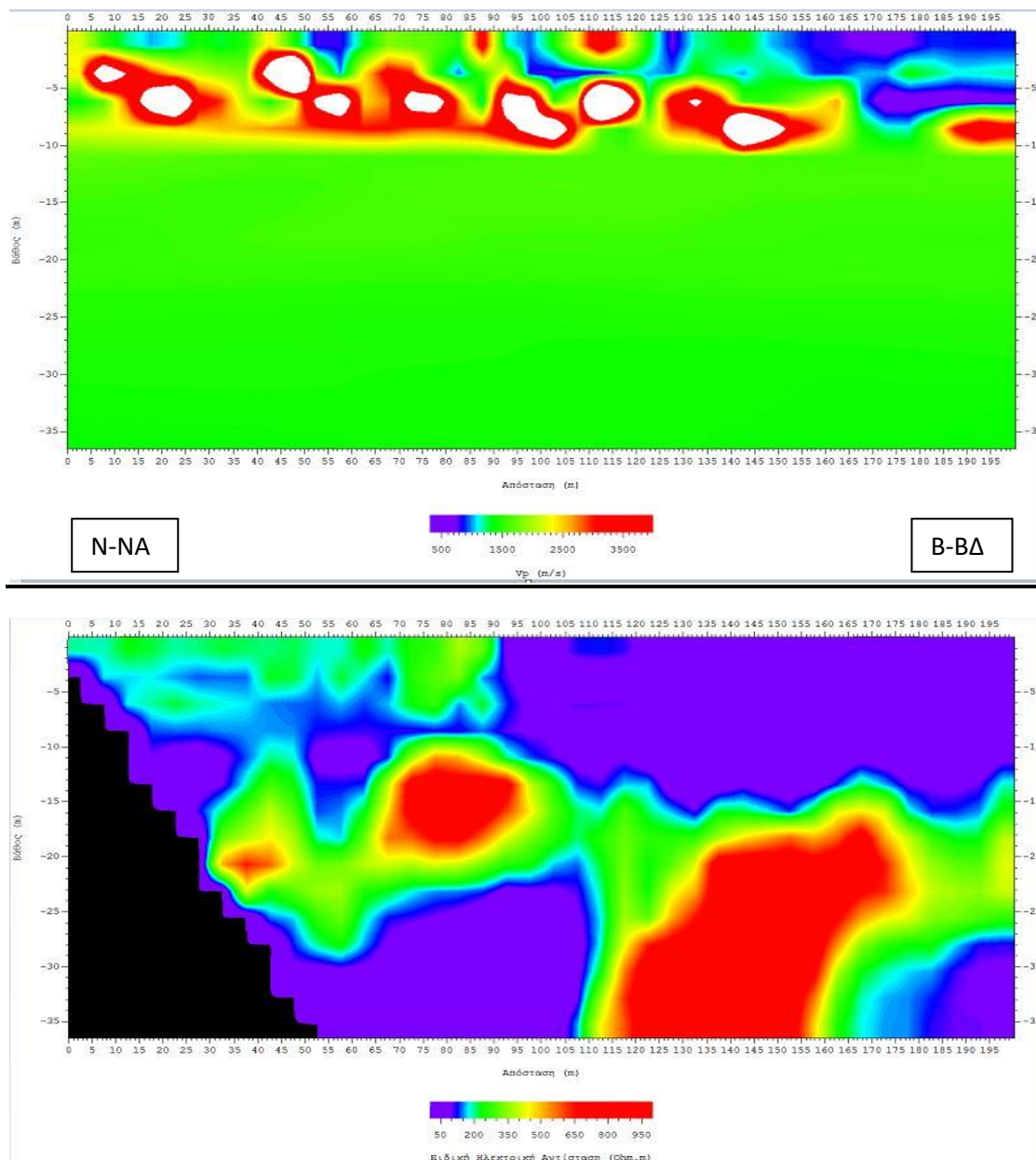
Στο Σχήμα: 4.10 το σεισμικό μοντέλο (πάνω) και η γεωηλεκτρική τομή (κάτω) που προκύπτει από τη συνδυασμένη αντιστροφή. Τα λευκά κενά που παρατηρούνται στην σεισμική τομή, αντιστοιχούν σε ταχύτητα διάδοσης μεγαλύτερη των 4000 m/s η οποία θεωρείται πολύ υψηλή για τους υπό μελέτη σχηματισμούς, ενδεχομένως οφείλεται σε υπερβολική προσαρμογή των υπολογισμένων πρώτων αρίξεων στις πειραματικές τιμές κατά τη διαδικασία της αντιστροφής. Στη γεωηλεκτρική τομή τα δεδομένα έχουν αφαιρεθεί έως τα 117.5 m, όπως επίσης έχουν αφαιρεθεί και τα δεδομένα στην κάτω αριστερά γωνία της τομής. Από τη σύγκριση των συνδυασμένων τομών δεν προκύπτουν ξεκάθαρα συμπεράσματα ως προς τη δομική τους ομοιότητα σχετικά με τη στρωματογραφία.



Σχήμα:4.17 Σεισμικό μοντέλο και γεωηλεκτρική τομή της γραμμής F33 έπειτα από συνδυασμένη αντιστροφή των αντίστοιχων δεδομένων

Γραμμή μελέτης F34

Στο Σχήμα: 4.10 το σεισμικό μοντέλο (πάνω) και η γεωηλεκτρική τομή (κάτω) που προκύπτει από τη συνδυασμένη αντιστροφή. Τα λευκά κενά που παρατηρούνται στην σεισμική τομή, αντιστοιχούν σε ταχύτητα διάδοσης μεγαλύτερη των 4000 m/s η οποία θεωρείται πολύ υψηλή για τους υπό μελέτη σχηματισμούς, ενδεχομένως οφείλεται σε υπερβολική προσαρμογή των υπολογισμένων πρώτων αρίξεων στις πειραματικές τιμές κατά τη διαδικασία της αντιστροφής. Στη γεωηλεκτρική τομή τα δεδομένα έχουν αφαιρεθεί έως τα 117.5 m, όπως επίσης έχουν αφαιρεθεί και τα δεδομένα στην κάτω αριστερά γωνία της τομής. Από τη σύγκριση των συνδυασμένων τομών δεν προκύπτουν ξεκάθαρα συμπεράσματα ως προς τη δομική τους ομοιότητα σχετικά με τη στρωματογραφία.



Σχήμα:4.18 Σεισμικό μοντέλο και γεωηλεκτρική τομή της γραμμής F34 έπειτα από συνδυασμένη αντιστροφή των αντίστοιχων δεδομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ:5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφεί η χρησιμότητα της σεισμικής διάθλασης και ηλεκτρικής τομογραφίας στη περιοχή των Φαλασάρνων με μεμονωμένη αλλά και με συνδυασμένη αντιστροφή. Ακόμη θα προταθούν τρόποι ώστε να εξεταστεί το φαινόμενο της υφαλμύρωσης με όσο το δυνατόν μικρότερο σφάλμα.

Υποκείμενο σε μετρήσεις σεισμικής διάθλασης και ηλεκτρικής τομογραφίας, το βόρειο τμήμα της περιοχής των Φαλασάρνων εξετάστηκε για την ύπαρξη του φαινομένου της υφαλμύρωσης. Από την επεξεργασία των δεδομένων και από τον συνδυασμό των αποτελεσμάτων έγινε προσπάθεια να προσδιοριστούν οι περιοχές στις οποίες έχει παρεισφρύσει το θαλασσινό νερό στον υπόγειο υδροφόρα.

Από τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης δεν μελετήθηκε άμεσα το φαινόμενο της διείσδυσης του θαλασσινού νερού στην περιοχή μελέτης, αλλά προσδιορίστηκε το πάχος των σεισμικών στρωμάτων και κατ' επέκταση, χρησιμοποιώντας γεωλογικές πληροφορίες, τα στρώματα αυτά αποδόθηκαν σε γεωλογικούς σχηματισμούς.

Από την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας προσδιορίστηκαν οι θέσεις εντοπισμού διείσδυσης του θαλασσινού νερού στην ενδοχώρα στο υπό μελέτη τμήμα της περιοχής των Φαλασάρνων. Ειδικότερα, με τη χρήση της ηλεκτρικής τομογραφίας, το φαινόμενο της υφαλμύρωσης εντοπίζεται στις θέσεις όπου η ειδική ηλεκτρική αντίσταση παρουσιάζει πολύ μικρές τιμές (μικρότερες των 10 Ωm).

Πιο συγκεκριμένα κατά τη μεμονωμένη επεξεργασία συναντάται υφαλμύρωση στις γραμμές μελέτης 26 και 27 οι οποίες επεκτείνονται βορειοδυτικά της περιοχής μελέτης και κατά τις οποίες παρατηρούνται πολύ μικρές αντιστάσεις (μικρότερες των 10 Ωm). Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης δεν παρατηρείται σε άλλη γραμμή μελέτης.

Τα σεισμικά και ηλεκτρικά δεδομένα κατά τη μεμονωμένη αντιστροφή ταιριάζουν ως προς τη στρωμάτωση στο επιφανειακό γεωλογικό στρώμα, κάτι το οποίο δεν διαφαίνεται εύκολα και στην συνδυασμένη αντιστροφή.

Στα αποτελέσματα της σεισμικής διάθλασης από την συνδυασμένη αντιστροφή εντοπίζονται στρώματα με μικρότερες ταχύτητες κάτω από άλλα με μεγαλύτερες ταχύτητες κάτι το οποίο δεν μπορεί να δώσει η μεμονωμένη σεισμική διάθλαση. Αυτό ενδεχομένως μπορεί να χαρακτηριστεί και ως μειονέκτημα για την συνδυασμένη αντιστροφή στην περίπτωση που η πληροφορία αυτή προέρχεται από δεδομένα της ηλεκτρικής τομογραφίας.

Με βάση την γεωφυσική έρευνα, για την ορθολογιστική μελέτη του προβλήματος του φαινομένου της υφαλμύρωσης στην ευρύτερη περιοχή, προτείνονται:

- Προσαρμογή των σεισμικών και ηλεκτρικών δεδομένων πριν την δημιουργία της συνδυαστικής αντιστροφής έτσι ώστε να αντιστοιχούν στις ίδιες διαστάσεις μοντέλων.
- Εφαρμογή περιορισμού στις τιμές των ταχυτήτων που εμφανίζονται στα σεισμικά στρώματα κάτι το οποίο θα διευκολύνει την επεξεργασία των δεδομένων.
- Προσομοίωση της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς της ευρύτερης περιοχής μελέτης με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.
- Περιορισμό του βάθους της σεισμικής τομογραφίας στη συνδυασμένη αντιστροφή μέχρι το βάθος από το οποίο αναδύονται μετωπικά κύματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

Ελληνική

- Βαφείδης Α. , (2001), Εφαρμοσμένη Γεωφυσική II, Σημειώσεις προπτυχιακού μαθήματος, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- ΓΓΜΕ, (1996), Γεωλογικός Χάρτης (φύλλο Χανιά, κλίμακα 1:50.000).
- Μενάγιας Γ. , (2009), Σεισμική διασκόπηση στο οικόπεδο του παλαιού εργοστασίου της ΑΒΕΑ, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Παπαζάχος Β. , (1986), Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική.
- Παπαδόπουλος Ν. , (2007), Ανάπτυξη Αλγορίθμων για την Τρισδιάστατη Αντιστροφή Γεωηλεκτρικών Δεδομένων που προέρχονται από Αρχαιολογικούς Χώρους, Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη.
- Σαγκιώτη Κ. , (2010), Συμβολή της Ηλεκτρικής και Σεισμικής τομογραφίας στη μελέτη του φαινομένου της υφαλμύρωσης στα Φαλάσαρνα Χανίων, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Σούρλας Γ. , (2000), Συμβολή της Γεωφυσικής Διασκόπησης στην αναζήτηση θαμμένων αρχαιοτήτων στην Ίτανο Λασιθίου, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Τσιρογιάννης Π. , (2009), Συμβολή της Δισδιάστατης και Τρισδιάστατης Γεωηλεκτρικής τομογραφίας στον εντοπισμό εγκοίλων, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Hamdan, (2010), Ανάπτυξη τεχνικών συνδυασμένης επεξεργασίας γεωφυσικών δεδομένων (ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων) για την απεικόνιση της υφαλμύρινσης σε παράκτιους υδροφορείς, 2010, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

Διεθνής

- Balia R. , Gavaudo E. , Ardau F. , Chiglieri G. , (2001), Geophysical Approach to the Enviromental Study of a Coastal Plain, Uninersita degli Studi di Cagliari, Dipartimento di Ingegneria del Territorio, Sassari, Italy.
- Corriols M. , Dahlin T. , (2009), Geophysical characterization of the Leon-Chinandega aquifer, Hydrogeology Journal, Vol.6, p.28, Managua, Nicaragua.
- Gallardo L.A. and Meju M.A. , (2003), Characterization of heterogeneous near-surface materials by joint 2D inversion of DC resistivity and seismic data, Geophys. Res. Lett. , 30(13), 1658
- Gallardo L.A. and Meju M.A. , (2004), Joint two-dimensional DC resistivity and seismic travel time inversion with cross-gradients constrains, Journal of geophysical research, 109, B03311

- Leeming M. , Roberts G. , Bertoli M. , Anderson H. , Street G. , (1994), Interpretation Report:SALTMAP Survey , Broomehill Landcare District, World Geoscience Corporation.
- Loke H. and Barker D. , (1996), Rapid least- squares inversion apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method, Geophysical, Prospecting.
- Paillet L. , (1999), Integrating surface and borehole geophysics in the chararization of salinity in a coastal aquifer, Society of Exploration, Geophysics.
- Reynolds M. , (1997), An introduction to applied and Enviromental Geophysics, John Wiley and Sons Ltd, Chichester.

Ηλεκτρονική

- Αβραμίδου, (2007), Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης στον Ελλαδικό χώρο, <http://ikee.lib.auth.gr/record/100838/files/gri-2008-1098.pdf> .
- ΙΓΜΕ, Γεωδιαδρομές, (2009), Εξερευνήστε το τοπίο, τα πετρώματα και τη φύση της Δ. Κρήτης και της νήσου Γαύδου, <http://docplayer.gr/2646652-D-kriti-kai-nisos-gaydos.html> .

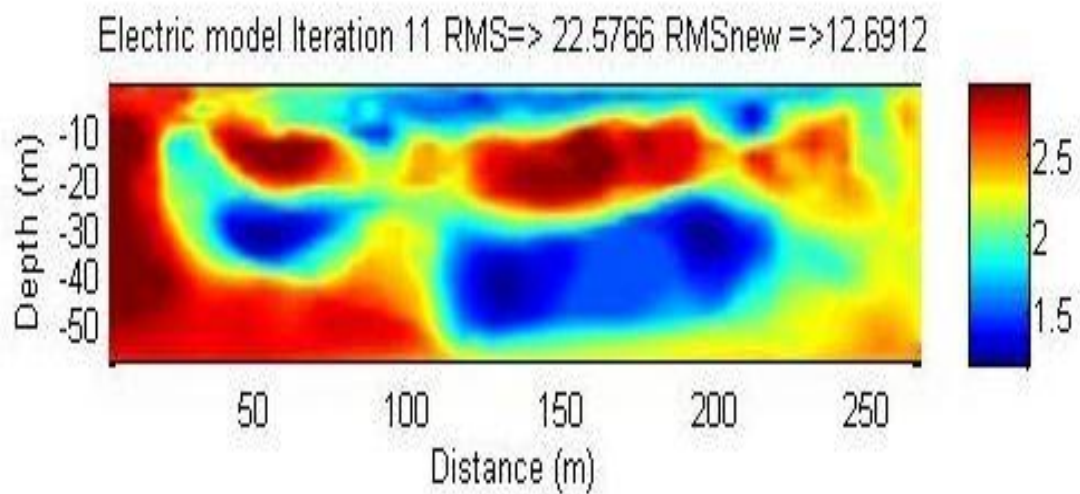
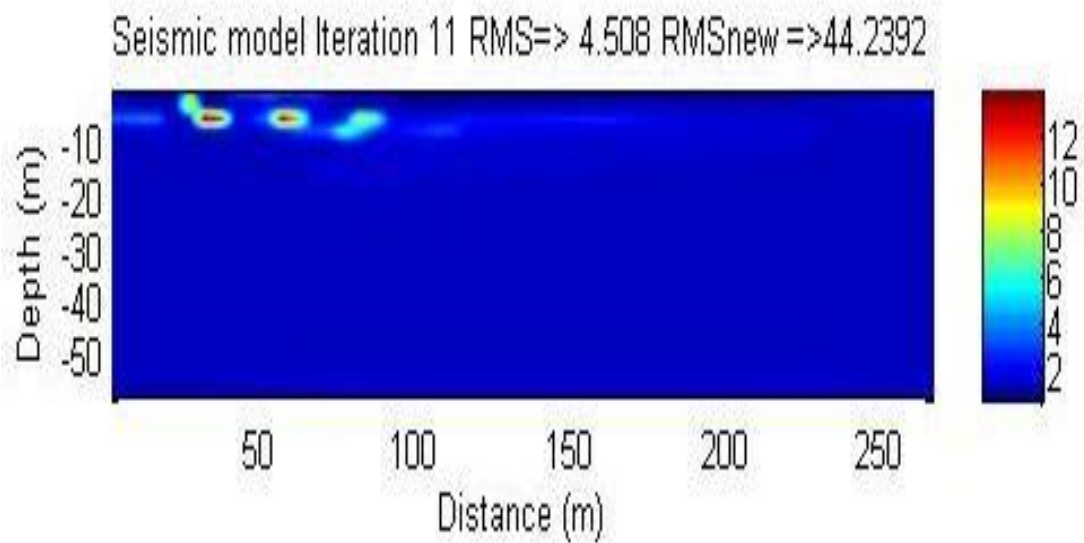
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Α – Θέσεις πηγών και γεωφώνων

Σεισμική Γραμμή	a/o Spread	Shot_Loc1-File	Shot_Loc2-File	Shot_Loc3c-File	Shot_Loc4-File	Shot_Loc5-File	Shot_Loc6-File	Shot_Loc7-File
F26	1o (0-55)	-30m 2600	-15 m 2601	-5m 2602	27.5m 2603	60 m 2604	70 m 2605	85m 2606
F27	1o (0-55)	-30m 2700	-15 m 2701	-5m 2702	27.5m 2703	60 m 2704	70 m 2705	85m 2706
F28	1o (0-55)	-30m 2800	-15 m 2801	-5m 2802	27.5 2803	63 m 2804	70.5 m 2805	85m 2806
	2o (60-115)	40m 2807	55 m 2808	87.5m 2809	120 2810	130 m 2811	145 m 2812	
F29	1o (0-55)	-30m 2900	-15 m 2901	-5m 2902	27.2 2903	60.2 m 2904	71.1 m 2905	85m 2906
	2o (60-115)	30m 2907	45.2 m 2908	55m 2909	87.6m 2910	116.1m 2911	120 m 2912	129 m 2913
F30	1o (0-55)	-15m 300	-5.4 m 301	-1m 302	27.5 303	56 m 304	60 m 305	70.5m 306
	2o (60-115)	45m 307	55 m 308	59m 309	87.5m 310	116m 311	120 m 312	130.4 m 313
F31	1o (0-55)	-15m 311	-2.5 m 312	27.5m 313	57.5m 314	70 m 315		
	2o (60-115)	45m 3121	57.5 m 3122	87.5m 3123	117.5 3124	130 m 3125		
F32	1o (0-55)	-10.3m 10	-4.5 m 11	27.1m 12	60m 13	65 m 14	85m 15	
	2o (60-115)	30m 16	55 m 17	59m 18	92.5 19	116 m 20	125m 21	144m 22
	3o (120-175)	90m 24	110 m 25	119m 26	142.5 27	178.5 m 28	185m 29	
F33	1o (0-55)	-11.2m 3300	-4.9 m3301	27.5m 3302	58.9m 3303	70 m 3304	85m 3305	
	2o (60-115)	30m 3306	45 m 3307	87.5m 3308	120m 3309	130 m 3310	145m 3311	
F34	1o (0-55)	-16.5m 341	-6m 342	27.5m 343	60 344	85 m 345		
	2o (60-115)	45 m 346	57m 347	87m 348	120 m 349	130 m 350		
	3o (120-175)	90m 351	105 m 352	118m 353	147.5 354	176.5 m 355	188.5m 356	200.2 357

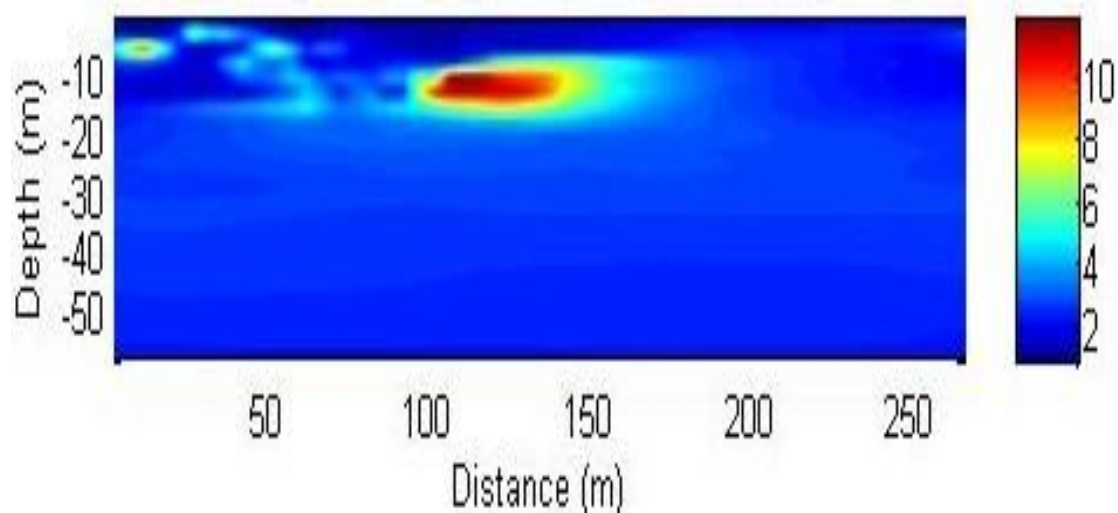
B – Σεισμικές και Γεωηλεκτρικές τομές όπως προέκυψαν αυτούσιες από την αντιστροφή

Γραμμή Μελέτης F26

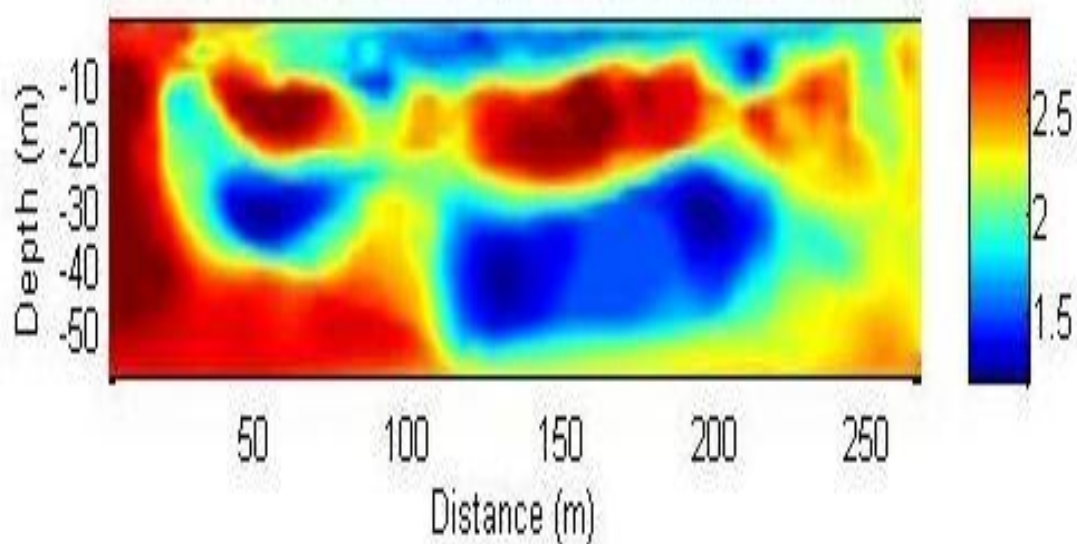


Γραμμή Μελέτης F27

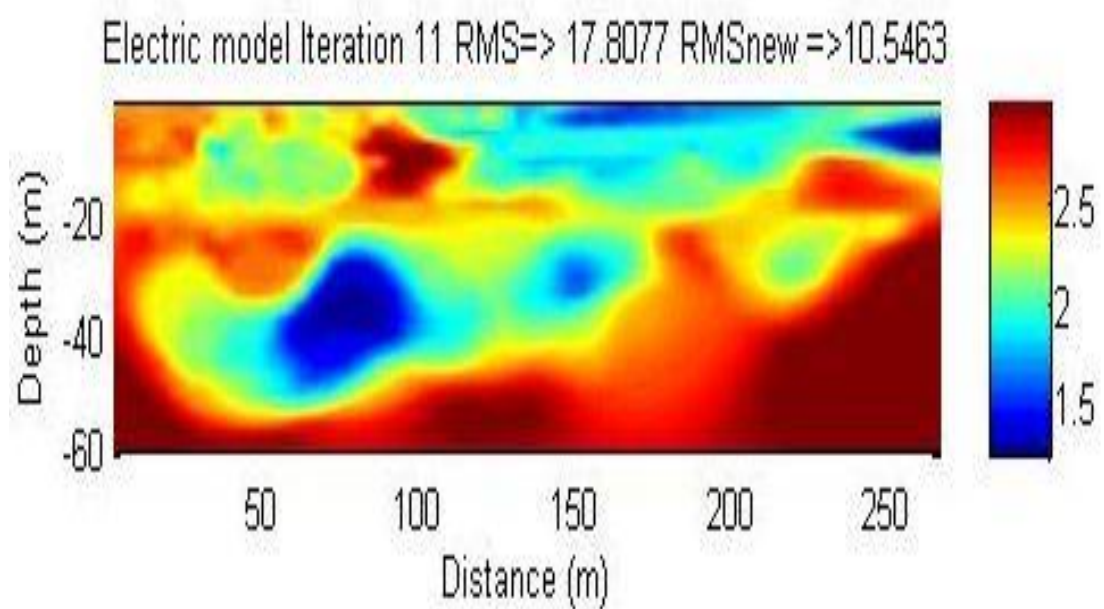
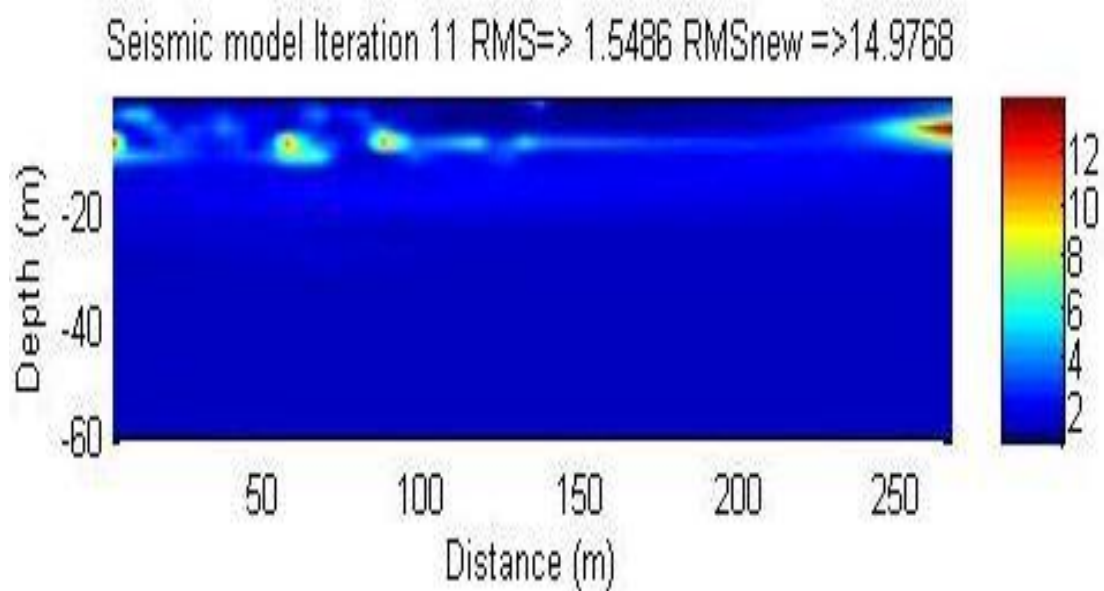
Seismic model Iteration 11 RMS=> 1.6963 RMSnew =>10.0614



Electric model Iteration 11 RMS=> 22.5766 RMSnew =>12.6912

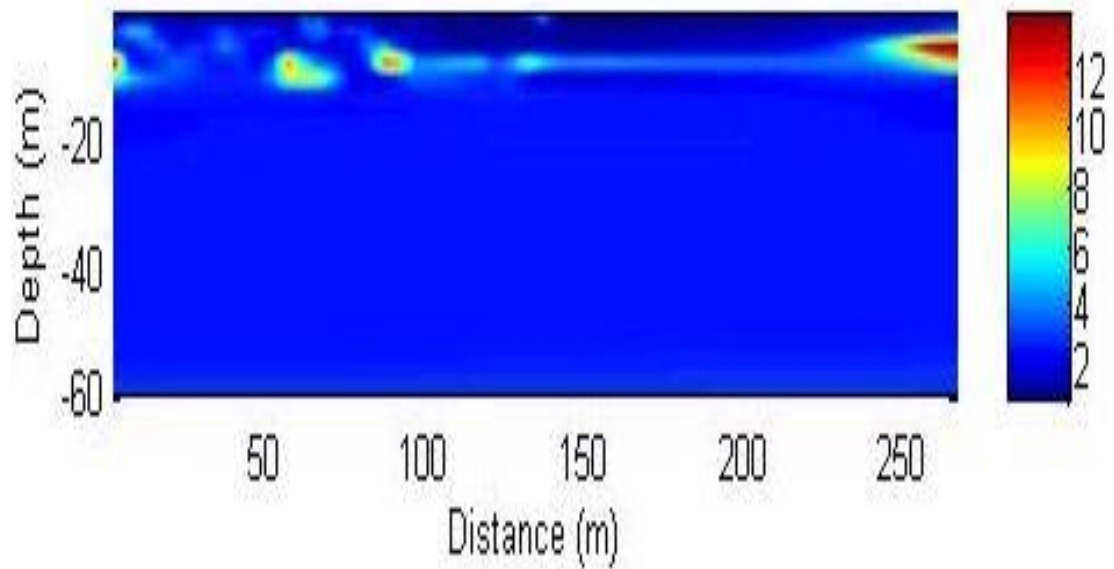


Γραμμή Μελέτης F28

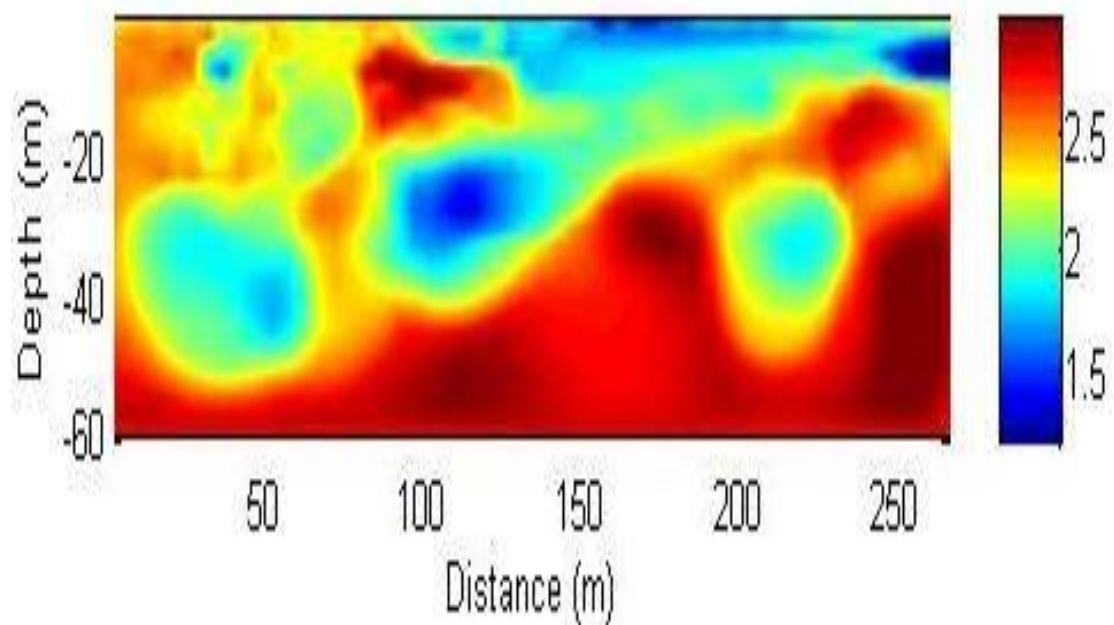


Γραμμή Μελέτης F29

Seismic model Iteration 11 RMS=> 2.4313 RMSnew =>15.5263

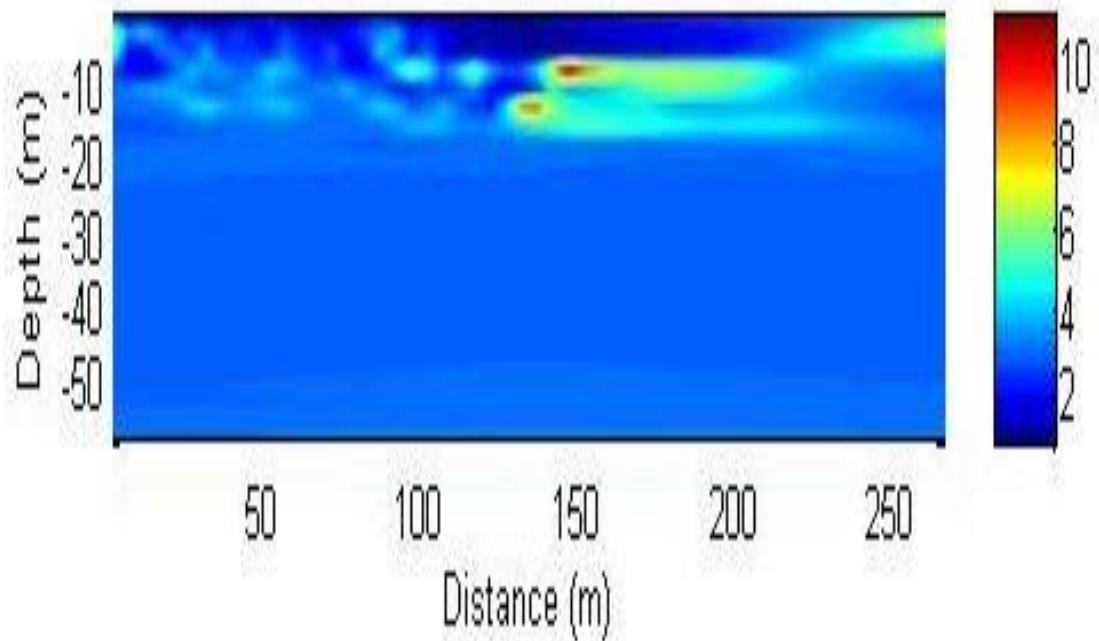


Electric model Iteration 11 RMS=> 17.7189 RMSnew =>10.3996

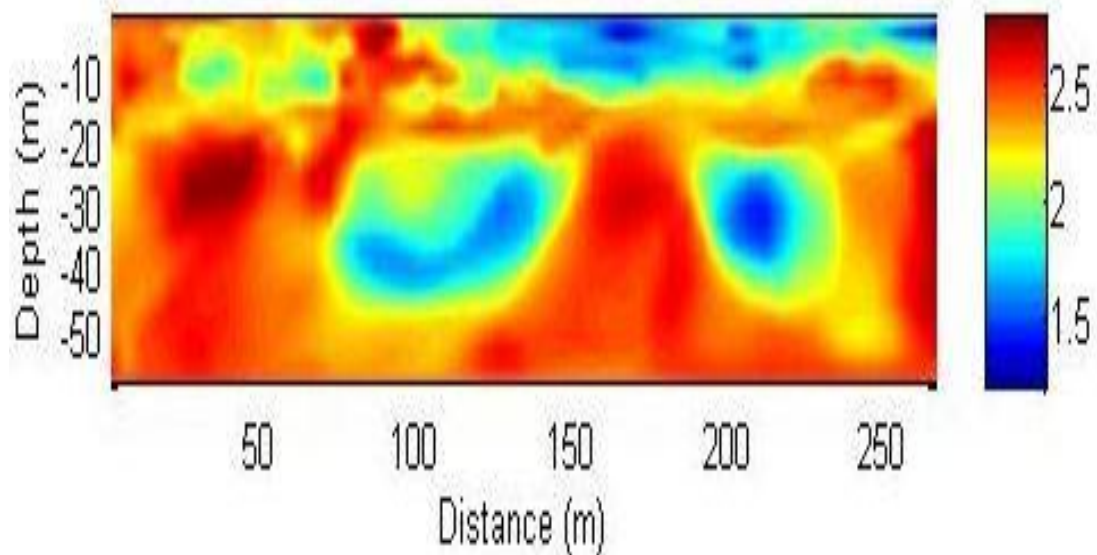


Γραμμή Μελέτης F30

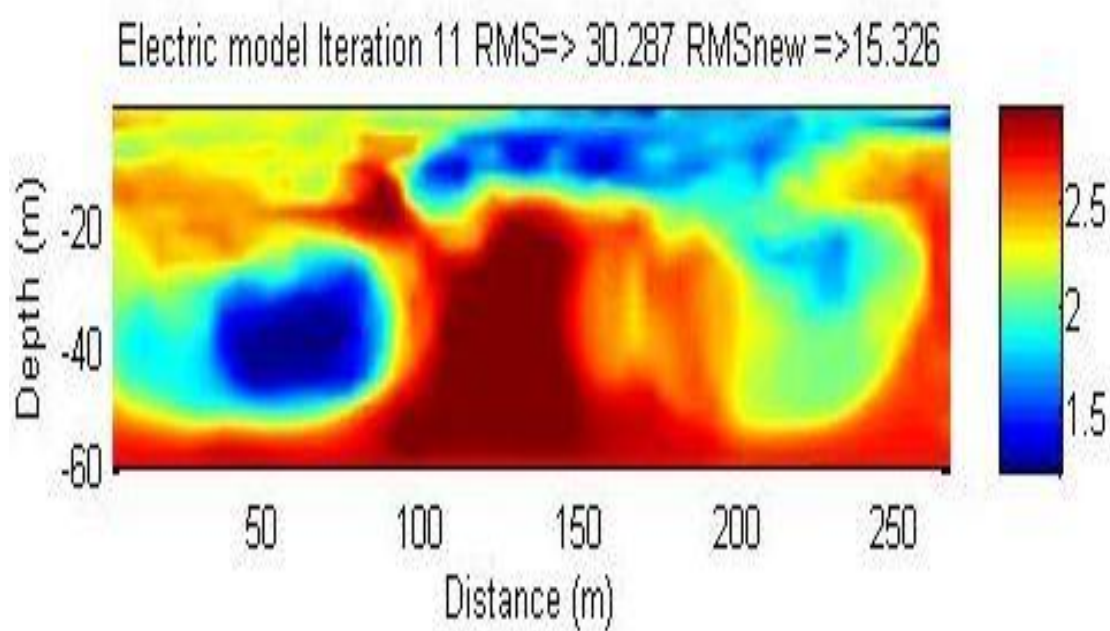
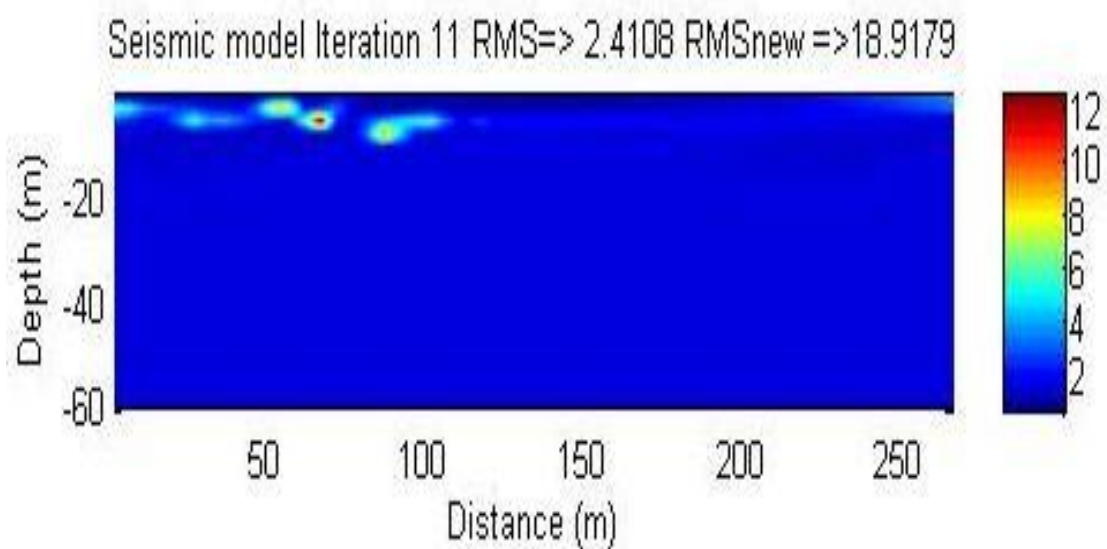
Seismic model Iteration 11 RMS=> 1.2832 RMSnew =>27.7326



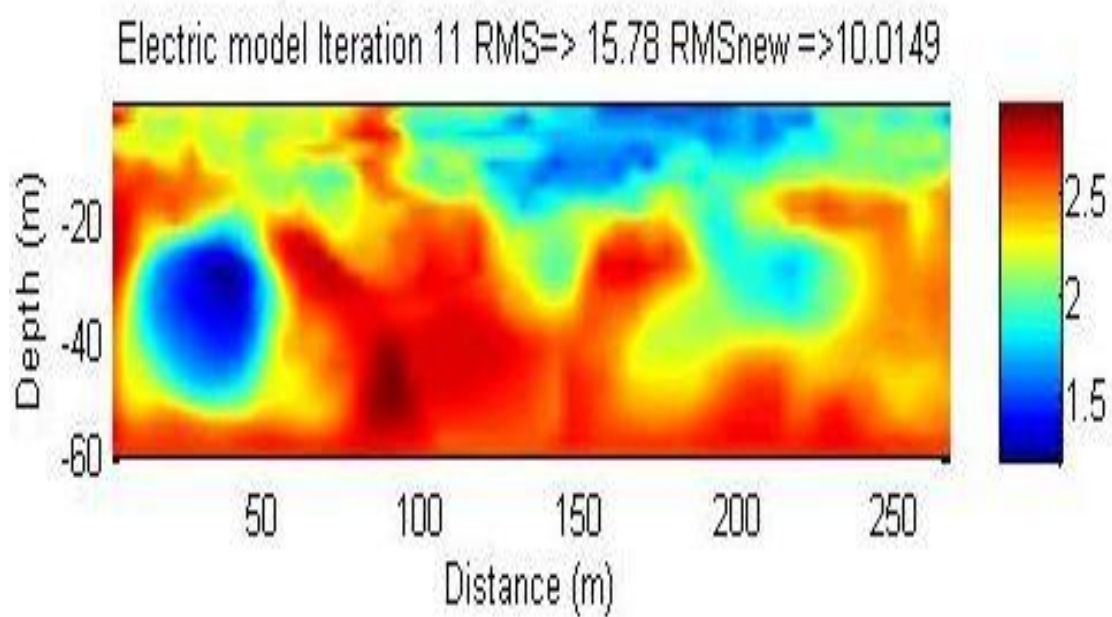
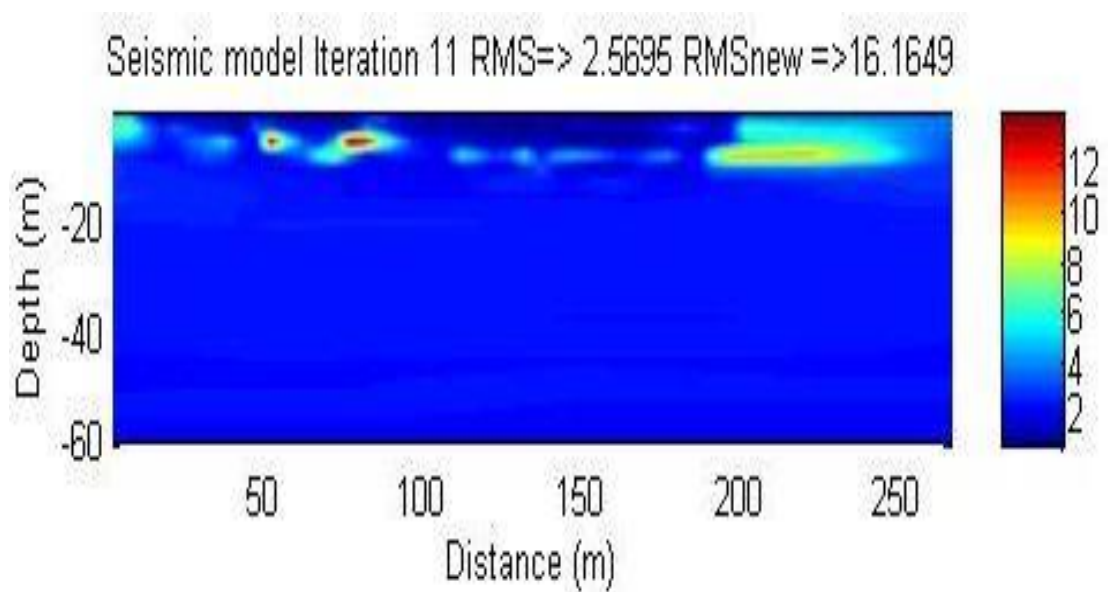
Electric model Iteration 11 RMS=> 13.2666 RMSnew =>9.1943



Γραμμή Μελέτης F31

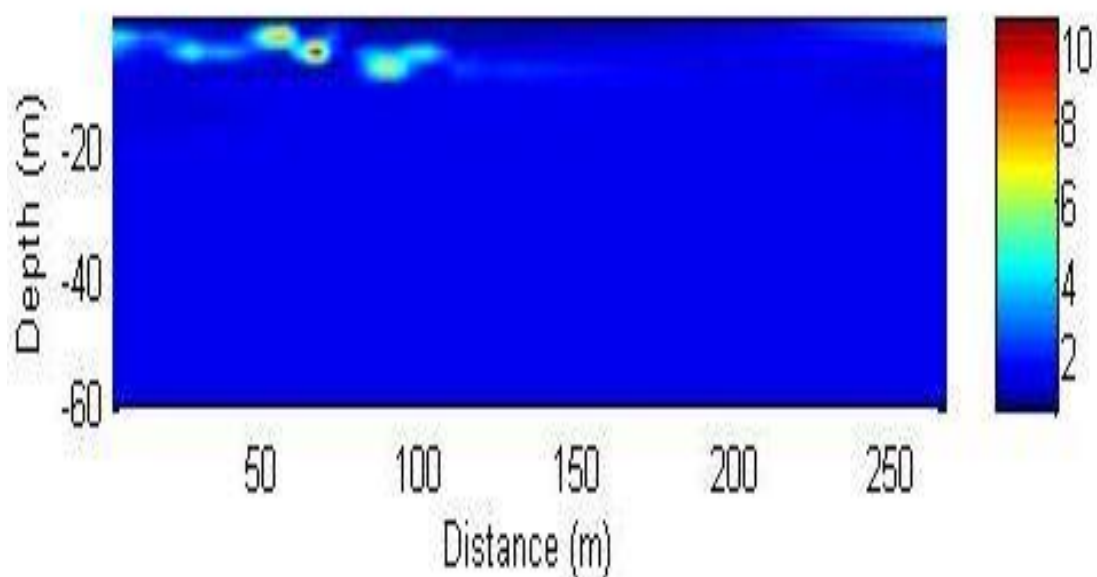


Γραμμή Μελέτης F32

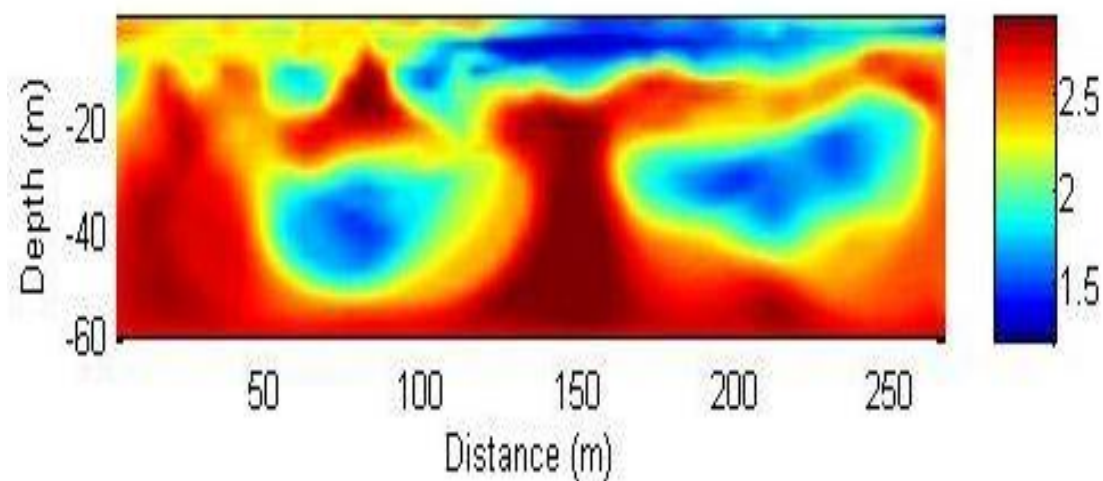


Γραμμή Μελέτης F33

Seismic model Iteration 11 RMS=> 2.6034 RMSnew =>19.6226



Electric model Iteration 11 RMS=> 18.0348 RMSnew =>10.6435



Γραμμή Μελέτης F34

