

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS) ΑΠΟ ΤΗ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΑΛΑΣΣΑΡΝΩΝ, Ν. ΧΑΝΙΩΝ**

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Β. ΚΟΡΝΕΛΑΚΗΣ

Εξεταστική Επιτροπή

Βαφείδης Αντώνιος, Καθηγητής Π.Κ. (επιβλέπων)
Μανούτσογλου Εμμανουήλ, Καθηγητής Π.Κ.
Παρτσινέβελος Παναγιώτης, Επίκουρος Καθηγητής Π.Κ.

**XANIA
ΙΟΥΝΙΟΣ 2013**

Αφιερωμένη στους γονείς μου
Βασίλη & Μαρία
Και στην αδερφή μου, Ελισάβετ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι γεωφυσικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται στην ανίχνευση του μετώπου υφαλμύρινσης. Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι η πιο κατάλληλη για τον εντοπισμό των υφάλμυρων υπόγειων νερών.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας στην περιοχή των Φαλασάρνων με τις μεθόδους της ηλεκτρικής τομογραφίας και της σεισμικής τομογραφίας. Τα γεωφυσικά αποτελέσματα σε συνδυασμό με γεωλογικά, τοπογραφικά, στοιχεία από υπηρεσίες του δημοσίου, απογραφή πηγαδιών-γεωτρήσεων από την πρώην υπηρεσία εγγυοβελτιώσεων, συντεταγμένες σημείων εισήχθησαν στο πρόγραμμα ArcMap, το οποίο είναι πρόγραμμα GIS. Η βασική επιδίωξη είναι η ανάπτυξη μιας μεγάλης βάσης δεδομένων, με τη χρήση του προγράμματος, η οποία επιτρέπει την διαχείριση και εποπτεία τεράστιου όγκου πληροφοριών και δεδομένων για την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων.

Ουσιαστικά υπερτονίζεται η αξία χρήσης του ArcMap ως εργαλείο διαχείρισης πληροφοριών, το συγκριτικό του πλεονέκτημα είναι ο δυναμικός του χαρακτήρας που μας επιτρέπει τη συνεχή αναβάθμιση των στοιχείων και των δεδομένων με την εισαγωγή νέων, διόρθωση ή επέκταση των παλαιών, όποτε η εποπτεία του προβλήματος γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια και σφαιρικά καταρτισμένη επιστημονική γνώση.

Εντοπίστηκε περιοχή χαμηλών ηλεκτρικών αντιστάσεων κοντά στην ακτογραμμή των Φαλασσάρνων, η οποία ίσως δείχνει την ύπαρξη ρήγματος είτε το αποτέλεσμα των χαμηλών ηλεκτρικών αντιστάσεων προκύπτουν από την ύπαρξη αργίλων στο υπόβαθρο, Line11. Όπως παρατηρείται και από άλλες γεωηλεκτρικές τομές υπάρχουν περιοχές με ηλεκτρικές αντιστάσεις 5 Ωm έως 20 Ωm όπου ίσως εντοπίζεται το μέτωπο της υφαλμύρινσης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αντώνιο Βαφείδη, επιβλέποντα καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης για την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας και την συνεχή καθοδήγηση του.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της επιτροπής, κ. Παρτσινέβελος Παναγιώτης, Επίκουρο καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, και τον κ. Μανούτσογλου Εμμανουήλ, Καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

Θέλω να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής Hamdan Hamdan για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας και την καθοδήγηση που μου παρείχε σε κάθε της βήμα, καθώς και τον ΙΔΑΧ του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής κ. Κρητικάκη Γεώργιο για τη βοήθεια και τις πολύ εύστοχες παρατηρήσεις καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

Πίνακας περιεχομένων

1.	Εισαγωγή.....	6
1.1	Θέση και γεωλογία της περιοχής μελέτης	8
2.	Υφαλμύρινση	12
2.1	Γενικά.....	13
2.2	Πορώδεις Σχηματισμοί	16
2.3.	Καρστικοποιημένοι Σχηματισμοί	18
2.4	Υφαλμύρινση και Γεωφυσική.....	19
3.	Γεωφυσικές Μέθοδοι	22
3.1	Εισαγωγή.....	22
3.2	Μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης	23
3.3	Ηλεκτρική Τομογραφία	25
3.3.1.	Τρόπος Πραγματοποίησης των Μετρήσεων.....	26
3.4	Μέθοδος της σεισμικής διάθλασης.....	30
3.4.1	Μετωπικά Κύματα	30
4.	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.....	33
4.1	Εισαγωγή.....	33
4.2	Ορισμός και Αρχή Λειτουργίας	34
4.3	Κατηγορίες δεδομένων στα Γ.Σ.Π.....	36
4.4	Οι Χρήσεις των GIS	36
4.4.1	Τα διάφορα Γ.Σ.Π	39
5.	Ανάπτυξη Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών	40
5.1	Εισαγωγή.....	40
5.2	Διαθέσιμα δεδομένα.....	41
5.3	Εγγραφή δεδομένων.....	42
5.4.	Γεωφυσικά δεδομένα	46
5.4.	Σεισμικά δεδομένα	61
5.4.1	LINE FAS 1	61
5.4.2	Line FAS2	63
5.4.3	Line FAS3	64
5.5	Εργασία (Project) στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών	65
6.	Συμπεράσματα και Προτάσεις	66
7.	Βιβλιογραφία.....	68

1. Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η συλλογή, επεξεργασία και συγκριτική μελέτη των στοιχείων που προέκυψαν από τη γεωφυσική διασκόπηση στην περιοχή μελέτης, Φαλάσσαρνα Κισάμου του νομού Χανίων, με σκοπό τη μελέτη της υφαλμύρινσης στην περιοχή. Η διαδικασία της μελέτης γίνεται με τη βοήθεια του προγράμματος ArcGIS, το οποίο συγκαταλέγεται σε ένα ευρύ φάσμα προγραμμάτων, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών ή γνωστότερα με τον αγγλικό όρο Geographical Information Systems (GIS).

Ουσιαστικά έγινε προσπάθεια για τη δημιουργία μιας μεγάλης βάσης δεδομένων, με τη βοήθεια του προγράμματος ArcGIS, στην οποία περιλαμβάνεται η γεωλογία της περιοχής μελέτης, γεωφυσικές μετρήσεις, στοιχεία από τα δελτία απογραφής γεωτρήσεων και πηγαδιών, όπως αυτά μας δόθηκαν και οι τοπογραφικοί χάρτες της περιοχής.

Σκοπός όλων αυτών είναι η διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων για την ερμηνεία, κατανόηση και εύρεση λύσης περίπλοκων προβλημάτων στα οποία οι πληροφορίες και τα δεδομένα είναι πολύ μεγάλα σε αριθμό.

Η υφαλμύρινση είναι μια διαδικασία κατά την οποία το νερό της θάλασσας ρέει υπόγεια και εισχωρεί στο υπέδαφος σε μεγάλη απόσταση από την ακτή. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν ο ρυθμός άντλησης του υπόγειου νερού είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό αναπλήρωσής του, οπότε και εισρέει το θαλασσινό νερό.

Αποτέλεσμα είναι τα υπόγεια νερά να γίνονται υφάλμυρα και να είναι πια ακατάλληλα για ύδρευση ή και άρδευση. Επιπλέον, η υφαλμύρινση αποτελεί αιτία για την υποβάθμιση της ποιότητας των εδαφών, όπου σε ακραίες περιπτώσεις η φυτική γη καθίσταται εντελώς άγονη. Είναι ένα πρόβλημα που απασχολεί τις εύφορες παραθαλάσσιες πεδινές περιοχές και εκτιμάται ότι η κατάσταση επιδεινώνεται συνεχώς.

Η διείσδυση αλμυρού νερού σε παράκτιους υδροφορείς μπορεί να οφείλεται τόσο σε φυσικούς παράγοντες (πχ. ανύψωση της στάθμης της θάλασσας), έντονη καρτσικοποίηση του

γεωλογικού υποστρώματος, όσο και σε ανθρωπογενείς (υπεραντλήσεις) ή πολλές φορές συνδυασμό των δύο.

Η υφαλμύρινση υπογείων υδροφορέων λόγω υπεράντλησης, αποτελεί ειδική περίπτωση υπόγειας ροής και διαφοροποιείται στους υδροφορείς, ανάλογα με τα υδρογεωλογικά τους χαρακτηριστικά. Όταν ο ρυθμός άντλησης από παραθαλάσσιο υδροφορέα υπερβεί τον ρυθμό τεχνητής ή φυσικής επαναφόρτισης του, τότε το θαλασσινό νερό εισρέει στους υδροφορείς, καταστρέφοντάς τους από πηγή αξιοποιήσιμου νερού. Κατά την εισροή της θάλασσας σε έναν υδροφορέα οι συνθήκες μόνιμης ροής στην πραγματικότητα δεν αποκαθίστανται εύκολα. Επομένως το φαινόμενο αυτό είναι πολύ δύσκολα αναστρέψιμο, γι' αυτό και η αντιμετώπισή του συνδέεται πρακτικά με πρόβλεψη και ορθή διαχείριση των υδάτινων πόρων (Νάνου-Γιάνναρου, 2001).

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

1.1 Θέση και γεωλογία της περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο νομό Χανίων. Συγκεκριμένα τα Φαλάσσαρνα βρίσκονται στην επαρχία Κισσάμου 52,3 χιλιόμετρα δυτικά της πόλης των Χανίων και 14,5 χιλιόμετρα από την κοντινότερη κωμόπολη την Κίσσαμο.



Σχήμα 1: Θέση περιοχής μελέτης στο νομό Χανίων

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί με τη σειρά που εμφανίζονται (νεότεροι, παλαιότεροι) στην περιοχή μελέτης, σύμφωνα με το γεωλογικό φύλλο χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. ΦΥΛΛΟ ΚΑΣΤΕΛΛΙ (1:50.000 – Σχήμα 1.1) είναι οι ακόλουθοι:

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

Σύγχρονες παράκτιες αποθέσεις και θίνες (Qal - θ).

Αλουβιακές αποθέσεις (Qal₂): Πηλοί, άργιλοι, άμμοι και χάλικες, χαλαρής συνοχής. Πάχος έως 3 m.

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.

Νεώτερη θαλάσσια αναβαθμίδα (Qtm₁): Συνάγματα και άμμοι σε υψόμετρο 3 m.

Νεώτερες ποτάμιες αναβαθμίδες (Qt₁): Ασύνδετοι χάλικες και άμμοι.

Παλαιότερες ποτάμιες αναβαθμίδες (Qt): Άργιλοι ερυθροκαστανόχρωες με υψηλό ποσοστό άμμου, ψηφήδων και κροκάλων από ασβεστόλιθους, κερατόλιθους και σπανιότερα από ψαμμίτη του φλύσχη.

Παλαιότερες θαλάσσιες αναβαθμίδες (Qt_{n1}): Συνεκτικό (με λεπτοαμμούχο άργιλο) κροκαλοπαγές.

Κροκαλοπαγές (Qdl): Ποτάμιο, με καλά στρογγυλεμένες κροκάλες και άμμους.

Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (Mi, mk): Συμπαγείς, υπόφαιοι έως υποκίτρινοι.

Μάργες (Mi, m): Λευκές υποκίτρινες και στα βαθύτερα στρώματα πρασινόφαιες σε εναλλαγή με μαργαϊκούς ψαμμίτες και τράπεζες μαργαϊκών ασβεστόλιθων.

Κροκαλοπαγές (Mic): Συμπαγείς κροκάλες κυρίως από μεσοζωικούς ασβεστόλιθους, κερατόλιθους και κρυσταλλικά πετρώματα (σχιστόλιθους, χαλαζίτες κλπ) με φαιοκίτρινη μαργαϊκή συνδετική ύλη.

ΝΕΟΓΕΝΗ

Πορώδης Ασβεστόλιθος: Τα νεογενή πετρώματα (θαλασσογενή, ποταμογενή ή λιμνογενή) αποτελούνται κυρίως από άμμο, άργιλο, πηλό, κροκαλοπαγείς σχηματισμούς, μάργες, τραβερτίνες και πορώδεις ασβεστόλιθους. Απαντούν στρωματομένα οριζόντια, στις χαμηλότερες πεδιάδες και καταλαμβάνουν επιφανειακά μεγάλες εκτάσεις.

ΖΩΝΗ ΤΡΙΠΟΛΗΣ

Φλύσχης (F_T): Αργιλικοί σχιστόλιθοι και αργιλομιγείς ψαμμίτες σε εναλλασ. στρώματα μικρού πάχους.

Ασβεστόλιθοι (e,k): Μελανόφαιοι, συμπαγείς, λεπτοκρυσταλλικοί, απολιθωματοφόροι με έντονη οσμή βιτουμενίων. (ΗΩΚΑΙΝΟ)

Ασβεστόλιθοι (Ks): Λευκότεφροι έως κυανότεφροι συμπαγείς καρστικοποιημένοι. (ΑΝΩ ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ)

ΜΕΣΟΖΩΙΚΟ

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

ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΣΧΙΣΤΩΔΟΥΣ ΚΡΗΤΗΣ

Ασβεστόλιθοι (PCK): (Μάρμαρα) ενίστε δολομιτικοί, λευκότεφροι συμπαγείς σε τράπεζες και ασβεστόλιθοι κυανόφαιοι έως μελανότεφροι. Με εμφανίσεις σιδηρομετελλευμάτων (Fe).

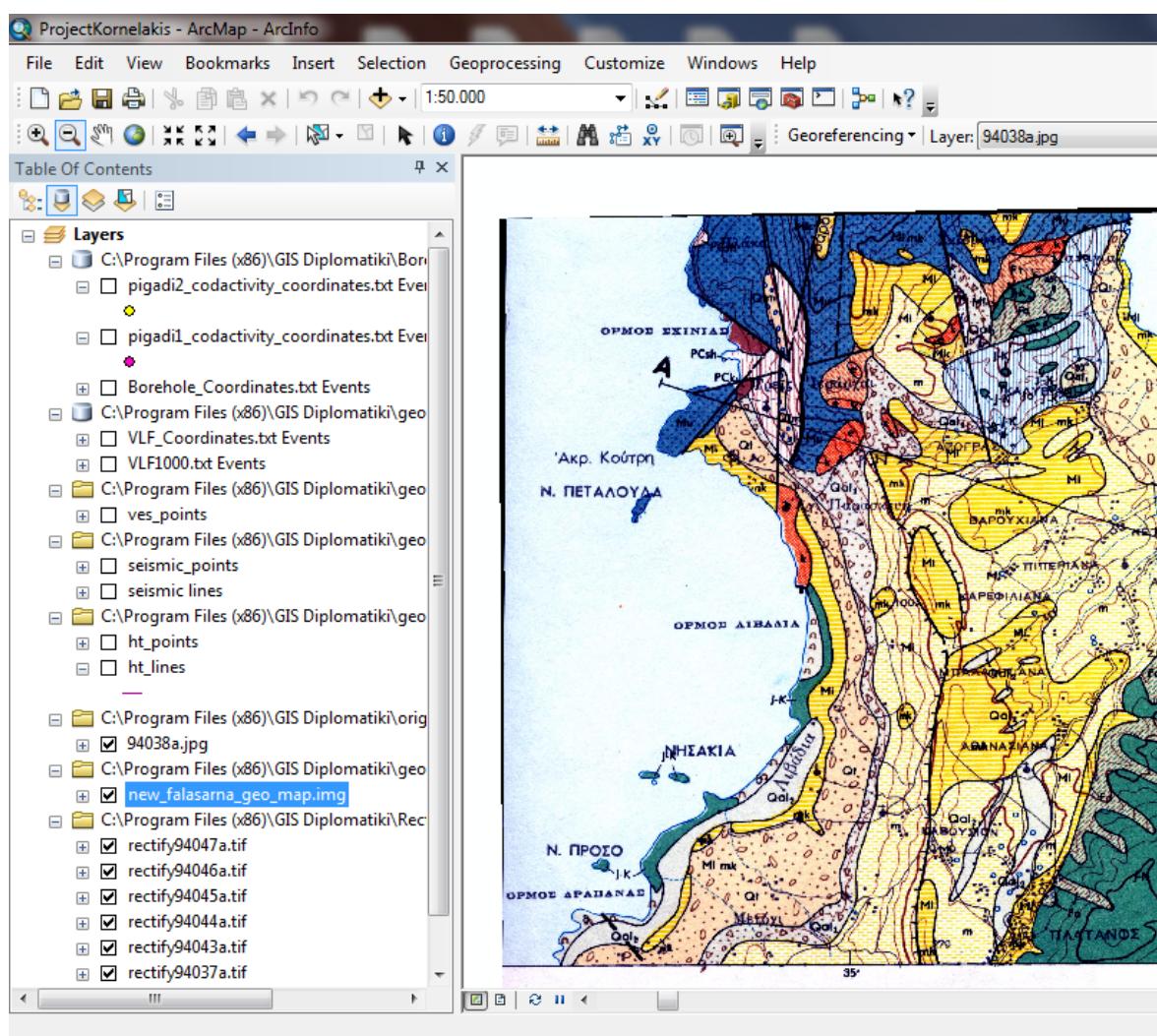
Κρυσταλλικοί σχιστόλιθοι (PCsh): Λαμπυρίζοντες μαρμαρυγιακοί ή γραφιτικοί φυλλίτες και χλωριτικοί σχιστόλιθοι. Με εμφανίσεις σιδηρομετελλευμάτων (Fe).

ΖΩΝΗ ΩΛΟΝΟΥ ΠΙΝΔΟΥ

Φλύσχης (fo): Αργιλικοί σχιστόλιθοι και αργιλικοί ψαμμίτες σε εναλλασσόμενα στρώματα.

Ασβεστόλιθοι (j-k): Λευκοί έως φαιοί, συμπαγείς συνήθως στιφροί ή/και μικροκρυσταλλικοί, κατά τόπους λιθογραφικοί και λεπτοπλακώδεις, σε τράπεζες με έντονη καρστική διάβρωση. (ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ)

Σχιστοκερατόλιθοι (jo): Ερυθροκαστανόχρωοι, σπανιότερα μελανόφαιοι, συνιστάμενοι από εναλλασσόμενα στρώματα αργιλικών σχιστολίθων, κερατολίθων και κυανόφαιων λεπτοπλακωδών ασβεστολίθων. (ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ)



Σχήμα 1.1: Εγγεγραμμένος γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης (γεωλογικό φύλλο χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. ‘ΦΥΛΛΟ ΚΑΣΤΕΛΛΗ Κλίμακα 1:50000)

2. Υφαλμύρινση

Στην Ελλάδα, η κύρια πηγή κάλυψης των αναγκών σε γλυκό νερό είναι τα υπόγεια νερά. Η χρήση του νερού γίνεται κυρίως για πόση και άρδευση καθώς επίσης και για κάλυψη των τουριστικών και βιομηχανικών αναγκών. Στις περισσότερες παράκτιες περιοχές η οικονομία βασίζεται κυρίως στον τουρισμό και τη γεωργία. Ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες οι απαιτήσεις σε νερό είναι ιδιαίτερα υψηλές με αποτέλεσμα την υπεράντληση των υπόγειων υδροφορέων. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια την υφαλμύρινση των υδροφόρων στρωμάτων και την υποβάθμιση της ποιότητας του γλυκού νερού, με αποτέλεσμα να είναι ακατάλληλο για κάθε χρήση. Είναι λοιπόν φανερό, ότι η μελέτη του φαινομένου της υφαλμύρινσης των παράκτιων υδροφορέων είναι πολύ σημαντική για την Ελλάδα λόγω της μεγάλης ακτογραμμής και των κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων στις παράκτιες περιοχές.

Η διείσδυση του αλμυρού νερού στους παράκτιους υδροφορείς, αποτελεί την κύρια αιτία εμφάνισης του φαινομένου της υφαλμύρινσης. Στους παράκτιους υδροφορείς η υδραυλική κλίση του υπόγειου νερού έχει συνήθως κατεύθυνση προς τη θάλασσα. Λόγω της παρουσίας του αλμυρού νερού, στο τμήμα του υδροφορέα που βρίσκεται κάτω από το επίπεδο της θάλασσας σχηματίζεται μια ζώνη επαφής μεταξύ του ελαφρύτερου γλυκού νερού του υδροφορέα και του υποκείμενου βαρύτερου αλμυρού νερού. Ο όγκος του αλμυρού νερού κάτω από το γλυκό λόγω της χαρακτηριστικής του μορφής ονομάζεται σφήνα. Το αλμυρό και το γλυκό νερό έχουν τη δυνατότητα να αναμιχθούν με αποτέλεσμα η μεταξύ τους ζώνη επαφής να παίρνει τη μορφή μιας μεταβατικής ζώνης λόγω του φαινομένου της διάχυσης. Το φαινόμενο της υφαλμύρινσης εμφανίζεται όταν η υδραυλική κλίση του παράκτιου υδροφορέα προς τη θάλασσα είναι μικρή και ακόμα περισσότερο όταν αλλάζει διεύθυνση εξαιτίας των έντονων αντλήσεων. Στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για τη μετακίνηση της αλμυρής σφήνας προς το εσωτερικό του υδροφορέα με αποτέλεσμα την υφαλμύρινση του, την αύξηση δηλαδή της συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου, μαγνησίου και ασβεστίου στα υπόγεια νερά.

Ο όρος «υφαλμύρινση υπόγειου υδροφορέα» αναφέρεται στην ύπαρξη όχι μόνο γλυκού αλλά και υφαλμυρού νερού στους υδροφορείς αυτούς (Νάνου-Γιάνναρου, 2001). Αιτία της υφαλμύρινσης μπορεί να είναι γεωλογικοί παράγοντες, συνήθως όμως το φαινόμενο παρατηρείται κατά τη διείσδυση θαλάσσιου νερού στους παράκτιους υδροφορείς.

Στην περιοχή μελέτης έχει παρατηρηθεί το φαινόμενο της υφαλμύρινσης, γεγονός το οποίο αποδεικνύεται από τις μελέτες, του ΟΑΔΥΚ, του πρώην δήμου Κισσάμου, της πρώην νομαρχίας Χανίων και της νυν περιφερειακής ενότητας Χανίων, πάνω στο φαινόμενο αλλά και στους τρόπους αντιμετώπισης του. Η περιοχή μελέτης αποτελείται κυρίως από ανθρακικά πετρώματα και συγκεκριμένα από ασβεστόλιθους (μαργαϊκούς και Τρίπολης). Στους ασβεστόλιθους συχνά συναντώνται καρστικές δομές. Η δημιουργία καρστικών φαινομένων συνδέεται με την παρουσία ορισμένων πετρωμάτων τα οποία είναι ευδιάλυτα και αφήνουν ελάχιστο υπόλειμμα, ώστε τα διάκενα να διευρύνονται με τη διεργασία της διάλυσης αλλά και να παραμένουν ανοιχτά, για να είναι δυνατή η κίνηση του νερού μέσω αυτών στο υπέδαφος. Τα καρστικά πετρώματα, που έχουν μεγάλη υδρογεωλογική σημασία για το Μεσογειακό χώρο γενικότερα και τον Ελλαδικό χώρο ειδικότερα, είναι τα ανθρακικά πετρώματα. Η υδροδυναμική του παράκτιου καρστικού συστήματος αναλύεται στην παρακάτω ενότητα (Καλλέργης, 2001).

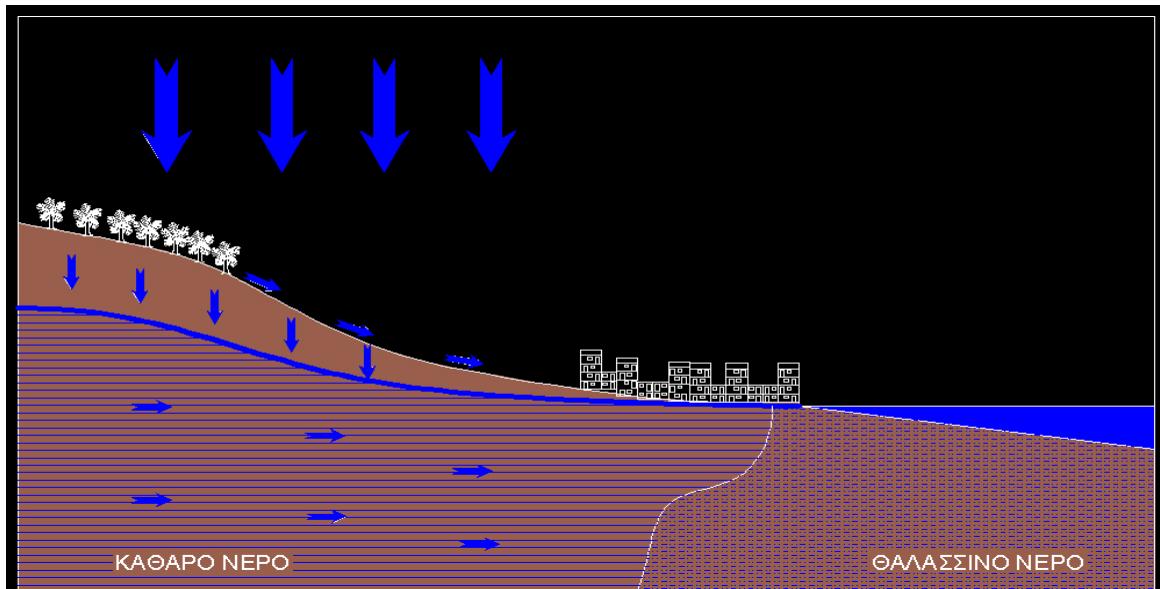
2.1 Γενικά

Υφαλμύρινση είναι η ανάμιξη των υπογείων υδάτων με θαλασσινό. Συνέπειες της υφαλμύρινσης είναι η αύξηση του διαλυμένου άλατος (χλωριούχου νατρίου NaCl), στα υπόγεια νερά και εν' τέλει της χειροτέρευσης της ποιότητας των "καθαρών" υδάτων.

Μία τυπική διάταξη μιας παραθαλάσσιας πόλης περιλαμβάνει τα ψηλά σημεία με τη βλάστηση και την πόλη χτισμένη δίπλα στη θάλασσα. Το υπέδαφος της πόλης εκτείνεται από τους λόφους που την περιβάλλουν μέχρι και κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Το νερό της βροχής, ανάλογα με την περατότητα των πετρωμάτων του εδάφους εισχωρεί λιγότερο ή περισσότερο στο υπέδαφος. Η βροχή φιλτράρεται από το υπέδαφος και το εμπλουτίζει με ποσότητες καθαρού νερού. Το υπέδαφος που βρίσκεται κάτω από τη θάλασσα δεν είναι υδατοστεγές, εμπλουτίζεται και αυτό με ποσότητες θαλασσινού νερού. Μεταξύ του

καθαρού νερού κάτω από το ύδαφος και του θαλασσινού νερού κάτω από τη θάλασσα διατηρείται μια λεπτή ισορροπία ανάμιξης.

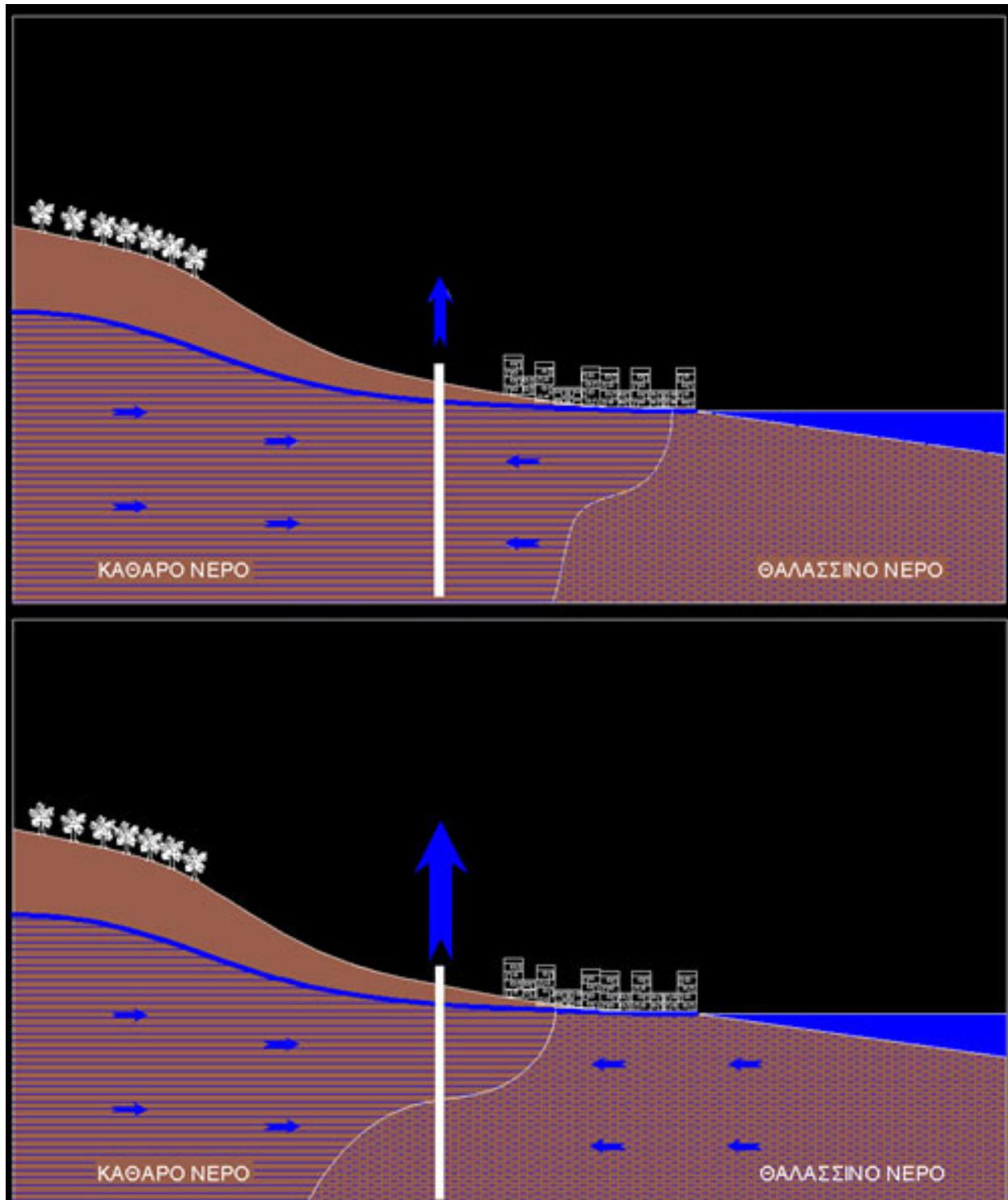


Σχήμα 2.1: Ροή γλυκού νερού προς τη θάλασσα

Για την κάλυψη των αναγκών μιας πόλης με καθαρό νερό η προσφιλέστερη μέθοδος είναι η διάνοιξη γεωτρήσεων και η άντληση καθαρού νερού από το υπέδαφος. Η άντληση καθαρού νερού σε λογικά επίπεδα δεν διαταράσσει την ισορροπία μεταξύ καθαρού και θαλασσινού νερού.

Οι ανάγκες μιας πόλης αυξάνονται όσο αυτή μεγαλώνει και οι επιχειρήσεις άντλησης και διανομής ύδατος οδηγούνται σε εντατικότερη άντληση με αποτέλεσμα την μείωση του όγκου του καθαρού νερού και την εισχώρηση του θαλασσινού στον υδροφόρο ορίζοντα (σχήμα 2.2).

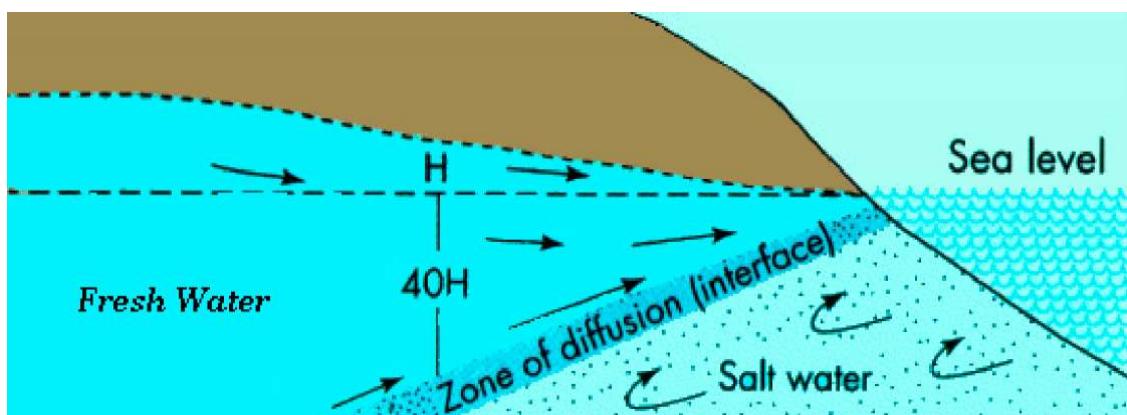
Η υπερβολική και αλόγιστη άντληση οδηγεί τελικά στην υφαλμύρινση με σημαντική εισχώρηση του θαλασσινού νερού στο υπέδαφος και ανάμιξη του με το καθαρό νερό. Από το σημείο αυτό και πέρα η πόλη τροφοδοτείται με κακής ποιότητας νερό (υψηλής περιεκτικότητας σε αλάτι). Επιπλέον το υπέδαφος διαβρώνεται από το θαλασσινό νερό και χημικές ουσίες που μέχρι εκείνο το σημείο δεν είχαν εμφανιστεί στο νερό τώρα αντιδρούν και διαλύονται στο υφαλμύρο νερό, οπότε εμφανίζονται και μια σειρά από προβλήματα όπως ο υδράργυρος (<http://www.deyaxiou.gr>).



Σχήμα 2.2: Α. Πάνω εικόνα, άντληση καθαρού νερού. Β. Κάτω εικόνα, εμφάνιση υφάλμυρου νερού εξαιτίας της υπεράντλησης.

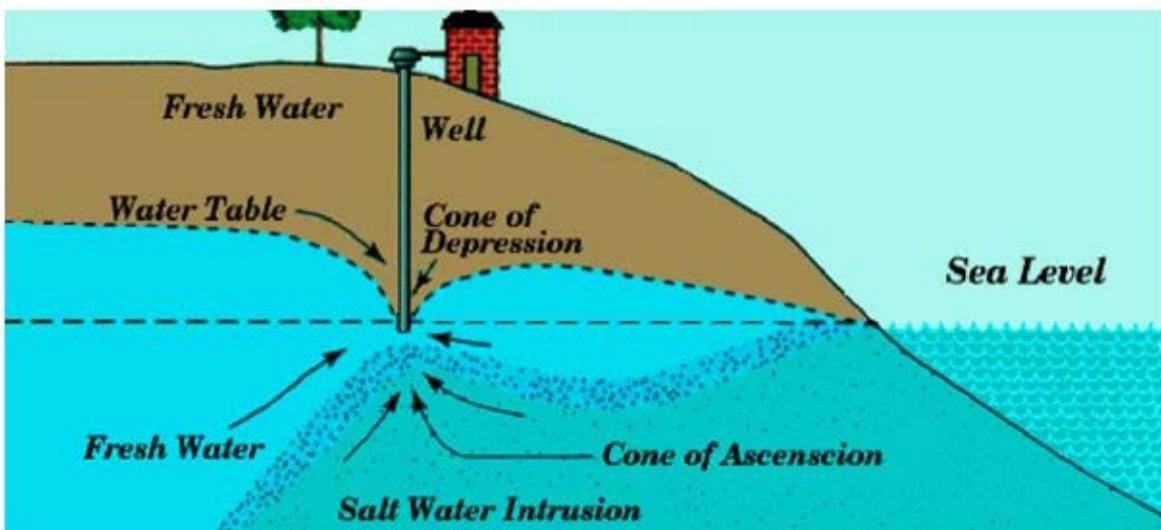
2.2 Πορώδεις Σχηματισμοί

Η άντληση του γλυκού νερού με πολύ γρήγορους ρυθμούς έχει ως αποτέλεσμα την ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα. Το επίπεδό του σχηματίζει, λοιπόν, έναν ανεστραμμένο κώνο, το λεγόμενο κώνο πτώσης στάθμης (Σχήμα 2.3). Η ανύψωση της στάθμης του θαλασσινού νερού προκαλείται από το γεγονός ότι αυτό έχει υψηλότερη πυκνότητα από το γλυκό νερό καθώς περιέχει περισσότερες διαλυμένες ουσίες. Η διαφορά αυτή στην πυκνότητα είναι και η αιτία όπου η πίεση σε μία στήλη θαλασσινού νερού είναι μεγαλύτερη από μια ανάλογη στήλη με γλυκό νερό. Αν λοιπόν αυτές οι δύο στήλες ενωθούν στο κάτω μέρος, οι δύο διαφορετικές πιέσεις τείνουν να εξισωθούν μέσω ροής της στήλης του νερού με τη μεγαλύτερη πυκνότητα (θαλασσινό) σε αυτό με τη μικρότερη (γλυκό).



Σχήμα 2.3: Διείσδυση του θαλασσινού νερού στον υδροφόρο ορίζοντα. (www.lenntech.com)

Η ροή του αλμυρού νερού περιορίζεται στην παράκτια περιοχή. Όσο μεγαλώνει η απόσταση από τη θάλασσα, η στήλη γλυκού νερού γίνεται ψηλότερη καθώς αυξάνεται το υψόμετρο, επομένως ικανή να εξισωθεί με τη στήλη θαλασσινού νερού σταματώντας τη διείσδυσή του (Σχήμα 2.4). Όσο όμως το υπόγειο νερό αντλείται, τόσο επιτρέπει στο θαλασσινό να διεισδύσει προς την ενδοχώρα. Αυτός είναι και ο λόγος που σε πολλά νησιά της Μεσογείου είναι απαραίτητη η επαρκής αναπλήρωση των υπόγειων υδάτων.



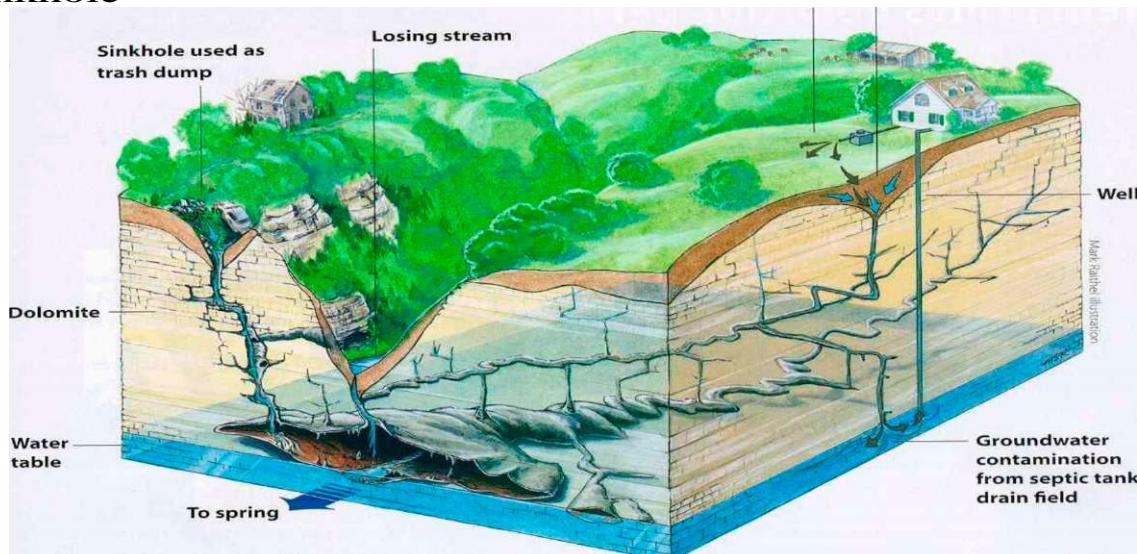
Σχήμα 2.4.: Σχηματιζόμενος κώνος πτώσης στάθμης με την άντληση του νερού (www.lenntech.com)

Αναλυτική περιγραφή του φαινομένου της υφαλμύρινσης και των απαραίτητων μέτρων για τον περιορισμό του ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής και υπάρχει σε σχετική βιβλιογραφία (π.χ. Σούλιος, 1996). Κατά το φαινόμενο της υφαλμύρινσης, οι υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου στο νερό, το καθιστούν ακατάλληλο για ύδρευση, άρδευση, άλλα και για πολλές άλλες βιομηχανικές χρήσεις. Ακόμα, υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων νατρίου επιδρούν αρνητικά στην υγεία ατόμων που ανήκουν σε ευπαθείς ομάδες και υποφέρουν από καρδιακές νόσους ή υψηλή αρτηριακή πίεση. Συγκεντρώσεις χλωρίου μεγαλύτερες από τα επιτρεπτά επίπεδα στο νερό μπορούν επίσης να καταστρέψουν την βλάστηση προκαλώντας φυλλόπτωση ή ακόμα και κάψιμο των φυτών. Σε λιμναία ή ποτάμια ύδατα, η παρουσία των μεταλλικών στοιχείων αυξάνεται εμποδίζοντας τη διανομή του οξυγόνου και των θρεπτικών συστατικών, οπότε βλάπτεται και η υδρόβια ζωή (www.Chania-info.gr, Κουσούρης, 2007).

2.3. Καρστικοποιημένοι Σχηματισμοί

Στην περίπτωση καρστικοποιημένου γεωλογικού σχηματισμού (Σχήμα 2.5), το πρόβλημα ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα εντείνεται, καθώς καθίσταται δυνατή η παρείσφρηση του θαλασσινού νερού ή ακόμα και η απορροή του γλυκού νερού προς τη θάλασσα μέσω προνομιακών διόδων μετακίνησης του νερού.

**How Karst Systems Work
Sinkhole**



Σχήμα 2.5.: Το καρστικοποιημένο πέτρωμα επιτρέπει την υπόγεια κίνηση ύδατος αλλά και τη μόλυνση του από ανθρώπινες δραστηριότητες (<http://en.wikipedia.org/wiki/Karst>)

Καρστικό υδροφόρο σύστημα (Σούλιος, 1996) είναι το σύστημα εκείνο που συνίσταται εξ' ολοκλήρου ή κατά κύριο λόγο από καρστικούς (ανθρακικούς) σχηματισμούς. Κατά ένα άλλο ορισμό το καρστικό υδροφόρο σύστημα είναι ένα σύνολο καρστικής περιοχής στο επίπεδο του οποίου οι υπόγειες ροές είναι έτσι οργανωμένες ώστε να συνιστούν μία ενότητα αποστράγγισης. Είναι δηλαδή το αντίστοιχο της υδρολογικής λεκάνης (αν και η οργάνωση και η υδραυλική λειτουργία διαφέρουν σε πολλά σημεία).

2.4 Υφαλμύρινση και Γεωφυσική

Με τις μεθόδους της γεωφυσικής είναι δυνατός ο καθορισμός κάποιων φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους. Μερικές από τις παραμέτρους που μπορούν να μετρηθούν άμεσα είναι οι διακυμάνσεις της πυκνότητας, η ηλεκτρική αντίσταση, αλλά και άλλα χαρακτηριστικά όπως η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών ή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Μετά από διερεύνηση του εξεταζόμενου προβλήματος καθώς και άλλων παραμέτρων όπως είναι η γεωλογία της περιοχής, επιλέγονται οι πλέον κατάλληλες μέθοδοι που θα δώσουν τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Η διερεύνηση του προβλήματος και η ανάλυσή του θα οδηγήσουν τελικά στην προτεινόμενη λύση. Το πρόβλημα της υφαλμύρινσης συγκεκριμένα, έχει απασχολήσει αρκετές φορές την επιστήμη της γεωφυσικής και στο παρελθόν σε διάφορες χώρες, καθώς πρόκειται για ένα φαινόμενο με μεγάλη συχνότητα εμφάνισης σε παραθαλάσσιες κατοικημένες περιοχές.

Για την εκτίμηση του βαθμού υφαλμύρινσης στον υδροφόρο ορίζοντα της παράκτιας περιοχής Big Cypress στη Νότια Φλόριντα χρησιμοποιήθηκε ο συνδυασμός γεωφυσικών διασκοπήσεων 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 στοιχεία. Το επίπεδο της 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 υφαλμύρου 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 δύο γεωφυσικά αεροσκάφη. Σκοπός αυτής της έρευνας ήταν:

- Ο εντοπισμός του φαινομένου και η διερεύνηση των αιτιών της υφαλμύρινσης
- 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 υφαλμύρινση του εδάφους. Οι από αέρα διασκοπήσεις πραγματοποιήθηκαν 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 υφαλάτωση του υπόγειου νερού σε μεγάλο βαθμό. Διενεργήθηκε μέτρηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε συνδυασμό με τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης ώστε να μελετηθεί το φαινόμενο (Balia 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 υφαλμύρινση. 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 σύνολό 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 ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα.

Ένα σύστημα αυτοποιημένης ηλεκτρικής τομογραφίας (ALERT: Automated time- Lapse Electrical Resistivity Tomography) έχει αναπτυχθεί για την διαχρονική παρακολούθηση των παράκτιων υδροφορέων (Ogilvy et al., 2009). Το σύστημα αυτό έχει εγκατασταθεί μόνιμα στον ποταμό Andarax, στην Almeria της Ισπανίας για την παρακολούθηση και την διαχείριση των

επιπτώσεων των κλιματικών αλλαγών. Μία σειρά ηλεκτροδίων, μήκους περίπου 1.6 χιλιομέτρων βρίσκεται θαμμένη κάτω από την άνυδρη υπό κανονικές συνθήκες κοίτη του ποταμού, με τα ηλεκτρόδια να βρίσκονται σε απόσταση 10 μέτρων μεταξύ τους. Το μέγιστο βάθος της έρευνας είναι 160 μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Ένας μόνιμος, μη επανδρωμένος σταθμός ελέγχου, καθιστά δυνατή την εξέταση του υδροφόρου ορίζοντα από τα γραφεία της εταιρείας που διενεργεί την έρευνα, στο Ηνωμένο Βασίλειο. Γεωηλεκτρικά δεδομένα που μεταφράζονται σε εικόνες του υπεδάφους, μπορούν να ληφθούν ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ή όποτε κρίνεται αυτό απαραίτητο, εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη για επαναλαμβανόμενες δαπανηρές έρευνες. Η όλη διαδικασία από τη συλλογή δεδομένων ως την αποτύπωση της εικόνας στον υπολογιστή είναι πλήρως αυτοποιημένη και συνεχόμενη. Το σύστημα ALERT μπορεί να προσφέρει έγκαιρη προειδοποίηση για επερχόμενες απειλές για τα ευπαθή συστήματα του νερού όπως είναι η υπεράντληση και η υφαλμύρινση. Η έγκαιρη ανίχνευση και η απεικόνιση των αλλαγών στα υπόγεια ύδατα, μπορούν να βοηθήσουν στη ρύθμιση της άντλησης και των συστημάτων άρδευσης.

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 μέτρα. Για τη διερεύνηση του υδροφόρου ορίζοντα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας σε συνδυασμό με γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις. Το μέγιστο βάθος των διασκοπήσεων έφτασε στα 100 μέτρα. Σε γενικές γραμμές, αποκομίστηκε μία 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 μία γενική εικόνα του υδροφορέα και μπορούν να χρησιμεύσουν σαν βάση για περεταίρω επεξεργασία και βελτίωση των αριθμητικών μοντέλων του συστήματος. Οι πληροφορίες αυτές καθίστανται πολύτιμες για την εξερεύνηση, διαχείριση και προστασία των υδατικών πόρων της περιοχής

καθώς και την προστασία τους από την υφαλμύρινση ώστε να διασφαλιστεί η μελλοντική ύπαρξή τους (Σαγκιώτη, 2010).

3. Γεωφυσικές Μέθοδοι

3.1 Εισαγωγή

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης άρχισαν να εφαρμόζονται στη μελέτη του υπεδάφους με την αρχή του εικοστού αιώνα. Πρωτοπόροι στην έρευνα υπήρξαν ο Wenner και ιδιαίτερα ο Schlumberger που το βιβλίο του «Etude sur la Prospection Electrique du Sous-Sol» 1920, συνέβαλε σημαντικά στη διάδοση των ηλεκτρικών μεθόδων. Οι ηλεκτρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται κυρίως στην Υδρογεωλογία, στη Γεωθερμία, στην Κοιτασματολογία και στην Αρχαιολογία.

Από τις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης οι πιο σημαντικές είναι η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η μέθοδος των ισοδυναμικών γραμμών, η μέθοδος της επαγόμενης πολικότητας, η μέθοδος του φυσικού δυναμικού και η μέθοδος των τελλουρικών ρευμάτων και η ηλεκτρική βυθοσκόπηση.

Η ηλεκτρική τομογραφία ανήκει στην ηλεκτρική μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και συμβάλλει στη λεπτομερή απεικόνιση του υπεδάφους καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας και τα αποτελέσματά της μπορούν να συγκριθούν σε ακρίβεια με τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων. Στην ηλεκτρική τομογραφία απεικονίζεται η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος σε 2 ή 3 διαστάσεις. Για τον υπολογισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Η εύρεση των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τις τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι δυνατή με τους αλγόριθμους αντιστροφής (Smith and Vozoff, 1984, Trip et al., 1984, Loke and Barker, 1996)

Η τεχνική της σεισμικής διάθλασης αποτελεί μια από τις πλέον αξιόπιστες και οικονομικές γεωφυσικές μεθόδους και παρέχει χρήσιμα στοιχεία για την απεικόνιση του υπεδάφους. Θεωρείται μια εύχρηστη μέθοδος, με χαμηλό κόστος σε σχέση με άλλες επιτόπου δοκιμές και χωρίς περίπλοκη επεξεργασία των δεδομένων. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της μεθόδου της σεισμικής διάθλασης είναι ότι μπορεί να περιγράψει πλευρικές μεταβολές της ταχύτητας διάδοσης των κυμάτων στα γεωλογικά στρώματα. Οι κυριότερες εφαρμογές της αφορούν τον

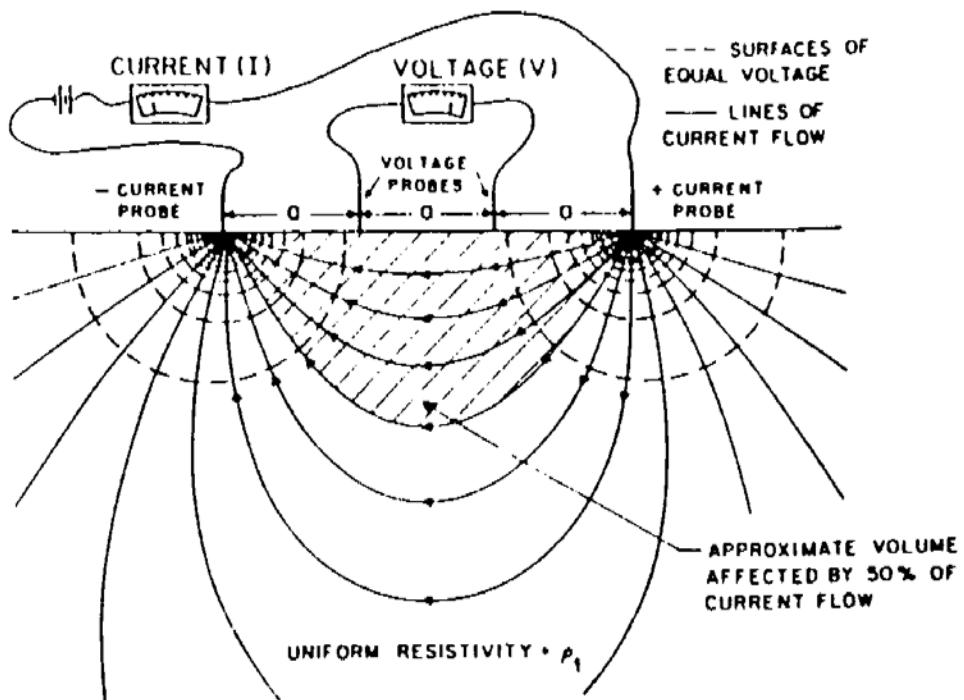
υπολογισμό του βάθους του βραχώδους υποστρώματος, το χαρακτηρισμό των ενδιάμεσων εδαφικών σχηματισμών και τον εντοπισμό διαφόρων γεωλογικών δομών (π.χ. ρηγμάτων).

Η μέθοδος VLF ανήκει στις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους. Χαρακτηριστικό της μεθόδου αυτής είναι το ότι κατά την εφαρμογή της μεθόδου εκμεταλλευόμαστε ήδη υπάρχοντα ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Υπάρχουν VLF (very low frequency) πομποί σε λειτουργία σε όλον τον κόσμο. Αρχικά κατασκευάστηκαν για την ναυσιπλοΐα (Βαφείδης και Αμολοχίτης, 1995).

3.2 Μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

Κατά την πραγματοποίηση της διασκόπησης τα τέσσερα ηλεκτρόδια μετακινούνται κατά μήκος γραμμής μελέτης. Η μετρούμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση αντιστοιχεί σε τμήμα του υπεδάφους πάχους περίπου ίσου με την απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού. Αυξάνοντας την απόσταση ηλεκτροδίων, αυξάνεται και το πάχος του υπεδάφους, που επηρεάζει τις μετρήσεις (βάθος διασκόπησης).

Το ρεύμα διαβιβάζεται στο έδαφος εισάγοντας στο έδαφος ηλεκτρόδια που είναι συνδεδεμένα σε μπαταρία. Στην ιδανική περίπτωση ροής του ρεύματος σε ομοιογενές έδαφος οι γραμμές ροής του ηλεκτρικού ρεύματος έχουν την μορφή που φαίνεται στο σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1 : Ροή ρεύματος σε ομοιογενές έδαφος (Οικονόμου 2002).

Το παράδειγμα που παρουσιάζεται στο σχήμα 3.2 απεικονίζει τον τρόπο με τον οποίο εντοπίζονται ανομοιογένειες σε ομοιογενές έδαφος. Παρατηρείται ότι από την παρουσία θαμμένου κάδου σκουπιδιών γεμάτου με απορρίμματα, οι ισοδυναμικές γραμμές και οι γραμμές ρεύματος αποκλίνουν με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του εδάφους μεταβάλλεται.

Τα ηλεκτρόδια ρεύματος ή δυναμικού συνήθως αποτελούνται από ατσάλι με κατάλληλα, μυτερά, άκρα για την ευκολότερη εισαγωγή τους στο έδαφος. Θεωρητικά τα ηλεκτρόδια συμπεριφέρονται ως σημειακές πηγές. Ωστόσο πρακτικά αυτό δεν συμβαίνει, από τη στιγμή που εισάγονται στο χώμα για να στερεωθούν. Η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από το βάθος εισαγωγής των ηλεκτροδίων, γι' αυτό και πρέπει να δίνεται προσοχή έτσι ώστε

αυτό να παραμένει σταθερό. Οι συνθήκες της υπαίθρου τη συγκεκριμένη στιγμή θα υποδείξουν το βάθος εισαγωγής των ηλεκτροδίων, αν και σε γενικές γραμμές το βάθος δεν πρέπει να ξεπερνά το 20% της απόστασης των πλησιέστερων ηλεκτροδίων.

Έχει βρεθεί ότι για 1m απόσταση ηλεκτροδίων και βάθος διεύσδυσης 5-10 cm προσφέρει ικανοποιητική επαφή σε όλους σχεδόν τους τύπους των εδαφών εκτός των πολύ ξηρών. Γι' αυτό πολλές φορές βρέχουμε τα ηλεκτρόδια για καλύτερη ηλεκτρική επαφή με το έδαφος.

Η περιγραφή της γεωλογικής δομής του υπεδάφους κατά την εφαρμογή της γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης, βασίζεται στις κατακόρυφες μεταβολές, με αποτέλεσμα τον υπολογισμό των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και του πάχους ή/και του βάθους των γεωλογικών στρωμάτων.

Με τη γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση προσδιορίζεται η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a σε σταθερό σημείο της επιφάνειας για διαδοχικά αυξανόμενες τιμές του γεωμετρικού συντελεστή K. Αυτό συμβαίνει αυξάνοντας συνεχώς την απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων του ρεύματος. Καθώς η διάταξη των ηλεκτροδίων απλώνεται, η ίδια ποσότητα ρεύματος διανέμεται διάμεσο παχύτερης ζώνης. Άρα, οι ηλεκτρικές αντιστάσεις των βαθύτερων γεωλογικών στρωμάτων έχουν μία αναλογική επίδραση στη φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση.

3.3 Ηλεκτρική Τομογραφία

Με την ηλεκτρική τομογραφία επιδιώκεται ο καθορισμός της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους, δηλαδή η κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος σε δύο ή τρεις διαστάσεις. Στην παρούσα εργασία θα αναφερθεί η δισδιάστατη ηλεκτρική τομογραφία.

Επειδή δεν είναι εύκολος ο άμεσος υπολογισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος από μετρήσεις στην επιφάνεια της γης, υπολογίζεται αρχικά η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a , η οποία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της πραγματικής ειδικής

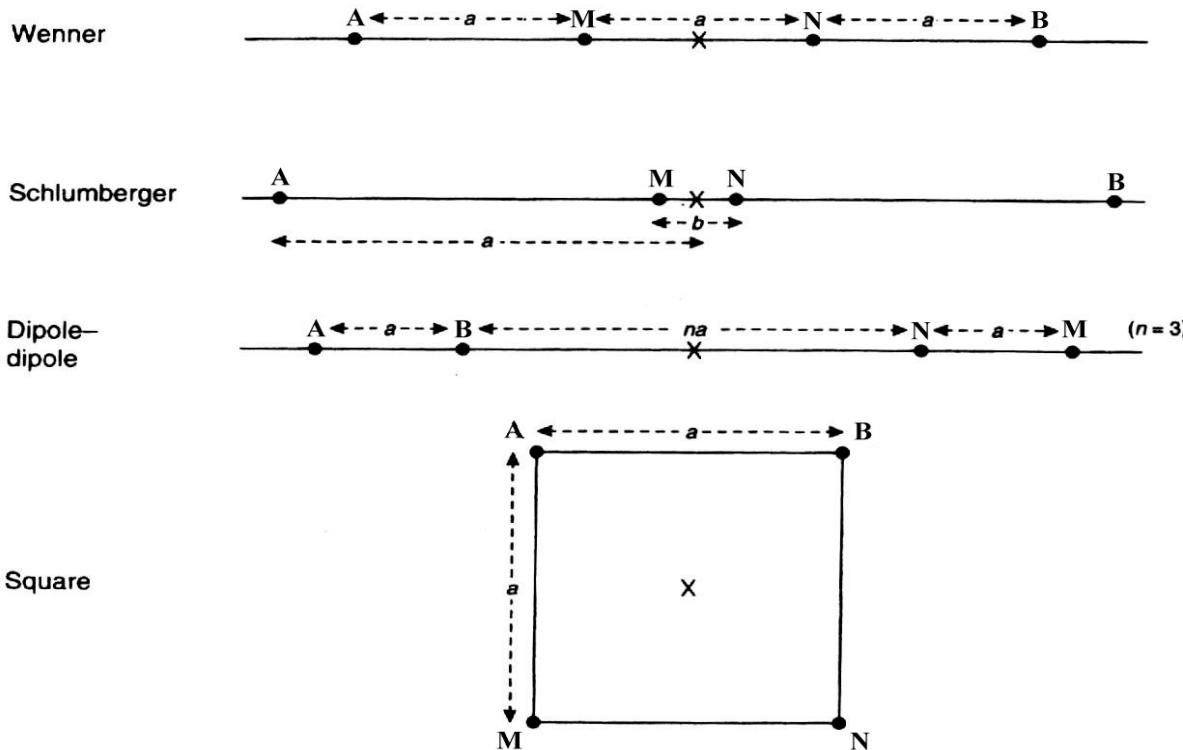
ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ , σε αντίθεση με τη φαινόμενη που είναι φυσικώς ανύπαρκτη ποσότητα, είναι ιδιότητα των πετρωμάτων και των ορυκτών.

Η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από τις ιδιότητες του πετρώματος όπως:

- η ορυκτολογική σύσταση
- το πορώδες, η φύση και η θερμοκρασία των περιεχόμενων ρευστών
- η κατάσταση ρηγμάτωσης
- το πάχος των υπερκείμενων στρωμάτων. Αύξηση του πάχους αυξάνει την πίεση που ασκούν τα στρώματα αυτά στο πέτρωμα με αποτέλεσμα την αύξηση της συνοχής του πετρώματος, μείωση του πορώδους και αύξηση της ειδικής του αντίστασης (Σούρλας 2000).

3.3.1. Τρόπος Πραγματοποίησης των Μετρήσεων

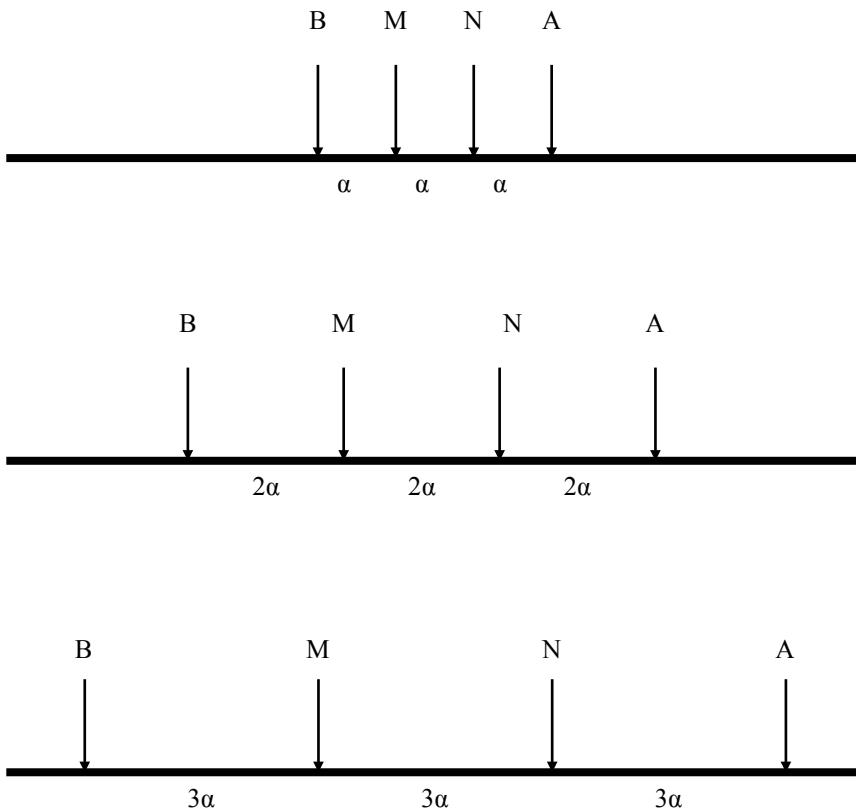
Διάφοροι τρόποι διάταξης των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού στην επιφάνεια της γης έχουν προταθεί για την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Στις ηλεκτρικές τομογραφίες της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν οι διατάξεις διπόλου – διπόλου και Wenner-Schlumberger, όπως αυτές φαίνονται στο παρακάτω σχήμα, (Σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3: Τρόποι διάταξης ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού στις διατάξεις, διπόλου-διπόλου, τετραγώνου, Wenner, Schlumberger (Οικονόμου 2002)

Για τη συλλογή των δεδομένων, δηλαδή των τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται κατά μήκος ευθείας γραμμής, διατηρώντας σταθερή απόσταση α μεταξύ τους. Κάθε ηλεκτρόδιο έχει έναν αριθμό για να είναι δυνατή η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων με αριθμητική σειρά. Για την πρώτη μέτρηση τα ηλεκτρόδια 1 και 2 αποτελούν το δίπολο ρεύματος, ενώ τα 3 και 4 αποτελούν το δίπολο δυναμικού. Στη συνέχεια τα ηλεκτρόδια 2 και 3 αποτελούν το δίπολο ρεύματος, ενώ το δίπολο δυναμικού αποτελείται από τα ηλεκτρόδια 4 και 5 και ούτω καθεξής μέχρι να χρησιμοποιηθούν όλα τα ηλεκτρόδια. Όλες οι τιμές της φαινόμενης αντίστασης που υπολογίστηκαν μέχρι τώρα, τοποθετούνται στο ίδιο επίπεδο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους που ονομάζεται επίπεδο δεδομένων.

Αυξάνοντας την απόσταση που χωρίζει τα δύο δίπολα, οι τιμές της φαινόμενης αντίστασης τοποθετούνται σε επίπεδο που βρίσκεται βαθύτερα από το προηγούμενο. Στην περίπτωση αυτή το δίπολο ρεύματος αποτελούν τα ηλεκτρόδια 1, 2 και το δίπολο δυναμικού τα ηλεκτρόδια 4, 5. Η προηγούμενη διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να χρησιμοποιηθούν όλα τα ηλεκτρόδια, οπότε και αυξάνουμε την απόσταση που χωρίζει τα δύο δίπολα. Η απόσταση που χωρίζει τα δύο δίπολα θα πρέπει να είναι πάντα ακέραιο πολλαπλάσιο της απόστασης των ηλεκτροδίων του διπόλου.



Όσο αυξάνεται η απόσταση που χωρίζει τα δύο δίπολα, το ρεύμα τείνει να εισχωρεί βαθύτερα στο υπέδαφος και η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης επηρεάζεται από βαθύτερα τμήματα του υπεδάφους. Όμως επειδή το δίπολο δυναμικού σταδιακά απομικρύνεται από το δίπολο ρεύματος, οι μετρήσεις αρχίζουν να περιέχουν όλο και περισσότερο θόρυβο. Για αξιόπιστα αποτελέσματα η μέγιστη επιτρεπτή τιμή του n θα πρέπει να είναι 8. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό αυξάνεται και η απόσταση των ηλεκτροδίων που αποτελούν τα δίπολα, δηλαδή το μήκος του διπόλου γίνεται $2a$, $3a$, $4a$... και η προηγούμενη διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Η διάταξη Wenner-Schlumberger στην ηλεκτρική τομογραφία αποτελεί έναν συνδυασμό εφαρμογής των επί μέρους διατάξεων. Για την συλλογή δεδομένων στα πρώτα (ρηχότερα) επίπεδα δεδομένων χρησιμοποιείται η διάταξη Wenner, ενώ για μετρήσεις σε βαθύτερα επίπεδα, η Schlumberger.

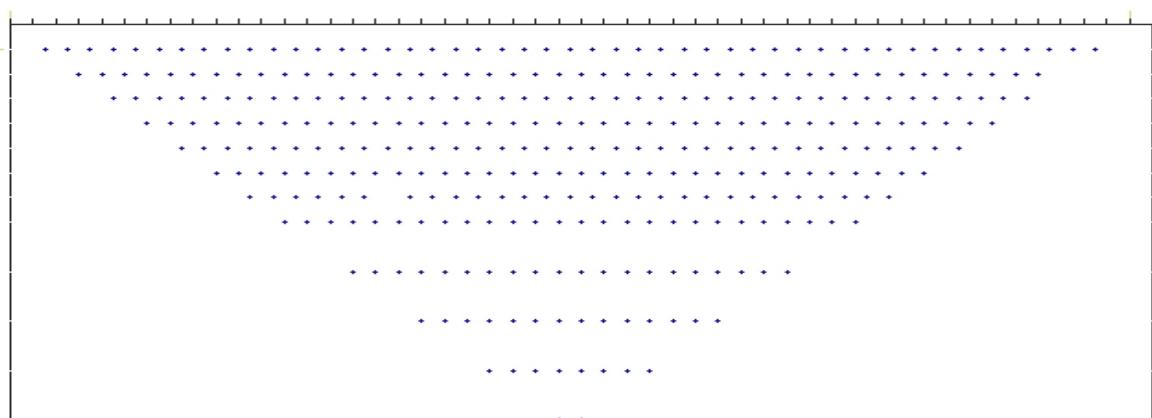
Σχήμα 3.3 Σχηματική παράσταση της διάταξης Wenner (Σούρλας, 2000)

Στη διάταξη Wenner η απόσταση μεταξύ όλων των ηλεκτροδίων είναι α (Σχήμα 3.3) και η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (3.7)$$

Στη διάταξη αυτή για τον υπολογισμό της φαινόμενης αντίστασης που αντιστοιχεί σε μεγαλύτερα βάθη, αυξάνεται σταδιακά η απόσταση α σε 2α, 3α μέχρι μία μέγιστη τιμή.

Τα δεδομένα που συλλέγονται αποτελούν την ψευδοτομή του υπεδάφους Σχήμα 3.4). Το επόμενο βήμα είναι η αντιστροφή των δεδομένων που δίνει τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.



Σχήμα 3.4: Διάταξη των δεδομένων στην ψευδοτομή του υπεδάφους.

Ο αλγόριθμος της αντιστροφής χωρίζει την υπό μελέτη περιοχή σε έναν αριθμό μη ομοιόμορφων ορθογωνίων παραλληλογράμμων σταθερής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

(γεωηλεκτρικό μοντέλο). Το δίκτυο αυτό των ορθογωνίων παραλληλογράμμων αποτελεί το μοντέλο της περιοχής μελέτης και οι τιμές των ειδικών αντιστάσεων των παραλληλογράμμων αποτελούν τις παραμέτρους του μοντέλου. Επειδή με την αύξηση του βάθους μειώνεται η διακριτική ικανότητα της μεθόδου, ο αριθμός των ορθογωνίων παραλληλογράμμων μειώνεται και αυξάνονται οι διαστάσεις τους στο κατώτερο τμήμα του μοντέλου που αντιστοιχεί σε μεγαλύτερο βάθος.

Ξεκινώντας από ένα αρχικό γεωηλεκτρικό μοντέλο, το επόμενο βήμα είναι η λύση του ευθέως προβλήματος, στο οποίο υπολογίζονται οι φαινόμενες ειδικές ηλεκτρικές 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 επιλύνεται το σύστημα των εξισώσεων με αγνώστους τις παραμέτρους του μοντέλου. Με τη διαδικασία αυτή υπολογίζεται ένα νέο βελτιωμένο μοντέλο.

Η βελτίωση αφορά μόνο τις παραμέτρους του μοντέλου, δηλαδή ο αριθμός και οι διαστάσεις των ορθογωνίων παραλληλογράμμων δεν αλλάζουν. 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 γεωηλεκτρικό μοντέλο που να δίνει φαινόμενες ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις όσο το δυνατό πιο κοντά στις μετρήσεις (Σούρλας 2000).

3.4 Μέθοδος της σεισμικής διάθλασης

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

3.4.1 Μετωπικά Κύματα

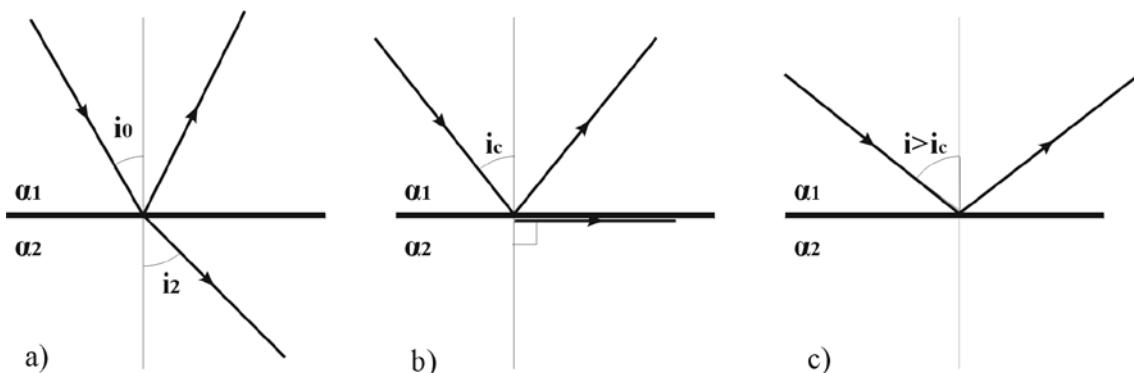
Τα σεισμικά κύματα υφίστανται διαδοχικές διαθλάσεις στις διαχωριστικές επιφάνειες ή σε μέσο όπου η ταχύτητα μεταβάλλεται με το βάθος, με αποτέλεσμα την αλλαγή της πορείας της σεισμικής ακτίνας. Η γωνία πρόσπτωσης, i_0 , η γωνία διάθλασης, i_2 , και οι ταχύτητες a_1 και a_2 στα δύο επιφανειακά στρώματα συνδέονται μέσω του νόμου του Snell :

$$p = \frac{\sin(i_0)}{a_1} = \frac{\sin(i_2)}{a_2} \quad (3.8)$$

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 3.6). Σε μια τέτοια περίπτωση ο νόμος του Snell τροποποιείται ως εξής :

$$\sin(i_c) = \frac{a_1}{a_2} \quad (3.9)$$

Όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη της ορικής γωνίας, παρατηρείται ολική ανάκλαση.

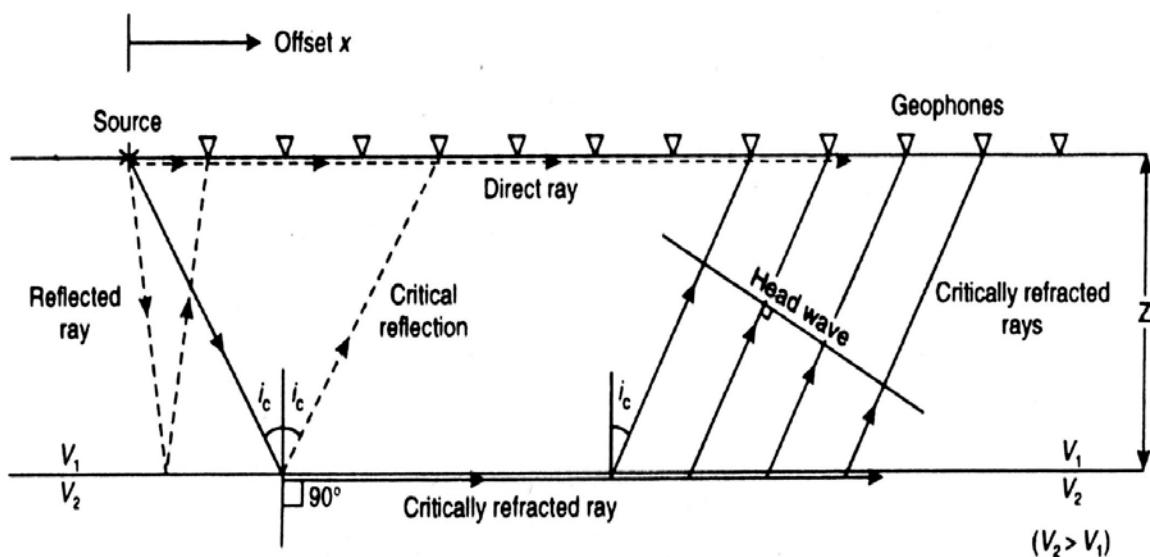


Σχήμα 3.6 : Σχηματική παράσταση των τριών περιπτώσεων πρόσπτωσης μιας σεισμικής ακτίνας σε μια διεπιφάνεια. Κατά την πρόσπτωση υπό γωνία a) μικρότερη της ορικής δημιουργούνται ανακλώμενα και διαθλώμενα κύματα, b) ίση με την ορική γωνία δημιουργούνται ανακλώμενα και μετωπικά κύματα και c) με γωνία μεγαλύτερη της ορικής παρατηρείται ολική ανάκλαση (Κρητικάκης 2001).

Βέβαια, θα πρέπει να σημειωθεί ότι βασική προϋπόθεση δημιουργίας οριακά διαθλώμενων κυμάτων είναι ότι οι ταχύτητες διάδοσης των σεισμικών κυμάτων θα πρέπει να αυξάνουν από τους ρηχότερους στους βαθύτερους σχηματισμούς.

Έστω σεισμική ακτίνα η οποία προσπίπτει σε διαχωριστική επιφάνεια υπό ορική γωνία. Τότε το διαθλώμενο κύμα διαδίδεται στο δεύτερο στρώμα παράλληλα προς τη διαχωριστική επιφάνεια. Σύμφωνα με την αρχή του Huygens, κάθε σημείο του διαθλώμενου μετώπου κύματος αποτελεί δευτερεύουσα πηγή σεισμικών κυμάτων (Βαφείδης, 2011).

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα σεισμικά κύματα τα οποία προέρχονται από τις δευτερεύουσες αυτές πηγές και αναδύονται στο πρώτο στρώμα.



Σχήμα 3.7: Σχηματική παράσταση της δημιουργίας των μετωπικών κυμάτων (Reynolds, 1997).

Η γωνία των αναδυόμενων προς την επιφάνεια σεισμικών ακτινών 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 (πρώτες

αφίξεις) στις θέσεις των γεωφώνων είναι τα απευθείας και τα μετωπικά κύματα. Τα απευθείας κύματα καταγράφονται πρώτα στα γεώφωνα, που βρίσκονται μέχρι ορισμένη απόσταση από το σημείο δημιουργίας της σεισμικής δόνησης, ενώ τα μετωπικά κύματα καταγράφονται ως πρώτες αφίξεις στα μακρύτερα από την πηγή γεώφωνα.

Μελετώντας τις πρώτες αφίξεις (απευθείας και μετωπικά) είναι δυνατό να προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με το πάχος των σχηματισμών του υπεδάφους και την ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων σ' αυτούς.

4. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

4.1 Εισαγωγή

Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, ευρύτερα γνωστά ως GIS (Geographical Information Systems), διαχειρίζονται με αποτελεσματικό τρόπο τη γεωγραφική πληροφορία και τα δεδομένα που μπορούν να συσχετίστούν με αυτή. Την τελευταία δεκαετία έχουν γνωρίσει μεγάλη άνθηση και έχουν βρει αρκετές πρακτικές εφαρμογές σε επιχειρήσεις και οργανισμούς (π.χ. στο πεδίο της εφοδιαστικής αλυσίδας supply chain).

Στην ευρεία διάδοση των GIS συνέβαλαν τα ακόλουθα: το γεγονός ότι οι εταιρείες λογισμικού κατάφεραν να αναπτύξουν εκδόσεις φιλικές προς τους χρήστες τους μέσω του γραφικού περιβάλλοντος, η δημιουργία και διάθεση αξιόπιστων ψηφιακών δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα συστήματα αυτά (ψηφιακοί χάρτες), η αυξημένη υπολογιστική ισχύς των προσωπικών ηλεκτρονικών υπολογιστών (desktop PCs), καθώς και η συσχέτιση των συστημάτων GIS με τα συστήματα παρακολούθησης οχημάτων, δικτύων ή

άλλων αντικειμένων πάνω στη γη, μέσω της τεχνολογίας των δορυφόρων και των τηλεπικοινωνιών. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται εν συντομίᾳ τα βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων GIS, ώστε να γίνει αντιληπτός ο τρόπος λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος.

4.2 Ορισμός και Αρχή Λειτουργίας

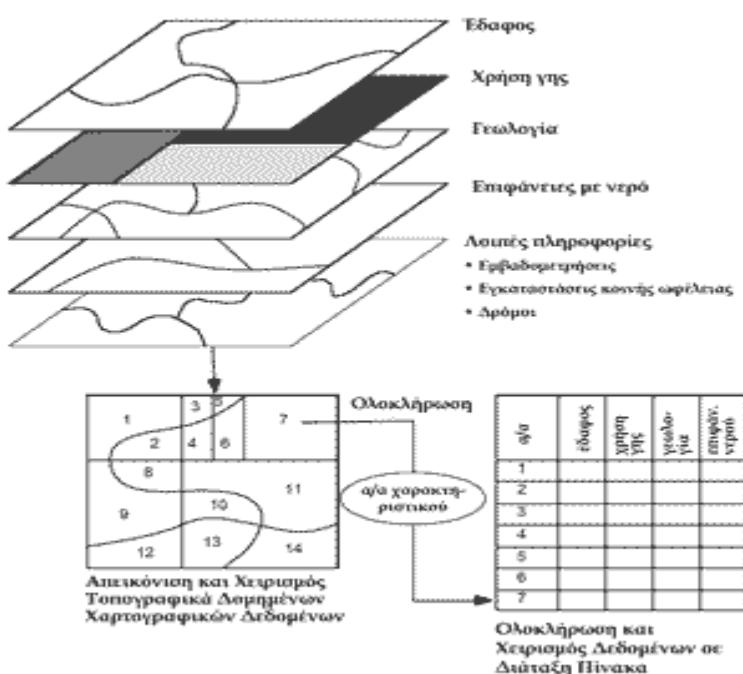
Ορίζοντας το γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών, μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα οργανωμένο σύνολο από πέντε δομικά στοιχεία που περιλαμβάνουν (1): υλικό εξοπλισμό (hardware), λογισμικό (software), γεωγραφικά δεδομένα, ανθρώπινο δυναμικό και μεθόδους (οι ιδιαίτεροι κανόνες και οι πρακτικές λειτουργίας κάθε οργανισμού ξεχωριστά), με σκοπό τη συλλογή, καταχώριση, διαχείριση, ανάλυση, επεξεργασία και απόδοση, κάθε μορφής πληροφορίας που σχετίζεται με τη γεωγραφική πληροφορία (Οικονόμου 2002). Ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών είναι ένα εργαλείο χαρτογράφησης και ανάλυσης των στοιχείων που υπάρχουν και των γεγονότων που συμβαίνουν στο γεωγραφικό χώρο. Η τεχνολογία των GIS ολοκληρώνει τις λειτουργίες των συνήθων εφαρμογών βάσεων δεδομένων, όπως αναζήτηση και

στατιστική ανάλυση, με τα πλεονεκτήματα της οπτικής απεικόνισης και της γεωγραφικής ανάλυσης που προσφέρουν οι χάρτες. Οι ικανότητες αυτές διακρίνονται από τα άλλα πληροφοριακά συστήματα και τα καθιστούν πολύτιμα, για την επεξήγηση γεγονότων, την εκτίμηση αποτελεσμάτων, το σχεδιασμό στρατηγικών, τη λήψη αποφάσεων κ.λ.π..

Το σύστημα GIS μοντελοποιεί το χώρο συγκεντρώνοντας και συνδυάζοντας ένα πλήθος πληροφοριών. Για το σκοπό αυτό αποθηκεύει δεδομένα σε ένα σύνολο από διαφορετικές θεματικές βαθμίδες (layers), όπως για παράδειγμα πόλεις, δρόμοι, κτίρια, αγωγοί, γεωγραφικό ανάγλυφο, λίμνες, ποτάμια, λοιπά σημεία ενδιαφέροντος. Οι θεματικές αυτές βαθμίδες συνδέονται μεταξύ τους μέσω γεωγραφικών συντεταγμένων, σε δύο διαστάσεις (γεωγραφικό μήκος και πλάτος) ή ακόμα και σε τρεις διαστάσεις. Το πιο ζωτικό δομικό στοιχείο ενός GIS είναι τα δεδομένα και για το λόγο αυτό, οι βάσεις δεδομένων βρίσκονται στην καρδιά ενός τέτοιου συστήματος. Το GIS διαθέτει μία βάση γεωγραφικών δεδομένων ή αλλιώς ένα ψηφιοποιημένο χάρτη ο οποίος υλοποιεί και το μοντέλο του χώρου, όπως αυτό περιγράφηκε παραπάνω με τις θεματικές βαθμίδες. Ταυτόχρονα περιλαμβάνει και μία βάση περιγραφικών

δεδομένων που συνδέονται με τα δεδομένα του χώρου. Το κατάλληλο λογισμικό ενός GIS για τη διαχείριση βάσεων δεδομένων και οπτικής απεικόνισής τους, επιτρέπει το συνδυασμό αυτών των δεδομένων και την απεικόνισή τους σε μορφή συνδυασμένων πληροφοριών πάνω σε χάρτες.

Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα λειτουργίας των GIS, όπου οι επιμέρους θεματικές βαθμίδες χαρτογραφικής πληροφορίας συνδυάζονται σε μία και μόνο οπτική απεικόνιση, η οποία συνδέεται με βάση δεδομένων για το σύνολο των χαρακτηριστικών που αυτή η απεικόνιση περιλαμβάνει. Σημειώνεται ότι για τα χαρακτηριστικά του χάρτη (features) αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων τρεις βασικές πληροφορίες: η γεωγραφική πληροφορία, η προβολή (projection) πάνω στην οποία εκφράζεται η γεωγραφική πληροφορία και οι ιδιότητες του χαρακτηριστικού.



Σχήμα 4.1.: Παράδειγμα λειτουργίας των GIS (Οικονόμου 2002).

4.3 Κατηγορίες δεδομένων στα Γ.Σ.Π.

Τα δεδομένα που εισάγονται σε ένα Γ.Σ.Π. χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: τα «διανυσματικά» (vector) συστήματα τα συστήματα «μωσαϊκού» (raster ή grid) και δεδομένα πληροφοριακού τύπου (π.χ. αλφαριθμητική περιγραφή). Τα διανυσματικά δεδομένα η γεωγραφική πληροφορία αποθηκεύεται σε αναλυτική μορφή συντεταγμένων, ενώ στα συστήματα μωσαϊκού σε μορφή πλέγματος ψηφίδων. Στα διανυσματικά GIS η καταγραφή και η επεξεργασία των χωρικών πληροφοριών γίνεται με τη χρήση της γεωμετρίας των διανυσμάτων που περιλαμβάνει σημεία, γραμμές και πολύγωνα, με τα οποία αντιπροσωπεύονται αντιστοίχως τα εξής γεωμετρικά στοιχεία του χώρου: τόποι, γραμμικά στοιχεία και επιφάνειες.

Τα GIS μωσαϊκού τύπου βασίζονται στην αρχή των στοιχειωδών επιφανειών (raster, cells, pixels). Οι στοιχειώδεις επιφάνειες είναι συνήθως τετράγωνα ή παραλληλόγραμμα και ενίστε τριγωνικής ή εξαγωνικής μορφής. Δημιουργείται δηλαδή ένα πλέγμα πάνω από μία εικόνα (συνήθως ψηφιακά σαρωμένος χάρτης), το οποίο διαχωρίζει την εικόνα σε πολύ μικρά

στοιχειώδη κομμάτια - ψηφίδες, παρόμοιες με αυτές που βλέπει κανείς όταν μεγεθύνει υπερβολικά μία ψηφιακή φωτογραφία.

Οι χάρτες μωσαϊκού (raster ή grid) υστερούν στη δημιουργία των χωρικών συσχετίσεων που επιτυγχάνουν οι διανυσματικοί (vector) χάρτες. Για το λόγο αυτό τα σύγχρονα GIS χρησιμοποιούν διανυσματικούς χάρτες, ενώ συνοδεύονται και από ειδικές εφαρμογές μετατροπής των χαρτών από «raster» σε «vector» μορφή. Τέλος, τα δεδομένα πληροφοριακού τύπου αποθηκεύονται σε πίνακες βάσεων δεδομένων.

4.4 Οι Χρήσεις των GIS

Ένα σύστημα GIS έχει το πλεονέκτημα ότι διαχειρίζεται ξεχωριστά την αποθήκευση των δεδομένων από την οπτική αναπαράσταση των χαρτών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα ίδια

δεδομένα να μπορούν να αποτυπωθούν με διαφορετικούς τρόπους. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι μπορεί να μεγεθυνθεί ο ψηφιακός χάρτης ή να εμφανίσει συγκεκριμένα μόνο επίπεδα (layers) της ψηφιακής πληροφορίας. Ένα τέτοιο παράδειγμα συναντάται στις γνωστές εφαρμογές χαρτών της Google (3) όπου ο χρήστης επιλέγει είτε μόνο τον πολιτικό χάρτη, είτε το γεωφυσικό χάρτη (φωτογραφία από δορυφόρο) είτε και τους δύο μαζί και πάνω σε αυτούς μπορεί να εμφανίσει οποιαδήποτε άλλη πληροφορία τον ενδιαφέρει και είναι διαθέσιμη: δρόμοι, πόλεις, σημεία τουριστικού ενδιαφέροντος κ.λπ.

Επιπροσθέτως, στα πλεονεκτήματα των GIS συγκαταλέγεται το γεγονός ότι μπορεί να εκτελέσει ποικίλους υπολογισμούς με τα γεωγραφικά δεδομένα και οποιαδήποτε άλλη πληροφορία μπορεί να συνδυαστεί με αυτά, όπως για παράδειγμα είναι ο υπολογισμός των αποστάσεων μεταξύ τοποθεσιών ή και ο χρόνος μίας διαδρομής. Επίσης, μπορεί να δημιουργηθούν πίνακες που να περιλαμβάνουν τα διάφορα χαρακτηριστικά του ψηφιακού χάρτη ή να προσθέσουμε οποιαδήποτε επιπλέον πληροφορία πάνω στο χάρτη. Μία σημαντική δυνατότητα που προσφέρουν τα GIS είναι το ότι προσδιορίζουν τις διαθέσιμες πληροφορίες στο γεωγραφικό χώρο. Η δυνατότητα αυτή ονομάζεται «γεωκωδικοποίηση» (geocoding) και ένα ενδεικτικό παράδειγμα χρήσης της είναι ο αυτόματος μετασχηματισμός της διεύθυνσης ενός πελάτη σε συντεταγμένες ενός σημείου στον ψηφιακό χάρτη της αντίστοιχης πόλης.

Ο σημαντικότερος παράγοντας για την επιτυχημένη υλοποίηση και χρήση ενός GIS είναι η ύπαρξη των κατάλληλων γεωγραφικών δεδομένων, τα οποία όταν συνδυαστούν με τα υπόλοιπα δεδομένα ενός οργανισμού, δύναται να υποστηρίξουν πολλές λειτουργίες ή και τη λήψη των αποφάσεων. Τέτοια γεωγραφικά δεδομένα μπορούν είτε να αγοραστούν είτε να δημιουργηθούν εξαρχής με τη χρήση ειδικών διατάξεων ψηφιοποίησης των χαρτών. Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 2000, μόνο η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ) προσέφερε αξιόπιστα και σχετικά πλήρη γεωγραφικά δεδομένα για τον Ελλαδικό χώρο, αν και αυτά υστερούσαν στο επίπεδο των αστικών περιοχών (εντός των πόλεων). Σήμερα, η ανάπτυξη των συστημάτων πλοήγησης και παρακολούθησης οχημάτων και η αυξανόμενη διείσδυση των GIS σε δημόσιο και ιδιωτικό τομέα έχουν οδηγήσει στην παραγωγή και διάθεση αξιόπιστων αλλά και οικονομικών γεωγραφικών δεδομένων για κάθε ενδιαφερόμενο.

Το πεδίο εφαρμογής των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών είναι ευρύτατο καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε η παράμετρος της γεωγραφικής πληροφορίας

υπεισέρχεται άμεσα ή έμμεσα, όπως είναι: οι ανάγκες χαρτογράφησης, τα ζητήματα χωροταξίας, περιπτώσεις αστικών και περιφερειακών μελετών, διαχείρισης φυσικών πόρων, οικολογικών ερευνών, διαχείρισης αποβλήτων, κτηματολογίου και πολεοδομικού σχεδιασμού, μελέτης κυκλοφοριακών συνθηκών, διαχείρισης επειγόντων περιστατικών, δημιογραφικά ζητήματα. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε θέματα διερεύνησης και ανάλυσης μίας αγοράς, ανάλυσης των πωλήσεων μίας επιχείρησης, σχεδιασμού των δικτύων εφοδιασμού και διακίνησης, προγραμματισμού της διανομής προϊόντων, καθώς και παρακολούθησης των δρομολογίων των οχημάτων.

Σήμερα, τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο ως εργαλεία που υποστηρίζουν τις λειτουργίες επιχειρήσεων και οργανισμών. Αυτές οι λειτουργίες μπορεί να απαιτούν είτε απλά διαχείριση της γεωγραφικής πληροφορίας, είτε πιο σύνθετη επεξεργασία των χωρικών και περιγραφικών βάσεων δεδομένων, με σκοπό την παραγωγή διαφόρων αναφορών και τη λήψη αποφάσεων. Η διαχείριση της πληροφορίας με τη χρήση των GIS περιλαμβάνει:

- Δημιουργία δυναμικών ψηφιακών τοπογραφικών χαρτών, που μπορούν εύκολα να ενημερώνονται και επικαιροποιούνται μέσω της ηλεκτρονικής διαχείρισης.
- Δημιουργία «ψηφιακών μοντέλων εδάφους» για τρισδιάστατη απεικόνιση των χαρτών με ανάγλυφο εδάφους, κάτι που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη διαχείριση των ορυκτών πόρων ή των υδάτινων πόρων και στη διαχείριση των φυσικών πόρων γενικότερα.
- Διαχείριση κτηματολογικών και πολεοδομικών δεδομένων για τη δημιουργία κτηματολογίου ή δασολογίου και για την πραγματοποίηση αναλύσεων που σχετίζονται με την αστική και περιφερειακή ανάπτυξη.
- Ανάλυση, σχεδιασμό και διαχείριση δικτύων, όπως είναι για παράδειγμα η εύρεση συντομότερων διαδρομών, ο σχεδιασμός δρομολογίων, η παρακολούθηση της κυκλοφορίας, η ομαδοποίηση των κόμβων ενός δικτύου έτσι ώστε αυτοί να εξυπηρετούνται από συγκεκριμένα σημεία .
- Εκτέλεση αναλύσεων και ερωτημάτων με βάση τα γεωγραφικά δεδομένα, όπως για παράδειγμα: ποιο κατάστημα είναι το πιο κερδοφόρο ανά περιοχή, πόσο κοντά είναι οι ανταγωνιστές; Πού είναι οι κατάλληλες θέσεις για την κατασκευή νέου καταστήματος; ποιος είναι ο συνολικός αριθμός πελατών σε απόσταση 10km; ποια είναι η συντομότερη

διαδρομή για την εκτέλεση των παραδόσεων; σε ποια σημεία ενός δικτύου εντοπίζονται δυσλειτουργίες; πόσοι οι υποψήφιοι πελάτες σε μια περιοχή; ποιο είναι το πιο κοντινό νοσοκομείο από ένα ατύχημα; ποια χωριά βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 5km από την εστία μίας δασικής πυρκαϊάς;

- Οπτική απεικόνιση των επιχειρησιακών δεδομένων σε χάρτες και παραγωγή γραφημάτων που μπορούν να υποστηρίξουν τη συγκέντρωση απολογιστικών στοιχείων, όπως για παράδειγμα συμβαίνει με τη γεωγραφική κατανομή των πωλήσεων, του κόστους ή της πελατειακής βάσης.
- Υποστήριξη της λήψης των αποφάσεων με τη χρήση εργαλείων αναζήτησης και ανάλυσης που συνδυάζουν τα επιχειρησιακά και τα γεωγραφικά δεδομένα, όπως για παράδειγμα συμβαίνει με το συνολικό σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας, τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων και τη δημιουργία καναλιών διανομής.

4.4.1 Τα διάφορα Γ.Σ.Π.

Παραγωγή λογισμικού Γ.Σ.Π. γίνεται κυρίως στις ΗΠΑ, ενώ στον Ελληνικό χώρο υπάρχουν ειδικές εφαρμογές που συνήθως στηρίζονται στις αρχικές πλατφόρμες Γ.Σ.Π.

Εξέχουσα θέση στο λογισμικό Γ.Σ.Π. έχει το πρόγραμμα ArcInfo της ESRI, με όλα τα προγράμματα που το συνοδεύουν. Έχει αναπτυχθεί σε όλα σχεδόν τα λειτουργικά (Windows, UNIX, DOS, SOLARIS κλπ), και διαθέτει, για την επεξεργασία της μη χωρικής πληροφορίας, ειδική βάση δεδομένων, την INFO. Επικοινωνεί όμως ταυτόχρονα και με άλλες βάσεις δεδομένων, όπως η ORACLE, η INGRES, η ACCESS κλπ. Διαθέτει τη γλώσσα AML για εφαρμογές.

Το πρόγραμμα τεχνικής σχεδίασης AutoCad της AutoDesk, αν και αρχικά υποστήριζε μόνο εφαρμογές τεχνικής σχεδίασης, εν τούτοις έχει επεκταθεί με τα προγράμματα AutoCad

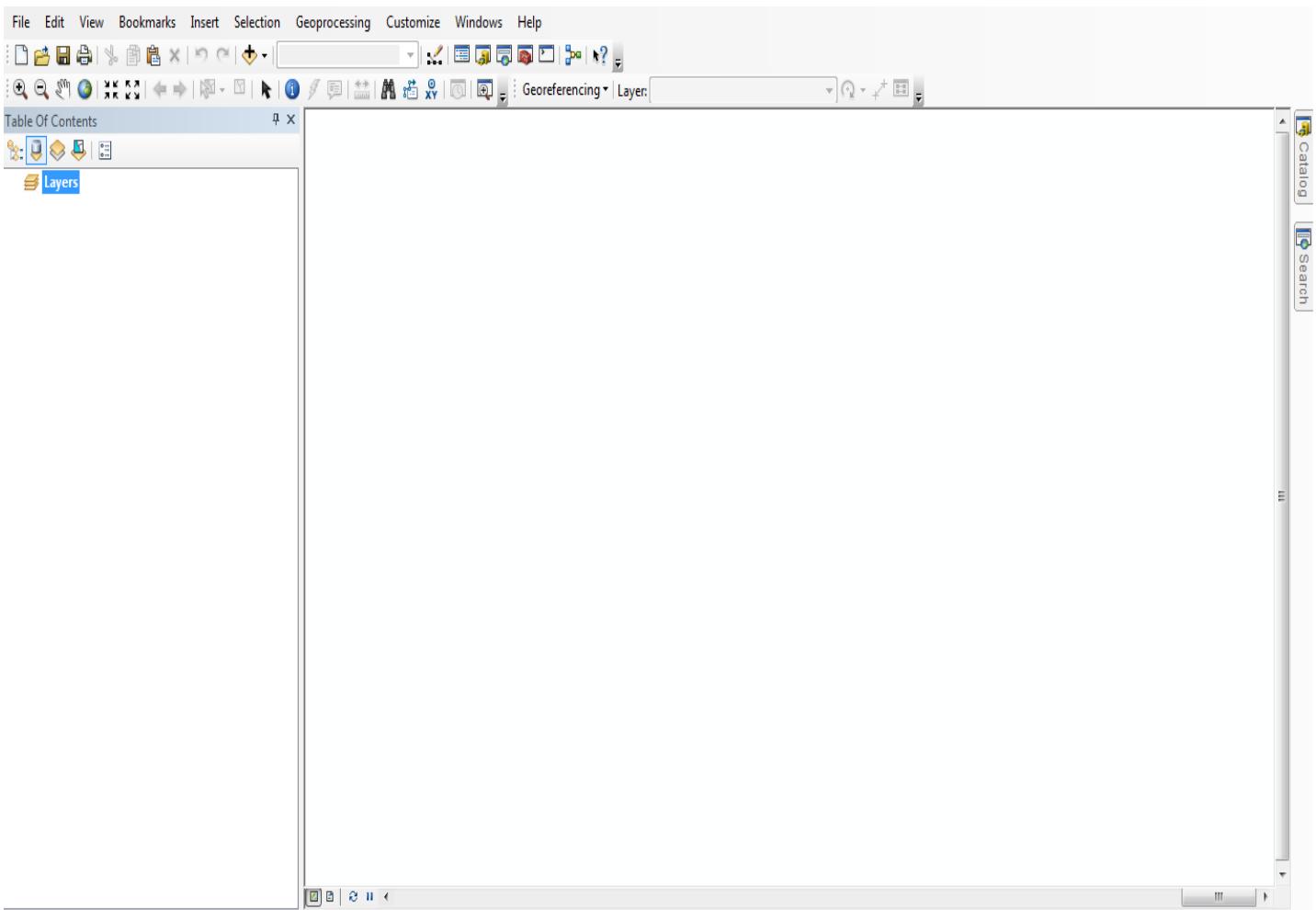
World και AutoCad Map και σε εφαρμογές Γ.Σ.Π.. Το μεγάλο πλεονέκτημα του AutoCad είναι η ευκολία στην τεχνική σχεδίαση και η συμβατότητά του με εφαρμογές Μηχανικού.

Το ArcView είναι το πρόγραμμα εκείνο από την οικογένεια προγραμμάτων της ESRI που δημιουργήθηκε για την φιλική επικοινωνία των χρηστών με τα Γ.Σ.Π. στο παραθυρικό περιβάλλον των Windows. Προέρχεται σαν μια απλουστευμένη εφαρμογή του πιο μεγάλου και σύνθετου πακέτου, του ArcInfo. Σαν τέτοιο, επιτρέπει την δημιουργία και επεξεργασία σημειακών, γραμμικών και πολυγωνικών χαρτών, και των αντίστοιχων ιδιοτήτων τους. Έχει την δυνατότητα ενσωμάτωσης διαγραμμάτων, ενώ εκτυπώσεις και λεπτομερείς επισκοπήσεις του τι πρόκειται να εκτυπωθεί βρίσκονται στην επιλογή LAYOUTS. Η υποστήριξη εφαρμογών, καθώς και προγραμμάτων βοηθητικών λειτουργιών γίνεται με την χρήση της γλώσσας επικοινωνίας, της Avenue. Υπάρχει υποστήριξη πιο σοβαρών εφαρμογών, με τις οποίες ο χρήστης μπορεί να κάνει 3D σχεδίαση (3D Analyst), Επεξεργασία Δικτύων (Routing), Ανάλυση Εικόνας (Image Analyst) και έξτρα χωρικές αναλύσεις (Spatial Analyst). Υποστηρίζονται όλα τα γνωστά διανυσματικά αρχεία (.dwg, .dx, .shp, .bnd κλπ) και raster (.bil, .bsq, .tif, .jpg κλπ) αρχείων για εισαγωγή και εξαγωγή στοιχείων από και προς άλλα Γ.Σ.Π. (Δεσποτάκης, 1999).

5. Ανάπτυξη Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών

5.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία το Γ.Σ.Π. που χρησιμοποιήθηκε είναι το ArcMap10 της ESRI, η αρχική οθόνη του οποίου φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1: Αρχική οθόνη του ArcMap 10

Δουλεύοντας κανείς με το ArcMap, χρησιμοποιεί διαφορετικά παράθυρα απεικόνισης δεδομένων. Στο βασικό παράθυρο (“project window”), ο χρήστης οργανώνει όλα τα αρχεία του Arc View. Τα αρχεία περιέχουν κυρίως χωρικά δεδομένα, υπό μορφή πινάκων, σαρωμένων εικόνων, διαγραμμάτων, γραφικών αλλά και εντολές (scripts). Υπάρχουν αρχεία σε διαφορετικά αλληλεξαρτώμενα παράθυρα τα οποία είναι προσπελάσιμα από το βασικό αυτό παράθυρο.

5.2 Διαθέσιμα δεδομένα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν διακρίνονται σε τοπογραφικά, γεωλογικά και γεωφυσικά. Τα τοπογραφικά δεδομένα αποτελούνται από συντεταγμένες σημείων, τοπογραφικούς χάρτες της περιοχής και αεροφωτογραφίες. Τα γεωφυσικά δεδομένα αποτελούνται από μετρήσεις της ηλεκτρικής αντίστασης, ηλεκτρομαγνητικών διασκοπήσεων, γραμμές σεισμικών διάθλασης, γεωραντάρ και ηλεκτρικής τομογραφίας. Τέλος τα γεωλογικά δεδομένα της περιοχής φαίνονται από την παράθεση του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ για τα Φαλάσσαρνα.

Οι συντεταγμένες των σημείων αντιπροσωπεύουν τοποθεσίες που είτε απαρτίζουν τα όρια των κανάβων γεωφυσικών διασκοπήσεων είτε τα άκρα γραμμών γεωφυσικών διασκοπήσεων ή ακόμη και σημεία που απλώς αντιπροσωπεύουν γνωστές τοποθεσίες στην περιοχή μελέτης και χρησιμεύουν για την εγγραφή των αεροφωτογραφιών ή την επαλήθευση άλλων σημείων. Οι τοπογραφικοί χάρτες της περιοχής χρησίμευσαν στο να επαληθεύουν κάποια σημεία που αποτυπώθηκαν επί τόπου στην περιοχή αλλά και για την εύρεση άλλων όταν αυτό κρίθηκε απαραίτητο.

Τα γεωφυσικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για την γενικότερη ερμηνεία των γεωφυσικών διασκοπήσεων που είχαν ως απότερο σκοπό την εύρεση ή όχι υφαλμύρινσης στην περιοχή και την μελέτη αυτής, η οποία αποτελεί μείζον πρόβλημα για την οικονομία και ανάπτυξη της περιοχής.

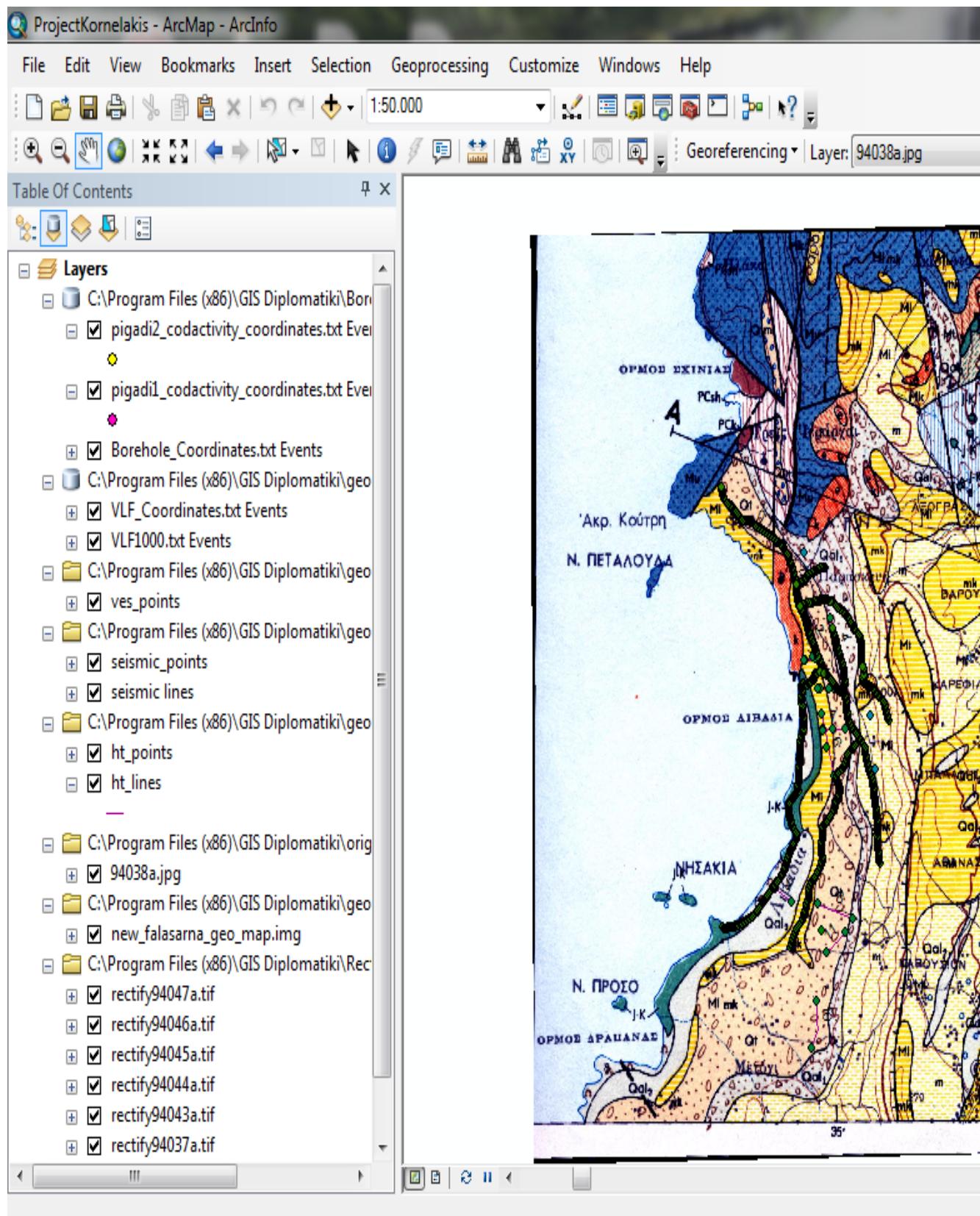
Επίσης χρησιμοποιήθηκαν συντεταγμένες οι οποίες αντιπροσωπεύουν σημεία πηγαδιών τα οποία μετρήθηκαν επιτόπου. Βρέθηκαν στο πεδίο κοντά στην περιοχή μελέτης και με GPS χειρός μετρήθηκαν οι συντεταγμένες τους.

5.3 Εγγραφή δεδομένων

Αφού συγκεντρώθηκαν όλα τα τοπογραφικά και γεωφυσικά δεδομένα, οι μετρήσεις αναφέρθηκαν στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων, το ΕΓΣΑ '87. Η επιλογή έγινε γιατί όλες οι συντεταγμένες από τις μετρήσεις στο πεδίο αναφέρονται σε αυτό το σύστημα συντεταγμένων, όπως άλλωστε και τα περισσότερα τοπογραφικά δεδομένα για την συγκεκριμένη περιοχή. Η

εγγραφή των δεδομένων έγινε σε δύο διαστάσεις, εξ' αρχής χρησιμοποιήθηκαν οι πληροφορίες που είχαμε όσον αφορά το δισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων.

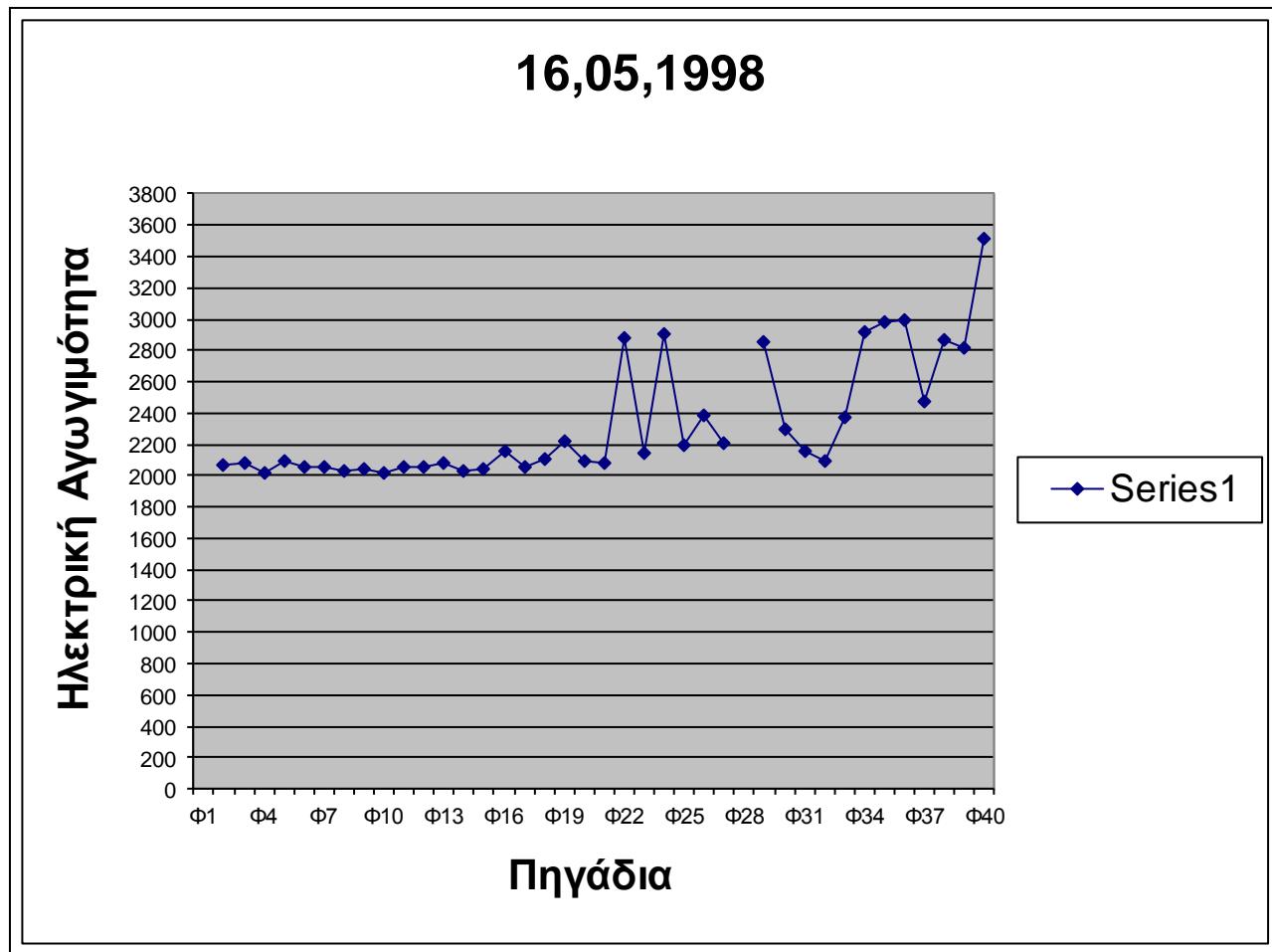
Μετά την εγγραφή των τοπογραφικών δεδομένων (χαρτών), έπειτα έγινε με προσοχή εισαγωγή στο project των γεωφυσικών μετρήσεων, οι οποίες προέρχονται είτε από μετρήσεις γραμμών είτε κανάβων. Ταυτόχρονα με τη συλλογή δεδομένων στο πεδίο παρατηρήθηκε σε μικρή απόσταση η ύπαρξη δύο πηγαδιών, μακρινά μεταξύ τους, όπου η υφαλμύρινση ήταν έντονη. Τα τοιχώματα τους πάνω από την επιφάνεια του νερού ήταν καλυμμένα με αλάτι. Με τη χρήση GPS χειρός πάρθηκαν οι συντεταγμένες τους. Επίσης συλλέχθηκε δείγμα νερού όπου μετρήθηκε η περιεκτικότητά τους σε NaCl. Οι συντεταγμένες του κάθε πηγαδιού εγράφησαν και αυτές στο project. Το αποτέλεσμα των εγγραφών παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα (Σχήμα 5.2).



Σχήμα 5.2: Το project μετά την εγγραφή δεδομένων

Τα πρώτα στοιχεία για την περιοχή μας δόθηκαν από την διεύθυνση εγγυοβελτιώσεων της πρώην νομαρχίας Χανίων. Ουσιαστικά δόθηκε μια πρώτη εικόνα της περιοχής όσων αφορά το φαινόμενο της υφαλμύρινσης, τα στοιχεία που συλλέχθηκαν ήταν για κάποια νόμιμα πηγάδια και γεωτρήσεις, τα οποία φύλλα απογραφής τους περιείχαν πληροφορίες όπως τη στάθμη ύδατος, το βάθος, το απόλυτο υψόμετρο, θερμοκρασία και ηλεκτρική αγωγιμότητα. Το πρόβλημα σε όλα αυτά ήταν ότι δεν υπήρχαν συντεταγμένες, άρα ήταν αδύνατο να εντοπιστούν στο χώρο, όποτε η συνεισφορά τους ήταν μόνο σε μια στιγμιαία εικόνα της περιοχής την περίοδο που πάρθηκαν οι μετρήσεις που αποτυπώνονται στην απογραφή τους.

Όσον αφορά τις γεωτρήσεις οι γεωλογικές τους τομές αποτελούνται από ψαμμίτη και ασβεστόλιθο, με το βάθος του ψαμμίτη να κυμαίνεται από 3 έως 10 μέτρα και εκείνο του ασβεστόλιθου από 45 έως 60 μέτρα.



Σχήμα 5.3: Μετρήσεις για την ηλεκτρική αγωγιμότητα στα πηγάδια της περιοχής στις 16/05/1998.

5.4. Γεωφυσικά δεδομένα

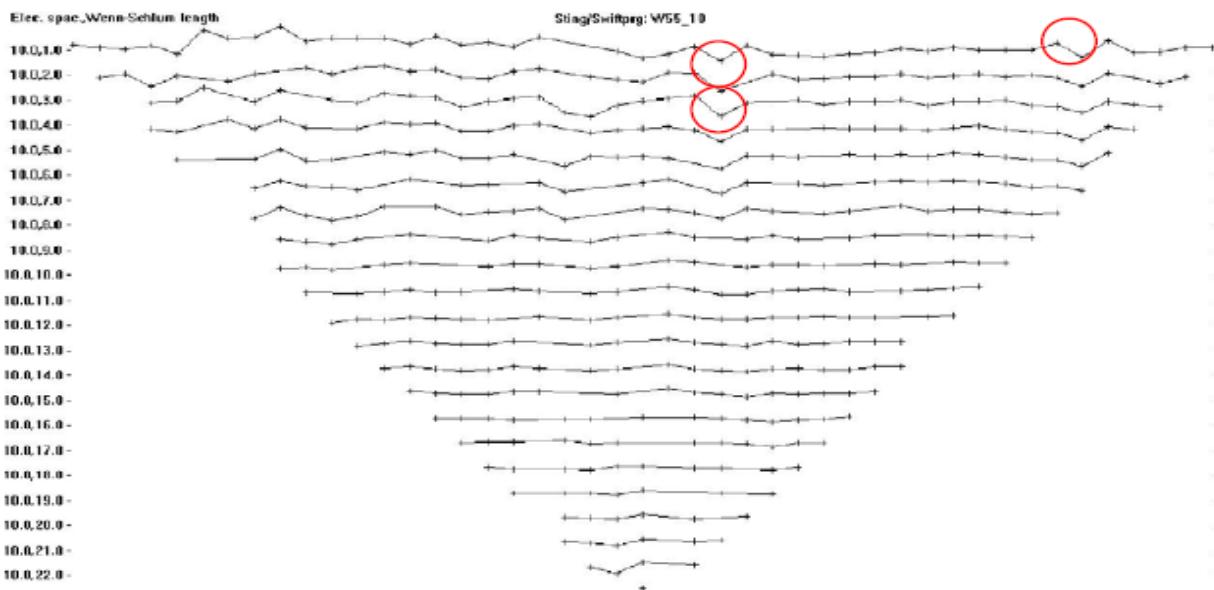
Την άνοιξη του 2008 πραγματοποιήθηκε γεωφυσική έρευνα στα Φαλάσσαρνα Χανίων για την ανίχνευση υφαλμύρινσης στην περιοχή από τους φοιτητές τέταρτου έτους του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η γεωφυσική αυτή έρευνα πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος "Ασκήσεις Υπαίθρου IV" και περιλάμβανε σεισμικές, ηλεκτρικές, καθώς και ηλεκτρομαγνητικές διασκοπήσεις, στο project εισήχθησαν μετρήσεις ηλεκτρικής τομογραφίας (ht), δεδομένα βυθοσκόπησης (ves), σεισμικές μετρήσεις (seismic), και δεδομένα VLF.

Οι μετρήσεις της ηλεκτρικής τομογραφίας επεξεργάστηκαν με το πρόγραμμα RES2DIVN. Ουσιαστικά έγινε προσπάθεια μέσω της χαρτογράφησης του εδάφους με τη βοήθεια της ηλεκτρικής αντίστασης να προσδιοριστεί η ύπαρξη ή όχι υφαλμύρινσης στην περιοχή μελέτης. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την επεξεργασία.

To RES2DIVN είναι πρόγραμμα το οποίο καθορίζει ένα δισδιάστατο (2-D) μοντέλο ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τα δεδομένα της ηλεκτρικής τομογραφίας (Griffiths and Baker 1993). Αυτό το πρόγραμμα αντιστρέφει δεδομένα (από 100 έως 5000) τα οποί συλλέχθηκαν με τη χρήση μεγάλου αριθμού ηλεκτροδίων (από 25 έως 650 ηλεκτρόδια περίπου).

Σκοπός αυτού του προγράμματος είναι να καθοριστεί η ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε ορθογώνια παραλληλόγραμμα του δισδιάστατου μοντέλου.

Σύμφωνα, λοιπόν, με το πρόγραμμα εισάγονται τα δεδομένα από το αρχείο dat. Αφού πραγματοποιηθεί η αντιστροφή των δεδομένων παρουσιάζονται στην οθόνη τρεις τομές. Η πρώτη είναι η ψευδοτομή των δεδομένων της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η δεύτερη τομή είναι η ψευδοτομή των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και η Τρίτη τομή είναι η γεωηλεκτρική τομή που προκύπτει από την αντιστροφή. Για τη μείωση του σφάλματος μεταξύ υπολογισμένων και μετρούμενων τιμών των φαινόμενων αντιστάσεων r_a , αφαιρούνται τιμές με μεγάλη διακύμανση. Επίσης, ρυθμίζεται ο αριθμός των επαναλήψεων της διαδικασίας της αντιστροφής.



Σχήμα 5.4: Δεδομένα της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με μορφή σχεδιαγράμματος (με κόκκινο κύκλο σημειώνονται τα σημεία τα οποία επιλέγονται να αφαιρεθούν)

Για την αντιστροφή των δεδομένων χρησιμοποιείται η τεχνική ελαχίστων τετραγώνων (deGroot-Hedlin and Constable, 1990, Loke and Barker, 1996). Ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί ψευδοτομές με έως 650 ηλεκτρόδια και 6500 σημεία δεδομένων.

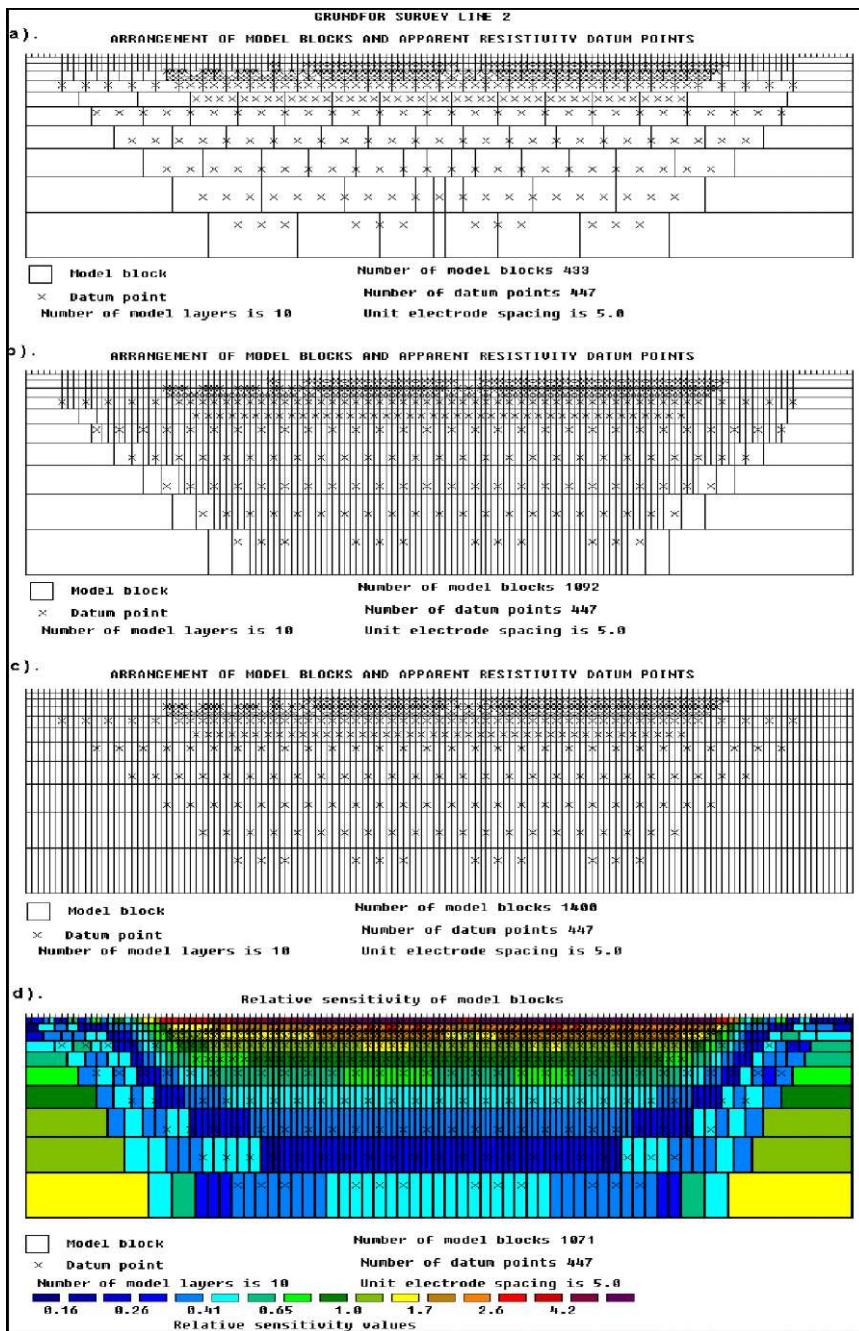
Το πρόγραμμα RES2DIVN έχει ως σκοπό να λειτουργήσει, όσον δυνατόν περισσότερο, με αυτόματο τρόπο. Έχει ένα σύνολο παραμέτρων προεπιλογής ου καθοδηγεί τη διαδικασία αντιστροφής. Αυτό το τμήμα περιγράφει μερικές από τις παραμέτρους που ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει για να καθορίσει με ακρίβεια τη διαδικασία αντιστροφής.

Ένας άλλος παράγοντας που ο χρήστης μπορεί να ελέγξει είναι το μέγεθος και η κατανομή των ορθογωνίων πλεγμάτων που χρησιμοποιούνται από το πρότυπο αντιστροφής (σχήμα). Εξ ορισμού, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο, βασισμένος εν μέρει στη θέση των δεδομένων, να παράγει το μέγεθος και τη θέση των πλεγμάτων. Τίθεται ως στόχος το βάθος του βαθύτερου στρώματος στο πρότυπο να είναι σχεδόν ίδιο με το μεγαλύτερο βάθος της έρευνας για τα δεδομένα, καθώς επίσης και το γεγονός ότι ο αριθμός των πλεγμάτων να μην υπερβεί τον αριθμό των δεδομένων με μεγάλο σφάλμα.

Γενικά, αυτό παράγει ένα πρότυπο όπου το πάχος του στρώματος αυξάνεται με το βάθος, και με τα μεγαλύτερα πλέγματα στις πλευρές και στα βαθύτερα στρώματα. Δυστυχώς πολλές φορές το πρότυπο δεν ακολουθεί απόλυτα την ψευδοτομή. Για να παραχθεί ένα πρότυπο με ομοιόμορφα πλάτη πλεγμάτων, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα πρότυπο όπου ο αριθμός των

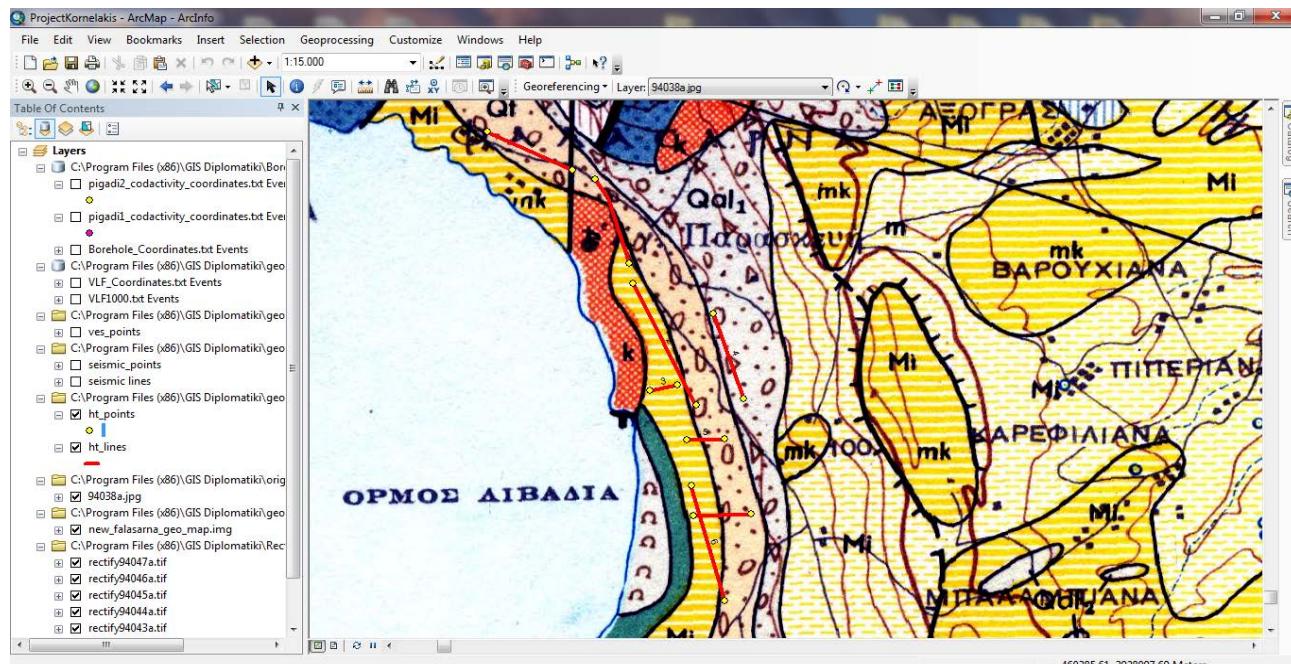
πλεγμάτων μπορεί να υπερβεί τον αριθμό δεδομένων. Μια άλλη πιθανή διαμόρφωση είναι τα πλέγματα να έχουν ομοιόμορφο πάχος μέχρι τις άκρες της γραμμής ερευνών. Αυτό είναι πιθανώς μια ακραία περίπτωση. Καθώς ο αριθμός των πλεγμάτων αυξάνεται, ο χρόνος αντιστροφής που απαιτείται αυξάνεται επίσης.

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



Σχήμα 5.5: Υποδιάρεση του υπεδάφους σε ορθογώνια πλέγματα σε δισδιάστατη έρευνα απεικόνισης η οποία χρησιμοποιεί διαφορετικούς αλγορίθμους. Τα πρότυπα ελήφθησαν με (α) τον αλγόριθμο προεπιλογής, (β) επιτρέποντας στον αριθμό των πλεγμάτων να υπερβιούν τα δεδομένα με μεγάλο σφάλμα, (γ) ένα πρότυπο που επεκτείνεται στις άκρες της γραμμής ερευνών και (δ) χρησιμοποιώντας τις τιμές ευαισθησίας για ένα ομοιογενές γήινο πρότυπο (Loke,1999)

Στο σχήμα 5.6 που ακολουθεί φαίνεται η θέση στην περιοχή μελέτης των γραμμών της ηλεκτρικής τομογραφίας στην περιοχή μελέτης. Έπειτα ακολουθούν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των μετρήσεων.

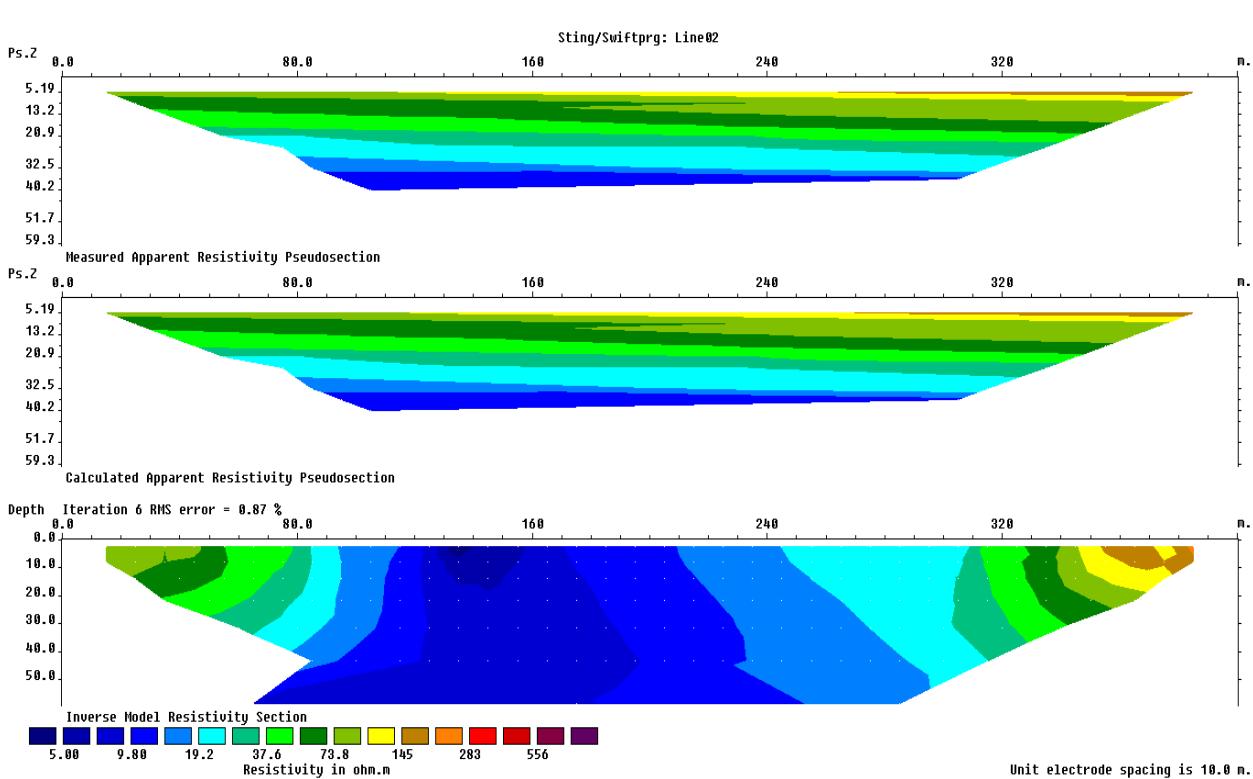
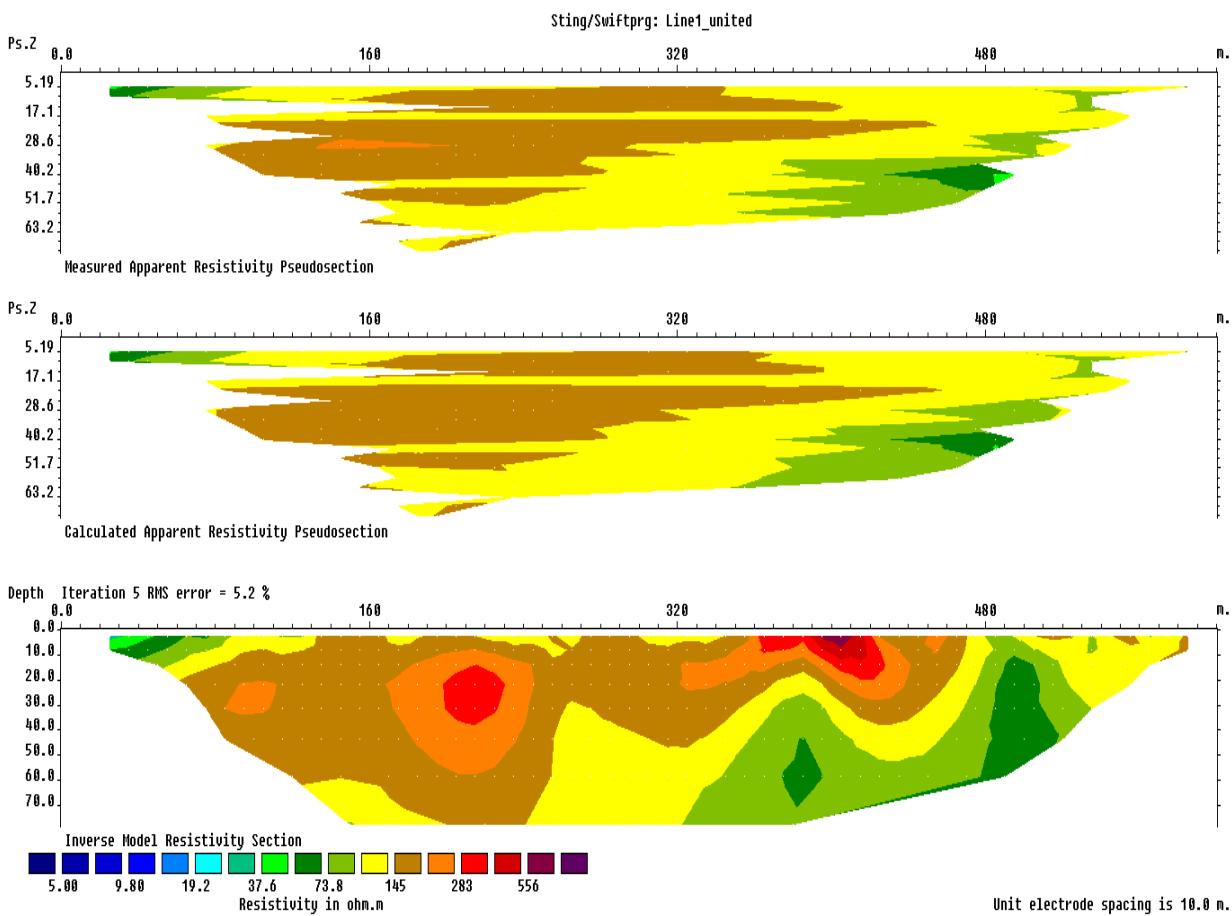


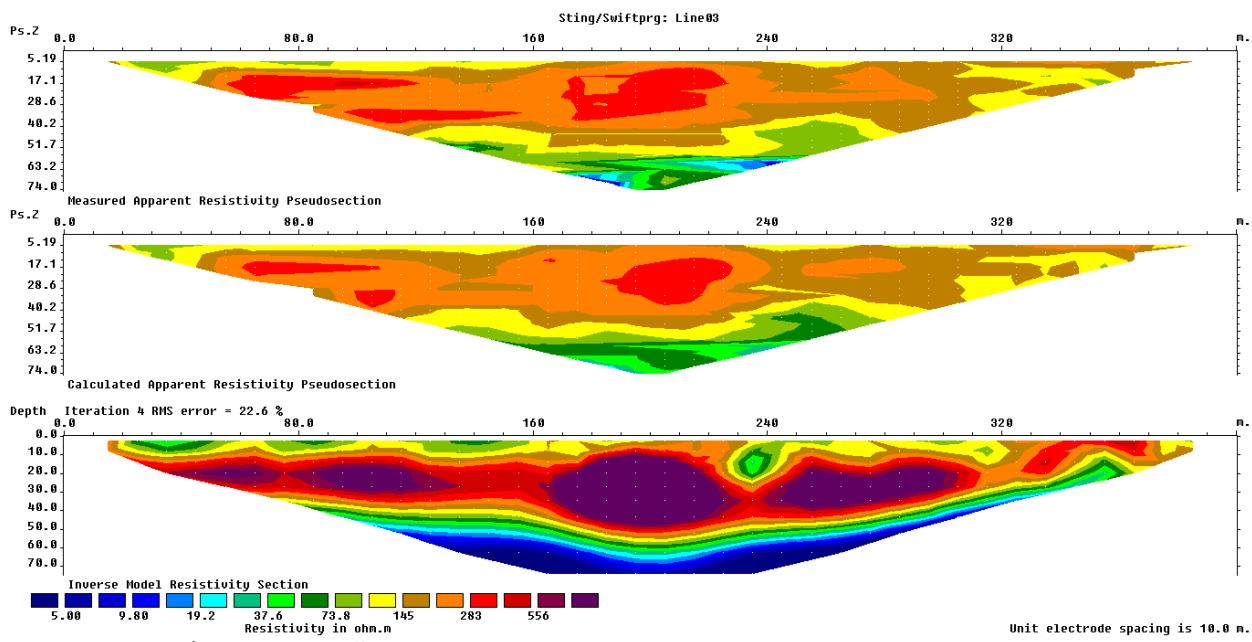
Σχήμα 5.6: Θέση των γραμμών ηλεκτρικής τομογραφίας στην περιοχή μελέτης (line01, line02, line03, line04, line05, line06, line07)

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας (Πίνακας 5.1) με τον προσανατολισμό των γραμμών της ηλεκτρικής χαρτογράφησης.

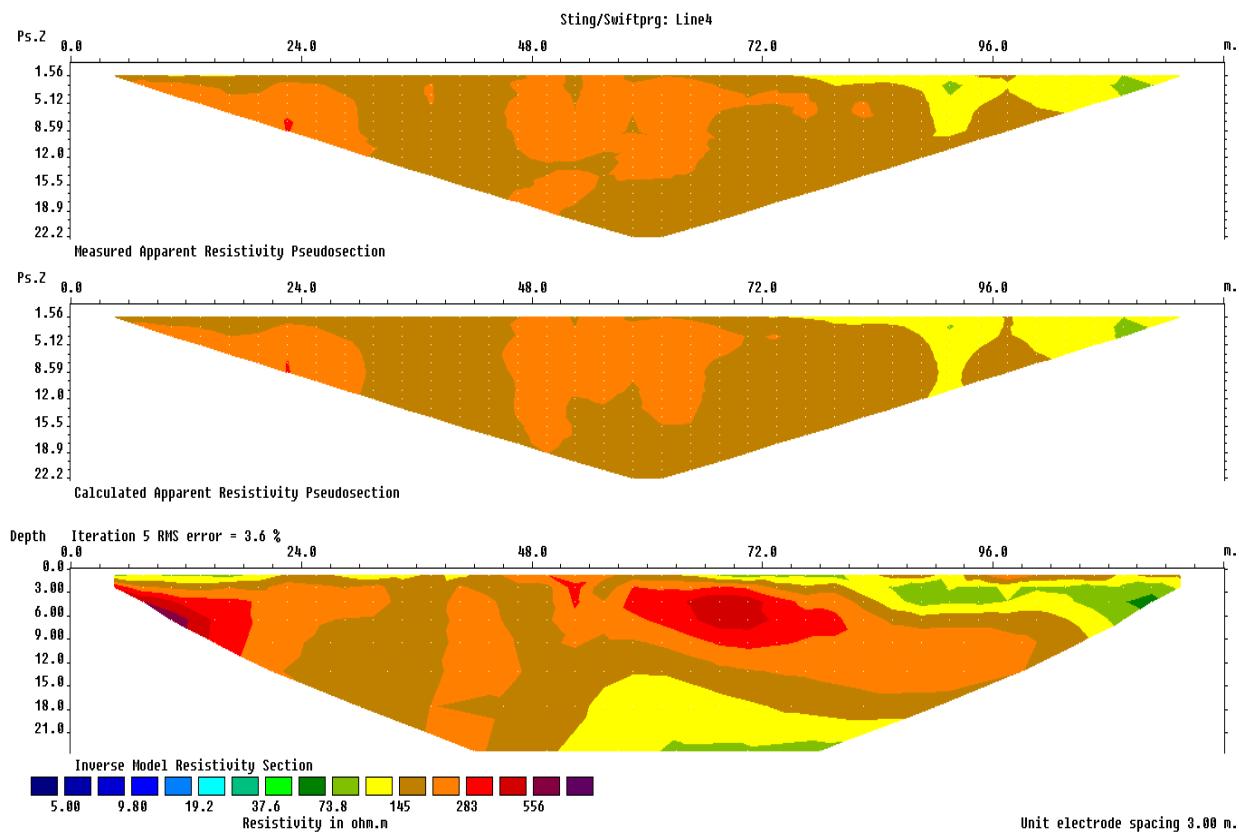
Γραμμή	Προσανατολισμός
Line 1	N-NA έως B-BA
Line 2	NA-BA
Line 3	N-NA έως B-BA
Line 4	Δ-A
Line 5	Δ-A
Line 6	Δ-A
Line 7	Δ-A
Line 8	Δ-A
Line 9	BΔ-NA
Line 10	BΔ-NA
Line 11	BΔ-NA
Line 12	BΔ-NA

Πίνακας 5.1: Προσανατολισμός γραμμών ηλεκτρικής χαρτογράφησης

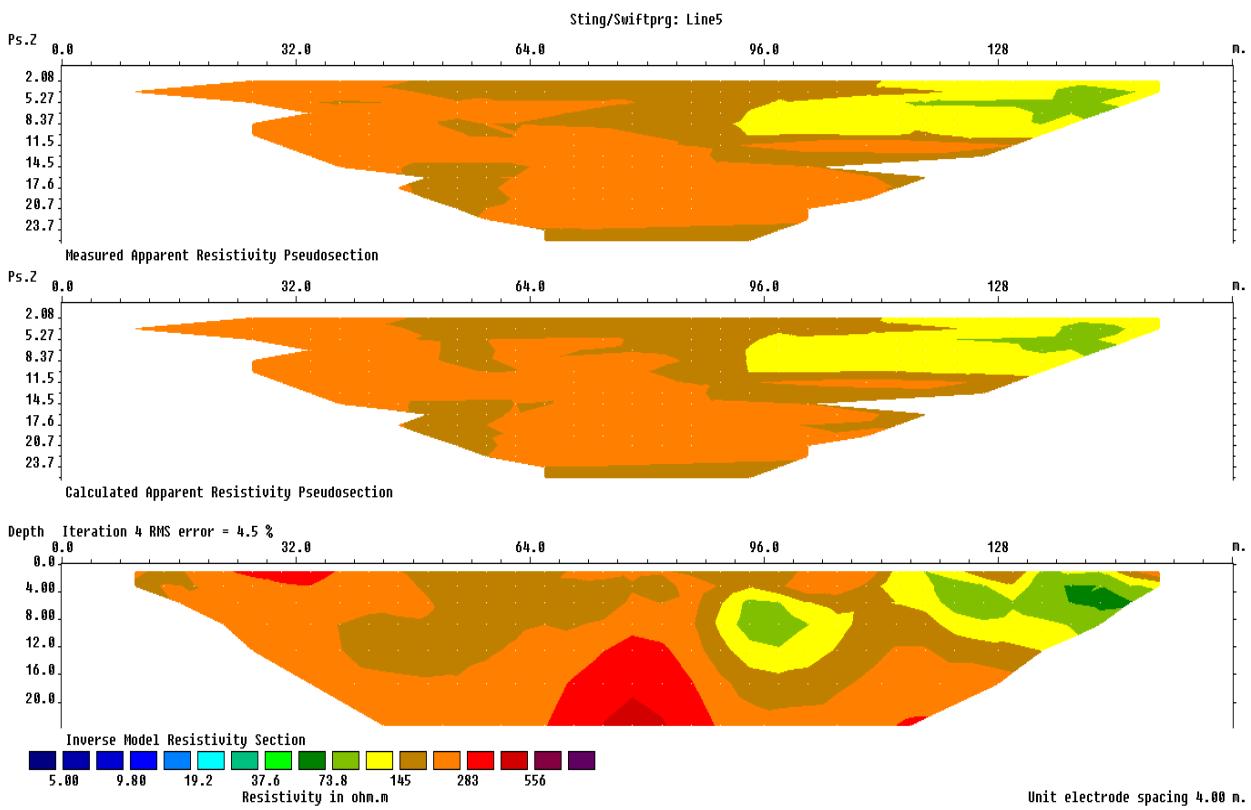




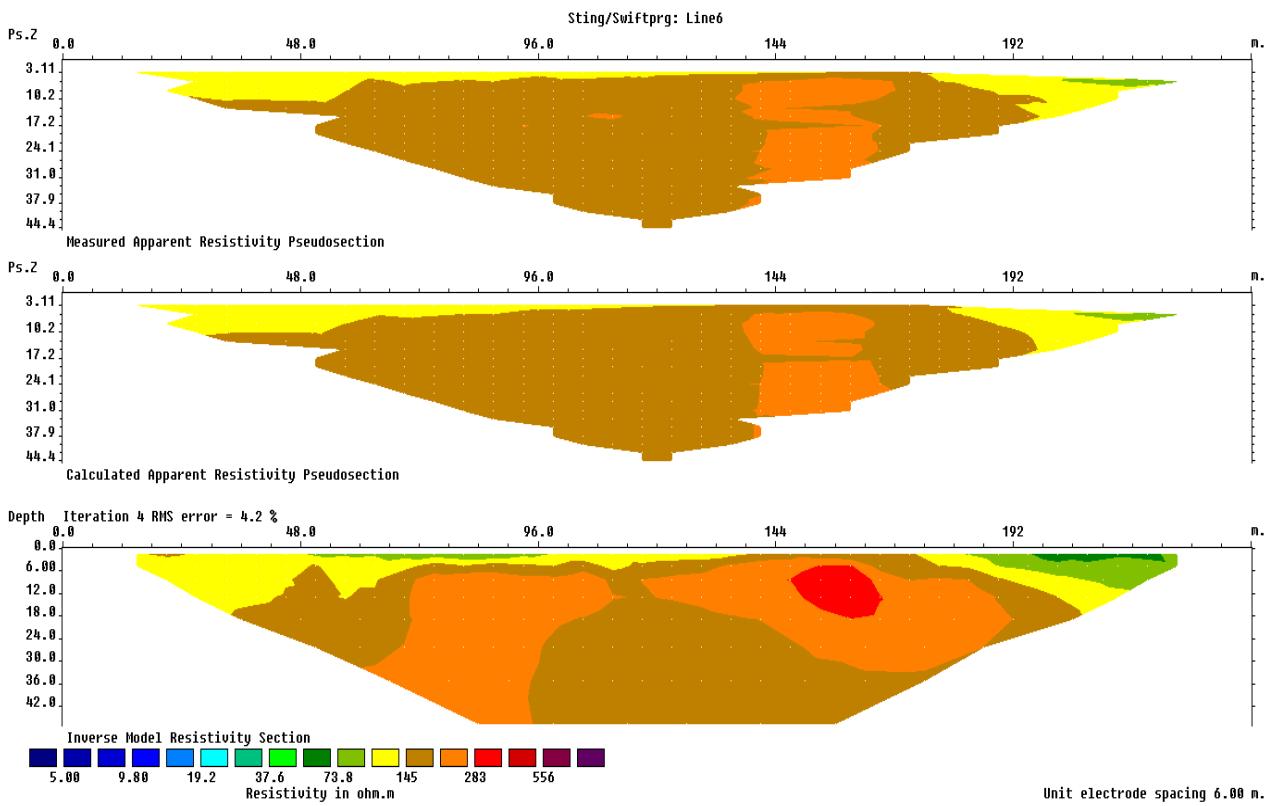
Σχήμα 5.9: Γεωηλεκτρική τομή line03



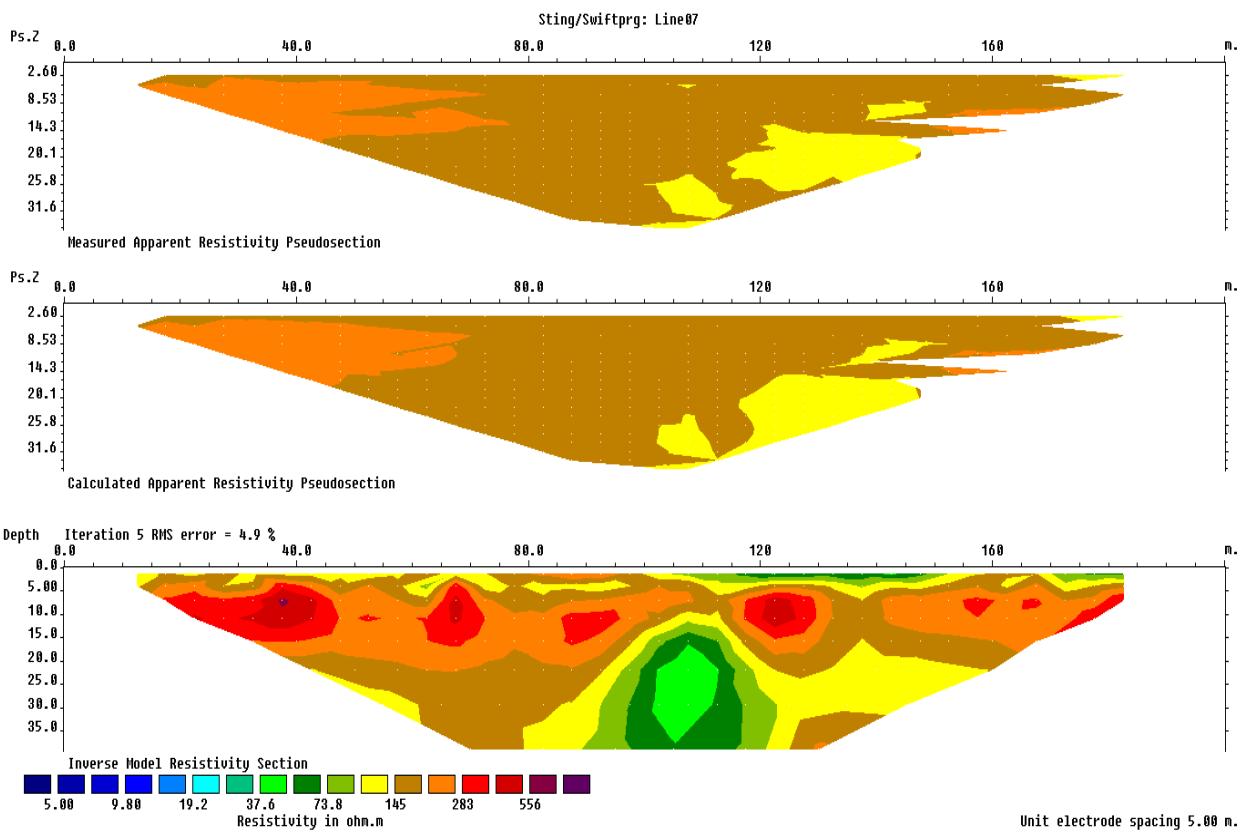
Σχήμα 5.10: Γεωηλεκτρική τομή line04



Σχήμα 5.11: Γεωηλεκτρική τομή line05

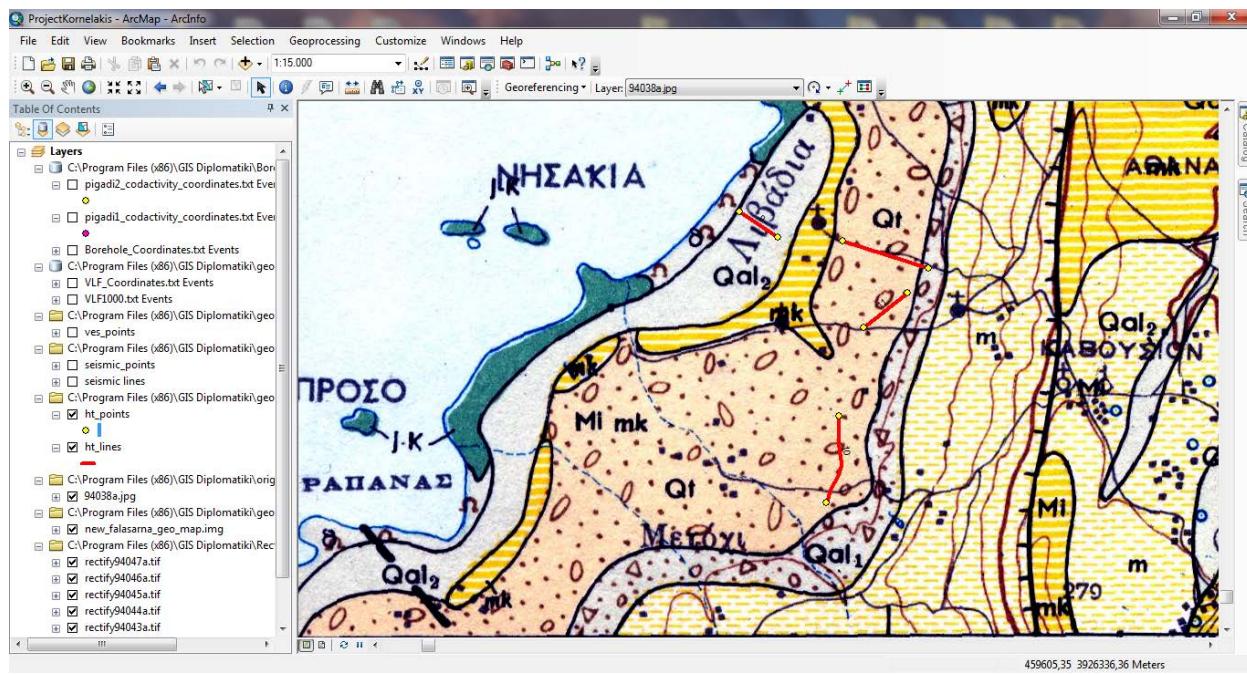


Σχήμα 5.12: Γεωηλεκτρική τομή line06

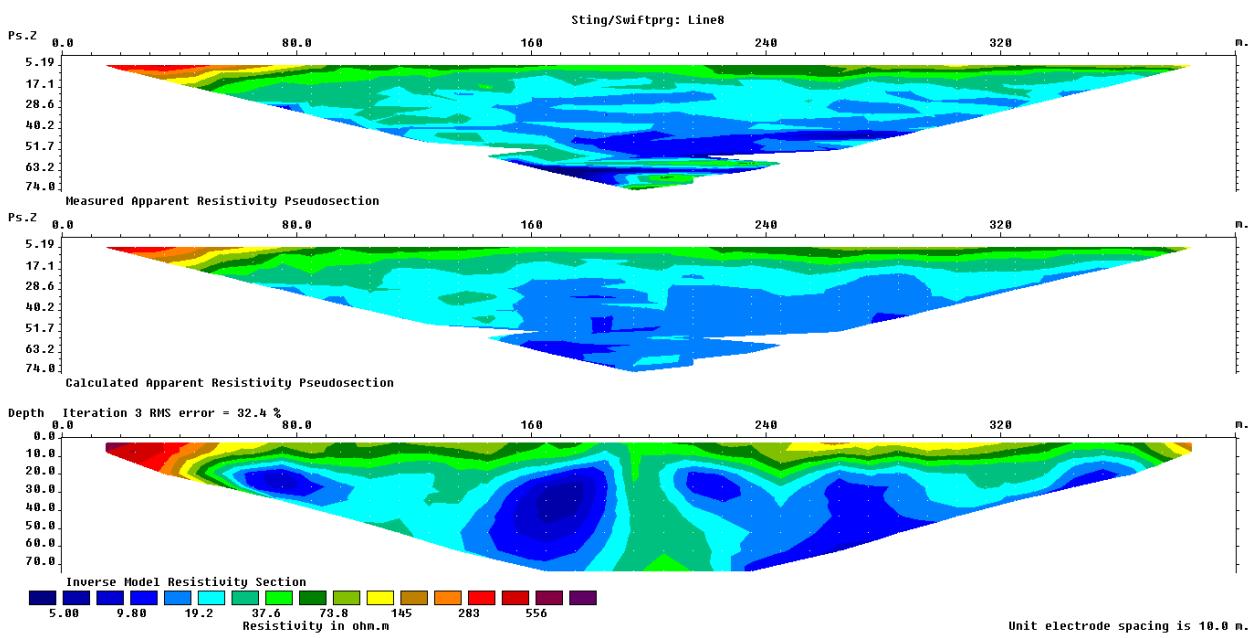


Σχήμα 5.13: Γεωηλεκτρική τομή line07

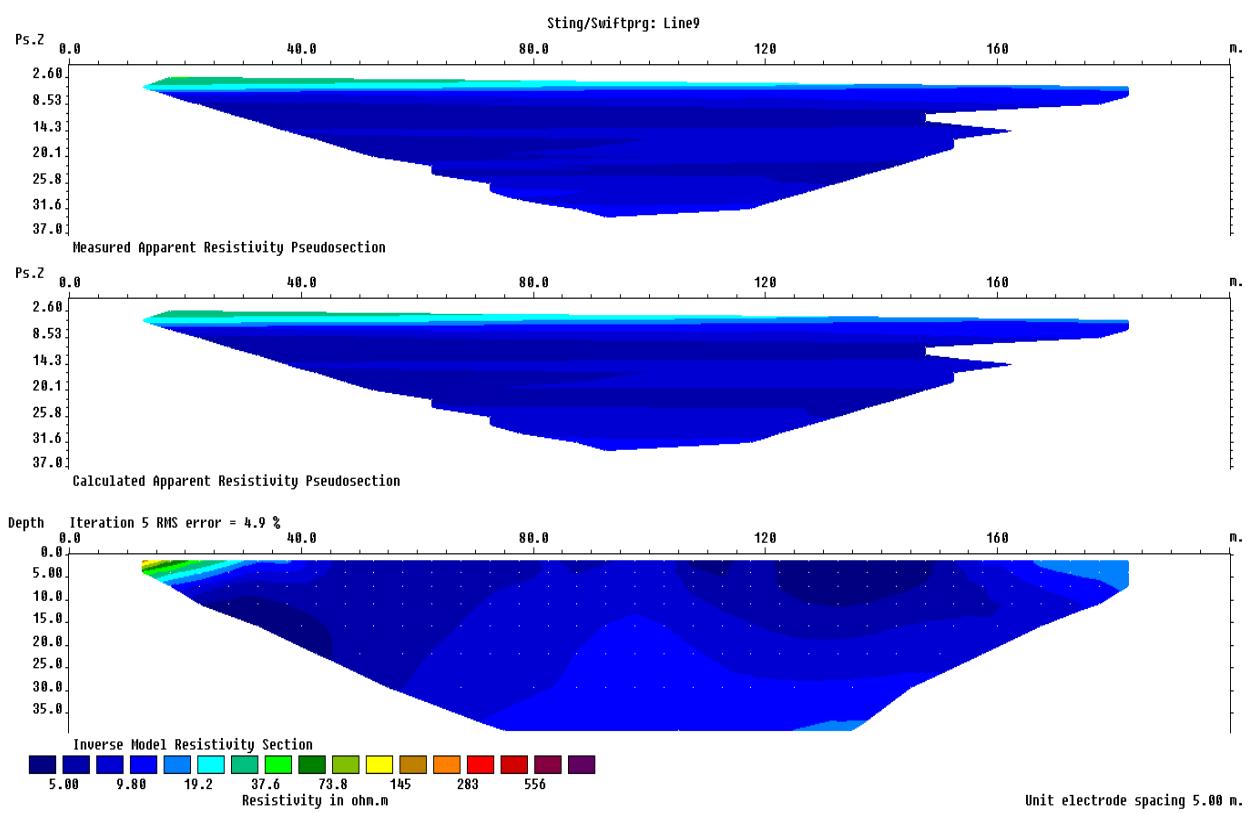
Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η θέση των γραμμών ηλεκτρικής τομογραφίας στην περιοχή μελέτης (Σχήμα 5.14) (line08, line09, line10, line 11).



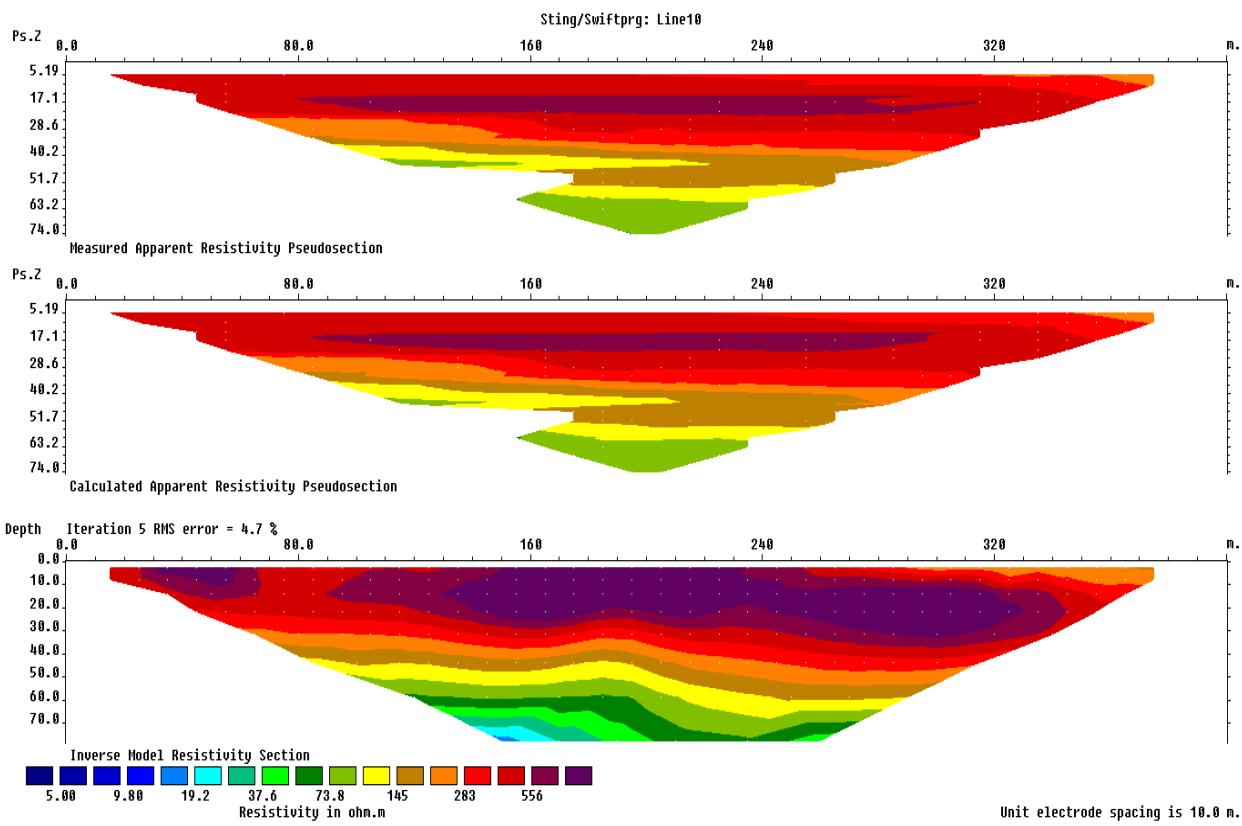
Σχήμα 5.14: Θέση γραμμών ηλεκτρικής τομογραφίας (line08, line09, line10, line 11)



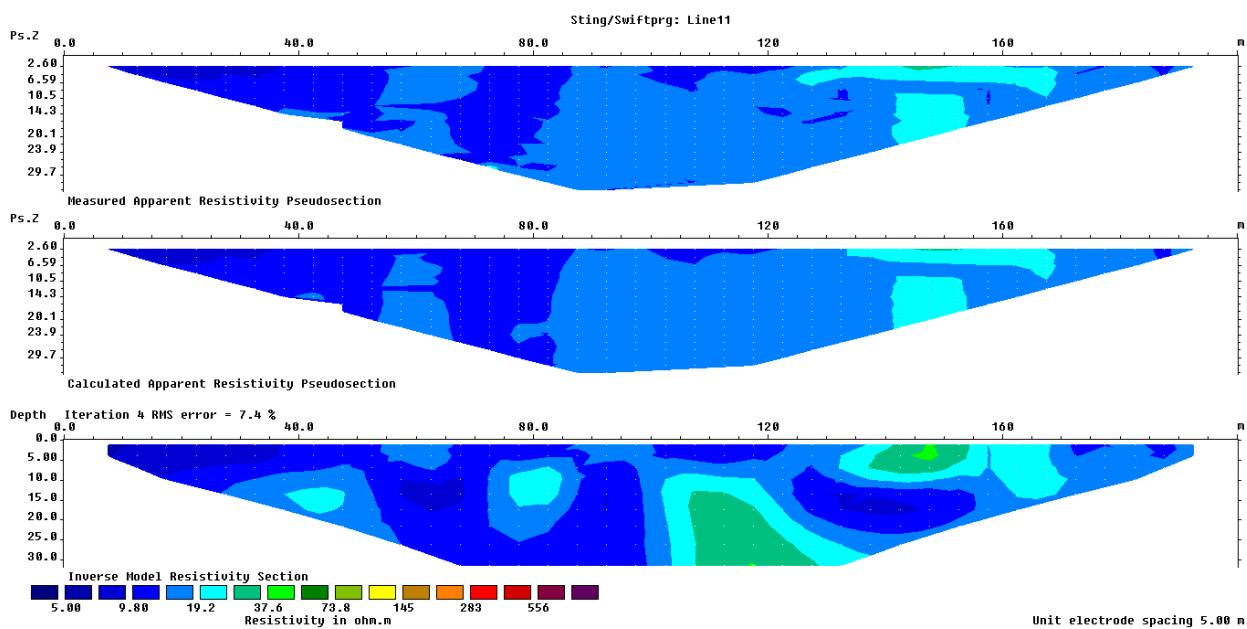
Σχήμα 5.15: Γεωηλεκτρική τομή line08



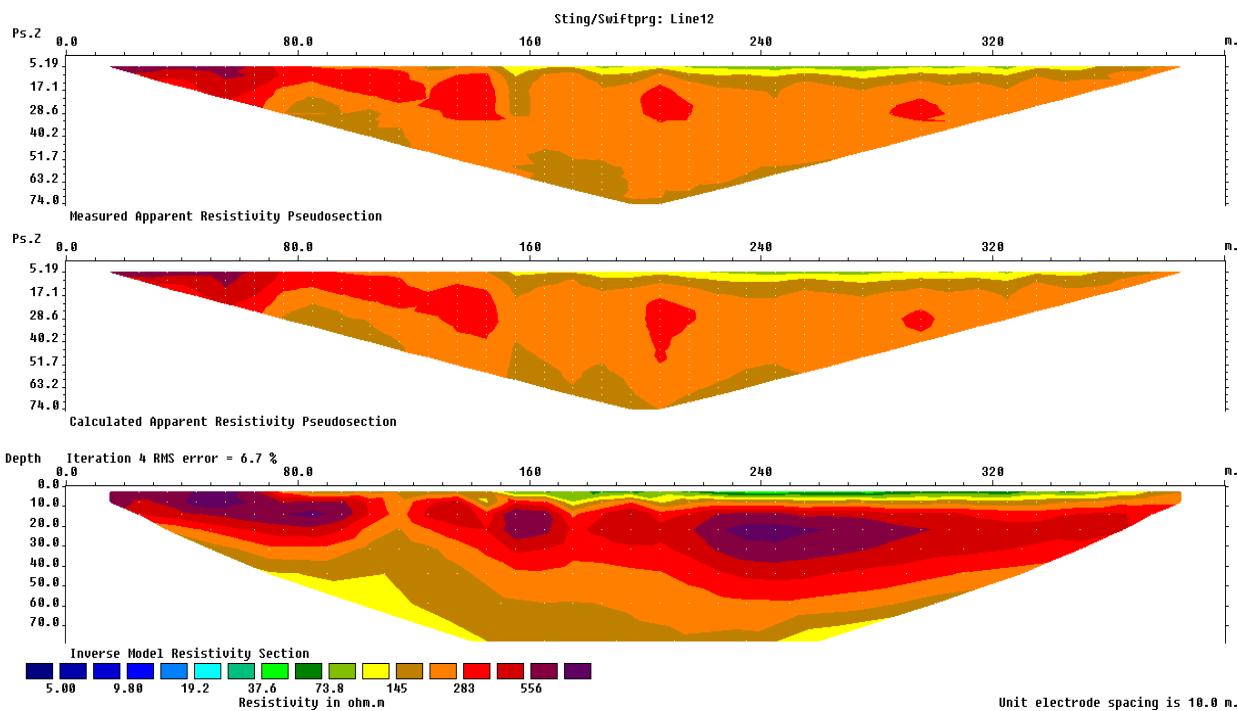
Σχήμα 5.16: Γεωηλεκτρική τομή line09



Σχήμα 5.17: Αποτελέσματα επεξεργασίας line10

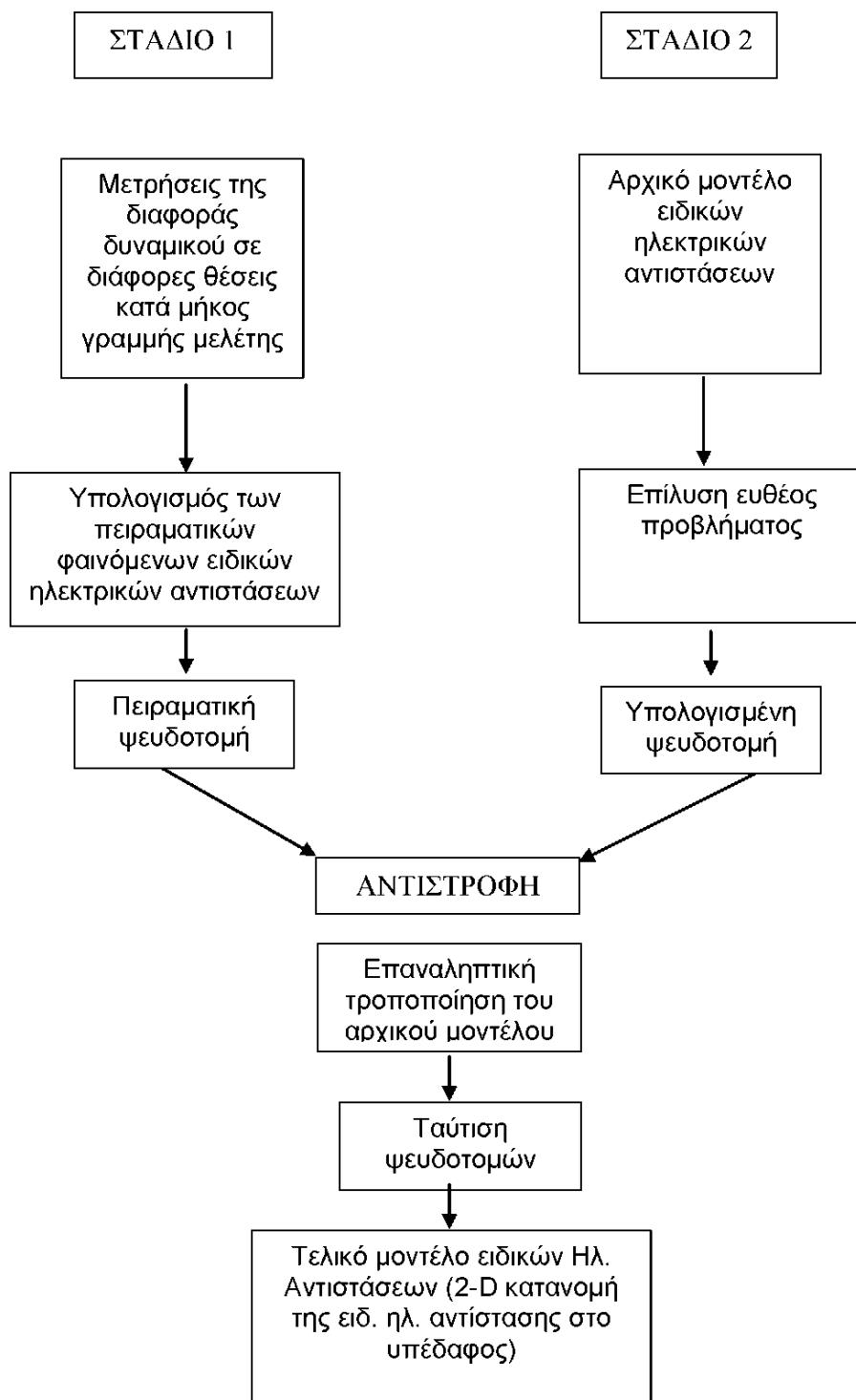


Σχήμα 5.18: Γεωηλεκτρική τομή line11



Σχήμα 5.19: Γεωηλεκτρική τομή line12

Στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί (Σχήμα 5.20), παρουσιάζεται συνοπτικά η επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας:



Σχήμα 5.20: Διάγραμμα ροής της ηλεκτρικής τομογραφίας

Για την καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων, στις γεωηλεκτρικές τομές αποδόθηκε κοινή χρωματική κλίμακα, ορίζοντας ως ελάχιστη ηλεκτρική αντίσταση τα $5 \Omega\text{m}$ και ως μέγιστη τα $778\Omega\text{m}$. Το εύρος αυτό καλύπτει σχεδόν όλες τις τιμές των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων που προσδιορίστηκαν τομογραφίες εκτός από κάποιες θέσεις στην Line 10 στην οποία υπολογίστηκαν αντιστάσεις μεγαλύτερες από $778 \Omega\text{m}$ όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα επεξεργασίας.

Οι παραπάνω εικόνες παρουσιάζουν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της κάθε τομογραφίας, όπου απεικονίζεται η μετρούμενη (Measured) ψευδοτομή και η υπολογισμένη ψευδοτομή (Calculated Apparent Resistivity Pseudo Section), η οποία έχει προκύψει από την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος (Inverse Model Resistivity Section). Τέλος, παρουσιάζεται η γεωηλεκτρική τομή των πραγματικών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για την κάθε γραμμή μελέτης. Σε κάθε εικόνα παρουσιάζεται επίσης το μέσο εκατοστιαίο τετραγωνικό σφάλμα μεταξύ της μετρούμενης και υπολογισμένης ψευδοτομής, το οποίο πρέπει να υποβιβαστεί σε τιμές μικρότερες του 10%.

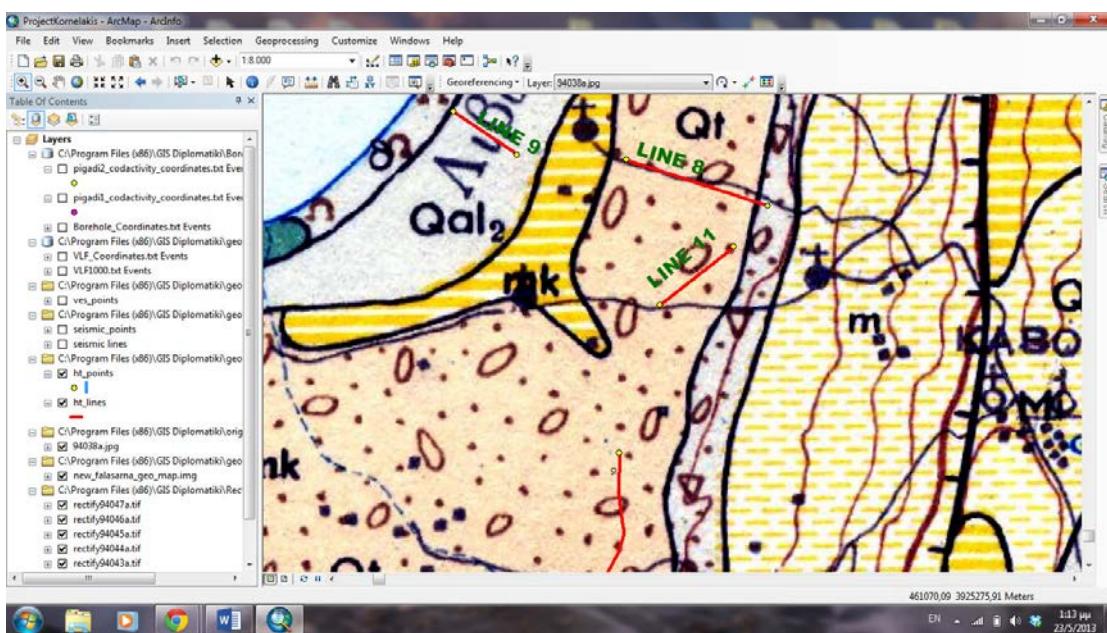
Από τα αποτελέσματα της επεξεργασίας φαίνεται ότι στις περισσότερες γραμμές, μέχρι το βάθος των μετρήσεων, δεν υπάρχει κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα, χαμηλές ηλεκτρικές αντιστάσεις, άρα ίσως την ύπαρξη υφαλμύρινσης. Ζώνες χαμηλής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εμφανίζονται στις γραμμές Line2, Line8, Line9, Line11. Συγκεκριμένα στην Line2 εντοπίζεται στο κεντρικό τμήμα της τομής, ζώνη με χαμηλές αντιστάσεις, από την επιφάνεια μέχρι και το μέγιστο βάθος της διασκόπησης η οποία πιθανόν να σχετίζεται με την ύπαρξη ρήγματος.

Στην Line8 υπάρχει εμφάνιση χαμηλών αντιστάσεων σχεδόν σε όλη την τομή από το βάθος των 12 μέτρων μέχρι το βάθος της διασκόπησης.

Στην Line9 βρίσκεται πολύ κοντά στη θάλασσα και τα σημάδια της ύπαρξης υφαλμύρινσης είναι έντονα και ορατά σε όλη την τομή, από την επιφάνεια μέχρι το μέγιστο της βάθος. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι σε κάποιες θέση πολύ χαμηλή, μικρότερη των 5 Ωm.

Στην Line11 εντοπίζεται το μεγαλύτερο πρόβλημα, είναι η γραμμή εκείνη η οποία βρίσκεται μακρύτερα από τις προηγούμενες, που δείχνουν σημάδια υφαλμύρινσης, από την παραλία. Από την επιφάνεια μέχρι το μέγιστο βάθος της διασκόπησης εντοπίζονται αντιστάσεις από 5 έως 19 Ωm και για μια απόσταση της τάξης των 240 μέτρων. Το ανησυχητικό είναι ότι ίσως η συγκεκριμένη γραμμή μελέτης μας δείχνει την εισχώρηση του αλμυρού νερού προς το εσωτερικό του κάμπου στα Φαλάσσαρνα εξαιτίας του φαινομένου της υφαλμύρινσης είτε εξαιτίας του υπόβαθρου, άργιλοι, οι οποίοι ίσως ευθύνονται για τις χαμηλές ηλεκτρικές αντιστάσεις της γεωηλεκτρικής τομής.

Συνολικά παρατηρείται η συσχέτιση των γραμμών 8, 9 ,11 καθώς η μεταξύ τους απόσταση είναι σχετικά μικρή (Σχήμα 5.21) και έχουν παραπλήσια αποτελέσματα. Καταδεικνύουν ίσως την πιο ευάλωτη περιοχή στην ροή αλμυρού νερού, η εμφάνιση στην περιοχή αυτή υφαλμύρινσης δείχνει την ύπαρξη εύκολης μετακίνησης, άρα και ανάμειξης του αλμυρού με το καθαρό νερό.

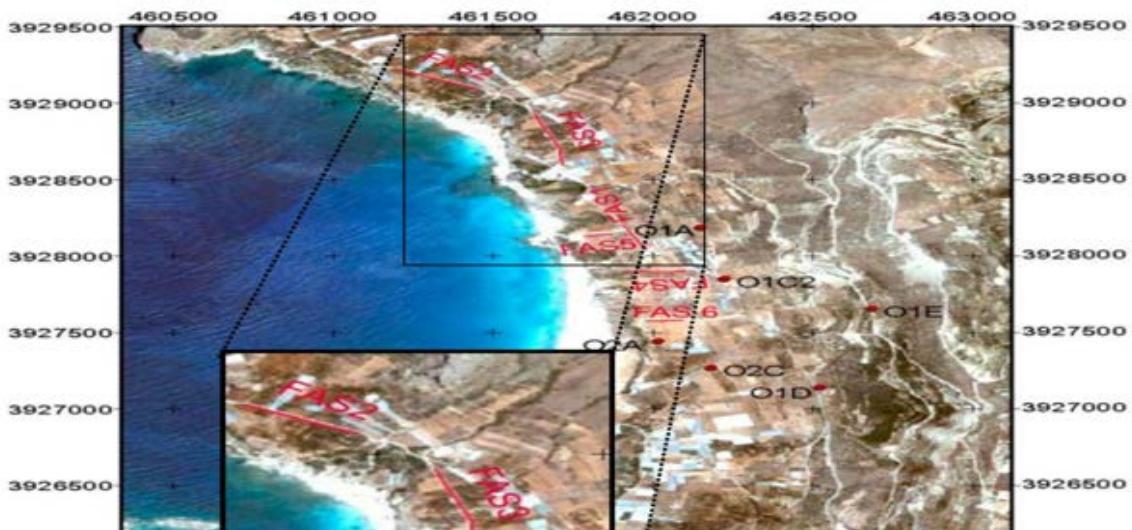


Σχήμα 5.21: Περιοχή μετρήσεων γεωηλεκτρικών γραμμών Line8, Line9, Line11

5.4 Σεισμικά δεδομένα

Εξετάζονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις τρεις πρώτες γραμμές μελέτης της σεισμικής διασκόπησης: Line FAS 1, Line FAS 2, Line FAS

3("ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗΣ ΣΤΑ ΦΑΛΑΣΑΡΝΑ ΧΑΝΙΩΝ", Σαγκιώτη Κυριακή 2010). Μία γενική εικόνα για τις θέσεις των μετρήσεων στην ευρύτερη περιοχή μας δίνει το σχήμα 5.22 όπου απεικονίζεται ο χάρτης της περιοχής Φαλασάρνων στον οποίο αναπαρίσταται η θέση και η διεύθυνση των γραμμών μελέτης.

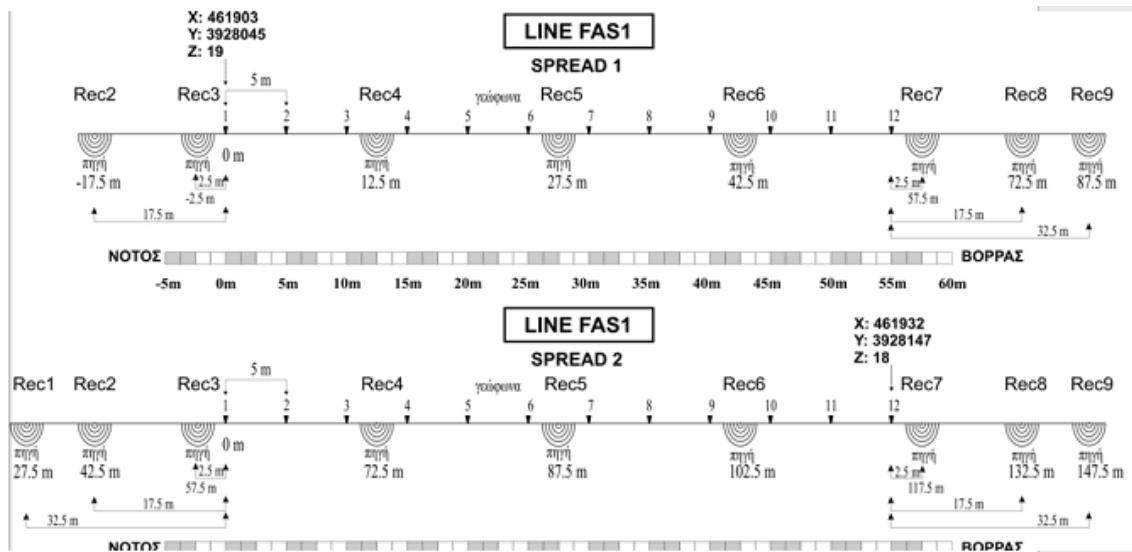


Σχήμα 5.22: Σχηματική αναπαράσταση των γραμμών μελέτης στο χάρτη, για την πραγματοποίηση μετρήσεων με τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης.

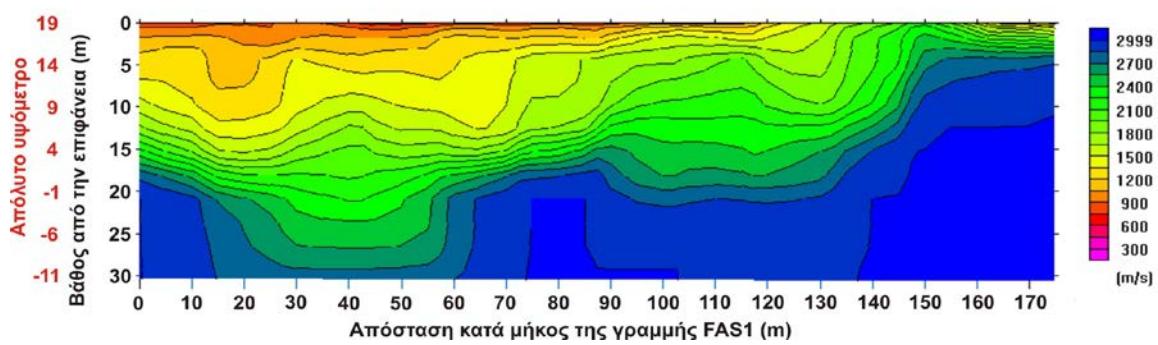
5.4.1 LINE FAS 1

Αναπτύσσεται από νότιο-νοτιοανατολικά προς βόρειο-βορειοδυτικά, έχει μήκος 175 m και συντεταγμένες άκρων: $(\chi, \psi)_A = (461903, 3928045)$ και $(\chi, \psi)_T = (461937, 3928205)$. Όπως φαίνεται και από Σχήμα 5.22, το οποίο παρουσιάζει όλα τα στοιχεία γεωμετρίας της Line FAS 1, αποτελείται από τρία spread (αναπτύγματα). Σε όλες τις γραμμές μελέτης κάθε ανάπτυγμα αποτελείται από 12 γεώφωνα τοποθετημένα σε απόσταση 5m μεταξύ τους.

Τοποθετώντας κάθε φορά την πηγή σε νέα θέση επάνω στη γραμμή μελέτης καταγράφονται οι μετρήσεις των αφίξεων στα γεώφωνα. Στο Σχήμα 5.23 επίσης φαίνονται οι θέσεις των πηγών για κάθε πραγματοποιύμενη μέτρηση (Θέσεις με ένδειξη Rec).



Σχήμα 5.23 : Αναπαράσταση της γεωμετρίας όλων των στοιχείων της FAS1-Line1



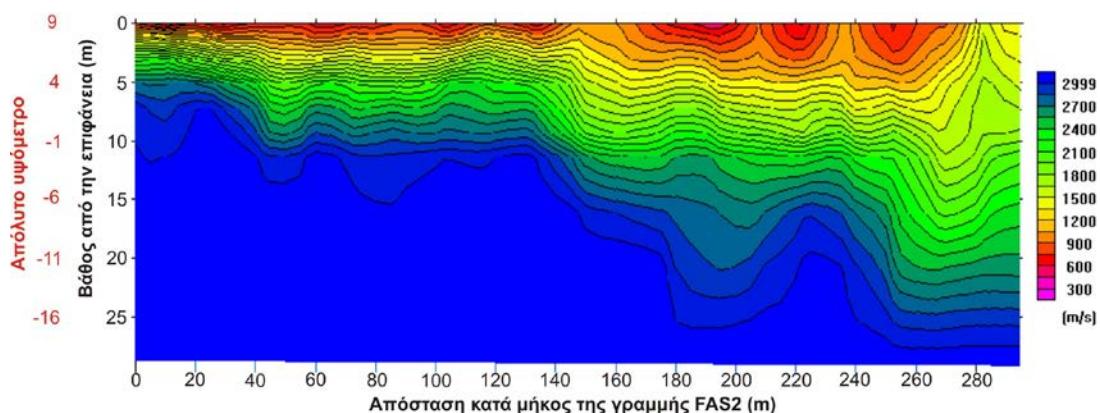
Σχήμα 5.24: Ταχύτητα διαδόσης διαμήκων κυμάτων στην σεισμική γραμμή FAS1-Line1.

5.4.2 Line FAS2

H Line FAS 2 έχει μήκος 295 m, κατευθύνεται από βορειοδυτικά προς νοτιοανατολικά, αποτελείται από 5 αναπτύγματα και έχει συντεταγμένες άκρων: $(\psi)_A = (461199,3229224)$ και $(x)_T = (461458,3929090)$. Ακολουθεί το αποτέλεσμα της επεξεργασίας της Line FAS 2 (Σχήμα 5.25). Παρατηρείται πως το μέγιστο βάθος διασκόπησης βρίσκεται στα 27 m περίπου, όσο δηλαδή το μέγιστο βάθος διάδοσης των σεισμικών ακτίνων.

Ξεκινώντας από την επιφάνεια του εδάφους και με μέσο πάχος τα 5 m διακρίνεται ένα στρώμα που χαρακτηρίζεται από μικρές ταχύτητες διάδοσης (έως 2100 m/s).

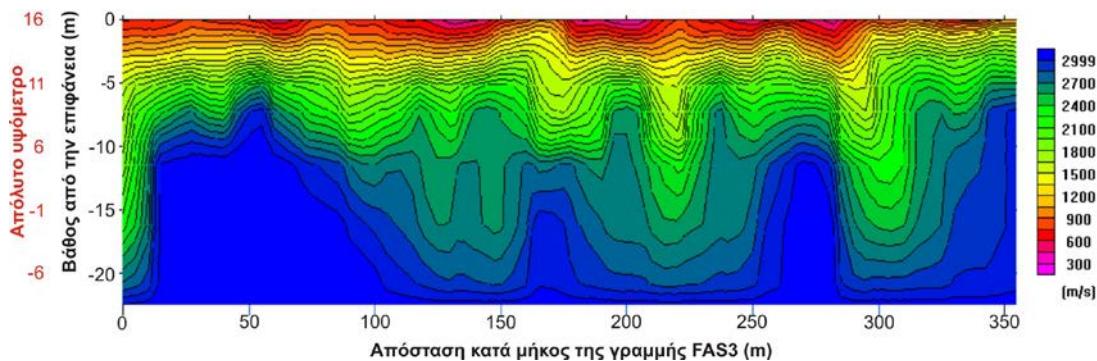
Το στρώμα αυτό στην αρχή της γραμμής μελέτης παρουσιάζει μικρό πάχος (περίπου 3 m), ενώ κατά μήκος αυτής το πάχος του αυξάνεται και φτάνει μέχρι και τα 15 m. Στο κατώτερο στρώμα, το οποίο φτάνει σε βάθος μεγαλύτερο από αυτό της διασκόπησης, οι ταχύτητες διάδοσης παίρνουν τιμές από 2100 m/s.



Σχήμα 5.25: Ταχύτητα διάδοσης διαμηκών κυμάτων στην σεισμική γραμμή FAS2-Line2.

5.4.3 Line FAS3

Η Line FAS 3 έχει μήκος 355 m, αναπτύσσεται από βόρειο-βορειοδυτικά προς νότιο-νοτιοανατολικά και αποτελείται από 6 αναπτύγματα. Έχει συντεταγμένες άκρων: $(\Psi)_A = (4616627, 3928930)$ και $(\psi)_T = (461719, 3928594)$. Ακολουθεί το αποτέλεσμα της επεξεργασίας της Line FAS 3 μέσω του προγράμματος PlotRefa (Σχήμα 5.26). Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3.5, το βάθος διασκόπησης φτάνει μέχρι τα 22 m. Το τελικό μοντέλο βάθους αποτελείται από δύο στρώματα. Από την επιφάνεια του εδάφους και με μέσο πάχος τα 7 m περίπου διακρίνεται το πρώτο στρώμα με χαμηλές ταχύτητες διάδοσης (έως 2100 m/s). (από 5 έως 15 m). Κάτω από αυτό υπάρχει ένα ακόμα στρώμα που εκτείνεται σε άγνωστο βάθος και παρουσιάζει υψηλές ταχύτητες διάδοσης σεισμικών κυμάτων (από 2100 m/s).



Σχήμα 5.26: Ταχύτητα διάδοσης διαμηκών κυμάτων στην σεισμική γραμμή FAS3-Line3.

5.5 Εργασία (Project) στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών

Αξίζει να αναφερθεί ότι η δουλειά στο σύνολο της δεν θα είχε ολοκληρωθεί εξαιτίας του τεράστιου όγκου δεδομένων τα οποία χρειάστηκε να επεξεργαστούν, εάν δεν γινόταν χρήση του προγράμματος GIS, ArcMap. Είναι ένα δυναμικό εργαλείο στο οποίο μπορούμε να προσθέτουμε συνεχώς δεδομένα και να τα επεξεργαζόμαστε, βοηθάει στην διαχείριση της πληροφορίας με τον καλύτερο δυνατό τρόπο και παράλληλα μας επιτρέπεται μέσω της αυτοματοποιημένης προβολής όλου του όγκου δεδομένων την καλύτερη εποπτεία και ερμηνεία της πληροφορίας. Στην παρούσα εργασία βοήθησε εξαιρετικά στην διαχείριση γεωφυσικών, γεωλογικών, γεωδαιτικών, τοπογραφικών δεδομένων και εικόνων.

Η πολυπλοκότητα της περιοχής έκανε επιτακτική την ανάγκη για την δημιουργία μιας βάσης δεδομένων, η οποία θα εμπλουτίζεται συνεχώς με νέες μετρήσεις, νέες πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την παρακολούθηση του φαινομένου της υφαλμύρινσης στην περιοχή του κάμπου στα Φαλάσσαρνα, ζωτικής σημασίας για την τοπική κοινωνία, λόγω της εξαιρετικά μεγάλης παραγωγής.

Οι γεωφυσικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται στη μελέτη του φαινομένου της υφαλμύρινσης στους παράκτιους υδροφορείς. Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης θεωρείται ως η πιο κατάλληλη για τον εντοπισμό του μετώπου υφαλμύρινσης, ενώ με την μέθοδο της σεισμικής διάθλασης υπολογίζεται το πάχος των γεωλογικών σχηματισμών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι ένα μικρό κομμάτι ενός μεγάλου έργου, σχετικού με την ανάπτυξη μεθοδολογίας συνδυασμένης γεωφυσικής έρευνας για την ανίχνευση της υφαλμύρινσης σε παράκτιους υδροφορείς. Η συνδυασμένη αυτή έρευνα δεν μένει στα πλαίσια μόνο της γεωφυσικής αλλά για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα χρειάζεται μεγάλο όγκο πληροφοριών, εξαιτίας αυτού έγινε η επιλογή για την δημιουργία του συγκεκριμένου project και της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

6. Συμπεράσματα και Προτάσεις

Υποκείμενο σε μετρήσεις σεισμικής διάθλασης και ηλεκτρικής τομογραφίας, η περιοχή των Φαλασάρνων εξετάστηκε για την ύπαρξη του φαινομένου της υφαλμύρινσης. Από την επεξεργασία των δεδομένων και από τον συνδυασμό των αποτελεσμάτων έγινε προσπάθεια να προσδιοριστούν οι περιοχές στις οποίες έχει παρεισφρήσει το θαλασσινό νερό στον υπόγειο υδροφορέα.

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, οι οποίοι αποτελούνται από νεότερες και παλαιότερες ποτάμιες αναβαθμίδες του Τεταρτογενούς, μαργαϊκό ασβεστόλιθο του Νεογενούς καθώς και από ασβεστόλιθο Πίνδου ή/και Τρίπολης.

Από την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας προσδιορίστηκαν οι θέσεις ύπαρξης υφάλμυρου νερού κοντά στην ακτογραμμή της περιοχής των Φαλασάρνων. Ειδικότερα, με τη χρήση της ηλεκτρικής τομογραφίας, το φαινόμενο της υφαλμύρινσης εντοπίζεται στις θέσεις όπου η ειδική ηλεκτρική αντίσταση παρουσιάζει πολύ μικρές τιμές (από 5 έως 20 Ωm).

Ειδικότερα, από την εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων στην περιοχή μελέτης το φαινόμενο της υφαλμύρινσης εντοπίστηκε στις γραμμές μελέτης 2, 8, 9 και 11 (Σχήματα 5.8, 5.15, 5.16, 5.18). Η ύπαρξη υφάλμυρου νερού στο συγκεκριμένο τμήμα δικαιολογείται από το ρήγμα που βρίσκεται πολύ κοντά και σχεδόν κάθετα στις συγκεκριμένες γραμμές μελέτης και φτάνει μέχρι τη θάλασσα. Σε όλα τα υπόλοιπα εξεταζόμενα τμήματα δεν εντοπίστηκε υφάλμυρο νερό καθώς η ειδική ηλεκτρική αντίσταση δεν βρίσκεται κάτω από 20 Ωm.

Με βάση την γεωφυσική έρευνα και λόγω της γεωλογικής πολυπλοκότητας της περιοχής μελέτης, για την ορθολογιστική μελέτη του προβλήματος, προτείνονται:

- Λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής.
- Συλλογή όλων των διαθέσιμων γεωλογικών, γεωτρητικών, γεωφυσικών και βροχομετρικών πληροφοριών της ευρύτερης περιοχής.
- Εισαγωγή νέων στοιχείων και εμπλουτισμός του υφιστάμενου project.
- Προσομοίωση της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς της ευρύτερης περιοχής μελέτης με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.
- Στενή παρακολούθηση της περιοχής και δημιουργία αρχείου με στατιστικές για τη άνοδο και υποχώρηση του φαινομένου, ώστε να βρεθεί η κατάλληλη εποχή για παρεμβάσεις.
- Συνέχιση εργασιών στην περιοχή, οι οποίες θα εξετάσουν το πρόβλημα από όλες τις επιστημονικές οπτικές και εισαγωγή των αποτελεσμάτων στο παρών project.

7. Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

- **Βαφείδης, Α., και Αμολοχίτης, Γ.**, (1995). Σημειώσεις Εργαστηριακών Ασκήσεων του μαθήματος «Εφαρμοσμένη Γεωφυσική II», Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- **Βαφείδης, Α.**, (1993). «Εφαρμοσμένη Γεωφυσική I Σεισμικές Μέθοδοι», Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχ. Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- **Δεσποτάκης, Β.**, (1999). «Γεωτεχνολογίες και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών», Σημειώσεις μεταπτυχιακού μαθήματος του προγράμματος «Περιβαλλοντική Γεωτεχνολογία», του Τμήματος Μηχ. Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης με τίτλο «Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, GIS», Χανιά.
- **Καλλέργης, Γ.Α.**, (2001). «Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία», Τόμος Γ, Δεύτερη Έκδοση, Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Αθήνα.
- **Κουσούρης Θ.**, (2007). «Εναλλακτικός Τουρισμός στη Δυτική Κρήτη», Χανιά.
- **Κρητικάκης, Γ.**, (2001). «Προσδιορισμός της ταχύτητας των εγκαρσίων σεισμικών κυμάτων από καταγραφές επιφανειακών κυμάτων Rayleigh», Μεταπτυχιακή εργασία, Τμήμα Μηχ. Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- **Νάνου-Γιάνναρου, Α.**, (2001). Υφαλμύρινση Παράκτιων Υδροφορέων, Συμπόσιο «Αιγαίο - Νερό - Βιώσιμη Ανάπτυξη», 6-7 Ιουλίου, Πάρος.
- **Οικονόμου Ν.**, (2002), «Παρουσίαση και ερμηνεία γεωφυσικών δεδομένων με τη χρήση γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών».
- **Οικονόμου, Ν.**, (1998). «Γεωφυσική έρευνα στον αρχαιολογικό χώρο της Ιτάνου Λασιθίου», Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχ. Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- **Σαγκιώτη, Κ.**, (2010). «Συμβολή της ηλεκτρικής και σεισμικής τομογραφίας στη μελέτη του φαινομένου της υφαλμύρωσης στα Φαλάσαρνα Χανίων».
- **Σούλιος Γ.**, (1996). «Γενική Υδρογεωλογία», Α' Τόμος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- **Σούρλας, Γ.**, (2000). «Συμβολή της γεωφυσικής διασκόπησης στην αναζήτηση θαμμένων αρχαιοτήτων στην Ίτανο Λασιθίου», Μεταπτυχιακή εργασία, Τμήμα Μηχ. Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Διεθνής Βιβλιογραφία

- **Balia R., Gavaudo E., Ardau F., Chiglieri G.**, (2001), «Geophysical Approach to the Environmental Study of a Coastal Plain», Universita 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.
- **deGroot-Hedlin and Constable**, 1990. C. deGroot-Hedlin and S. Constable, Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics* 55.
- **Leeming P. M., Roberts G., Bertoli M., Anderson H., Street G.**, (1994). «Interpretation Report: SALTMAP Survey», Broomehill Landcare District, World Geoscience Corporation.
- **Loke and Barker**, (1996) M.H. Loke and R.D. Barker, «Practical techniques for 3-D resistivity surveys and data inversion», *Geophys. Prospect.* 44.
- **Ogilvy R., D., Kuras O., Meldrum D. I., Gisbert J., Frances I., Vallejos A.**, (2009), «Monitoring coastal aquifers with automated time-lapse electrical resistivity tomography (ALERT)». Initials results from the Andarax delta, Spain.
- **Paillet F. L.**, (1999). «Integrating surface and borehole geophysics in the characterization of salinity in a coastal aquifer», Society of Exploration, Geophysics.
- **Res2dinv**, 2D Resistivity and IP Inversion, (1995-2001), Εγχειρίδιο Χρήσης Λογισμικού, Version 3.4, Geotomo Software, Malaysia.
- **Smith and Vozoff**, (1984). N.C. Smith and K. Vozoff, «Two-dimensional DC resistivity inversion for dipole—dipole data». *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing* 22.
- **Tripp**, (1984). AC. Tripp, G.W. Hohmann and CM. Swift, «Two- dimensional resistivity inversion», *Geophysics* 49

Σύνδεσμοι διαδικτύου

- www.deyaxiou.gr
- <http://www.chania-info.gr/>
- Salt water intrusion (<http://en.wikipedia.org/wiki/Karst>)
- Sea water intrusions in groundwater (www.lenntech.com)