

2012

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Γεωφυσικής
Επιβλέπων Καθηγητής:
Βαργεμέζης Γεώργιος
Επίκουρος καθηγητής ΑΠΘ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

[ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ]

**ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΓΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ
ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΝΕΟ ΡΥΣΙΟ – ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ
ΝΟΜΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

**Την εργασία επιμελήθηκε ο φοιτητής του
τμήματος Γεωλογίας:**

Μωλυσιάς Δημήτριος ΑΕΜ: 4029

Περιεχόμενα:

1	Πίνακας περιεχομένων	
2	Εισαγωγή	4
3	Γεωγραφία περιοχής	5
4	Γεωλογία της περιοχής	7
5	Γεωφυσική έρευνα	12
5.1	Μέθοδος ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης	12
5.2	Διατάξεις ηλεκτροδίων	14
5.3	Επεξεργασία δεδομένων (αντιστροφή)	15
5.4	Επιλογή παραμέτρων μετρήσεων	16
6	Εφαρμογή γεωφυσικής έρευνας	18
7	Συμπεράσματα	26

2 Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας του τμήματος Γεωλογίας από τον φοιτητή Μυλωνά Δημήτριο υπό την εποπτεία του επίκουρου καθηγητή του τομέα Γεωφυσικής κ. Γεωργίου Βαργεμέζη.

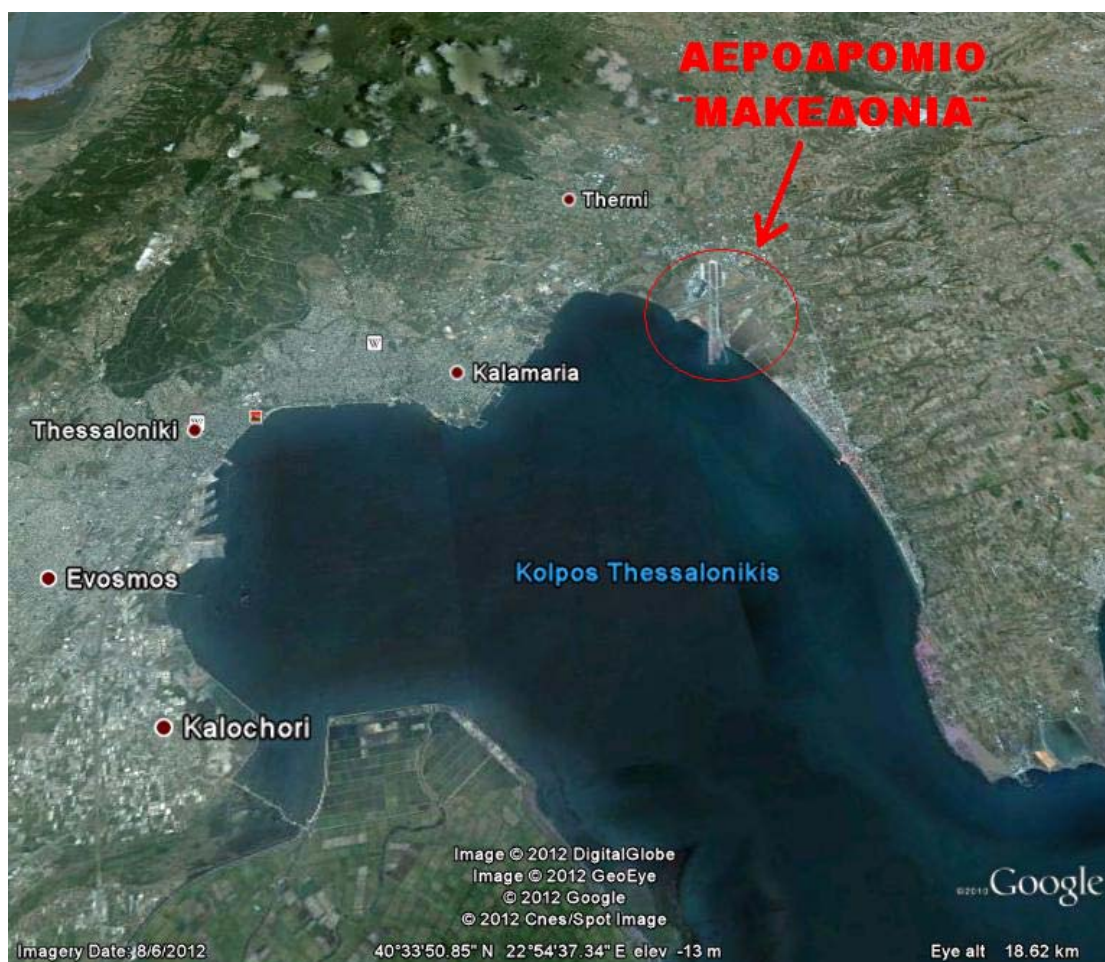
Διεξήχθη στην περιοχή Νέο Ρύσιο - Αεροδρόμιο του Νομού Θεσσαλονίκης γεωφυσική έρευνα με αντικείμενο την γεωλογική - υδρογεωλογική μελέτη της περιοχής, τον καθορισμό της δομής του υποβάθρου με τη χρήση Ηλεκτρικών Μεθόδων Γεωφυσικής Διασκόπησης και τον εντοπισμό υφαλμυρότητας στα πιθανά υδροφόρα στρώματα.

Η συνήθης πρακτική στην γεωφυσική έρευνα που προγραμματίζεται για τέτοιας φύσης υδρογεωλογική έρευνα αναφέρεται στην πραγματοποίηση γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων σύμφωνα με τη διάταξη ηλεκτροδίων Schlumberger. Η μέθοδος αυτή δίνει μονοδιάστατες πληροφορίες σε σχέση με την στρωματογραφία της υπό έρευνα περιοχής στα σημεία στα οποία λαμβάνονται οι μετρήσεις.

Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται η μέθοδος της γεωηλεκτρικής τομογραφίας, η οποία δίνει την δυνατότητα λήψης μετρήσεων σε δύο διαστάσεις και κατασκευής δισδιάστατων γεωηλεκτρικών μοντέλων σε μία περιοχή. Τα δεδομένα αναλύονται με τη χρήση του ειδικού λογισμικού DC_2DPro Version 1.01 από όπου παράχθηκαν οι δισδιάστατες τομογραφίες της περιοχής, καθώς και οι τομογραφίες με την τεχνική της αντιστροφής για εξαγωγή συμπερασμάτων που αντιπροσωπεύουν την πραγματική εικόνα του υπεδάφους.

3 Γεωγραφία περιοχής

Η εξεταζόμενη περιοχή βρίσκεται στο Αεροδρόμιο "Μακεδονία", νότια του Νέου Ρύσιου του Νομού Θεσσαλονίκης. Η περιοχή απέχει από την πόλη της Θεσσαλονίκης 1,4 Km ενώ βρίσκεται σε απόσταση 4 km από το Νέο Ρύσιο.



Εικόνα 1. Δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης και των τριγύρω περιοχών. Ο κόκκινος κύκλος δείχνει την περιοχή του αεροδρομίου σε σχέση με την συμπρωτεύουσα.(Google earth 2012)

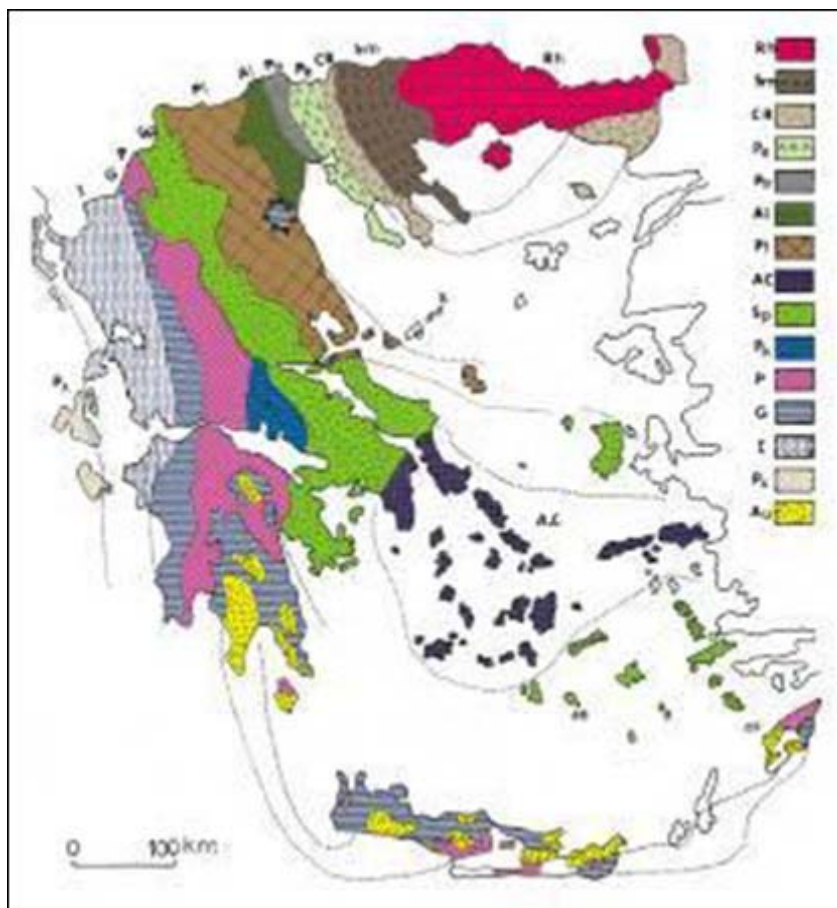


Εικόνα 2. Δορυφορική εικόνα της εξεταζόμενης περιοχής. Στην εικόνα απεικονίζεται το αεροδρόμιο "Μακεδονία" σε σχέση με το Νέο Ρύσιο. Τα κόκκινα βέλη δείχνουν ακριβώς την διάταξη των γεωηλεκτρικών μετρήσεων στο έδαφος της περιοχής που χρησιμοποιήθηκαν για την βυθοσκόπηση. (Google earth 2012)

Το υψόμετρο είναι 0m καθώς πρόκειται για περιοχή παραθαλάσσια και πεδινή, η οποία περιβάλλεται από την θάλασσα του κόλπου της Θεσσαλονίκης και τριγύρω υπάρχει λοφώδης τοπογραφία με πολύ μικρές κλίσεις.

4 Γεωλογία της περιοχής

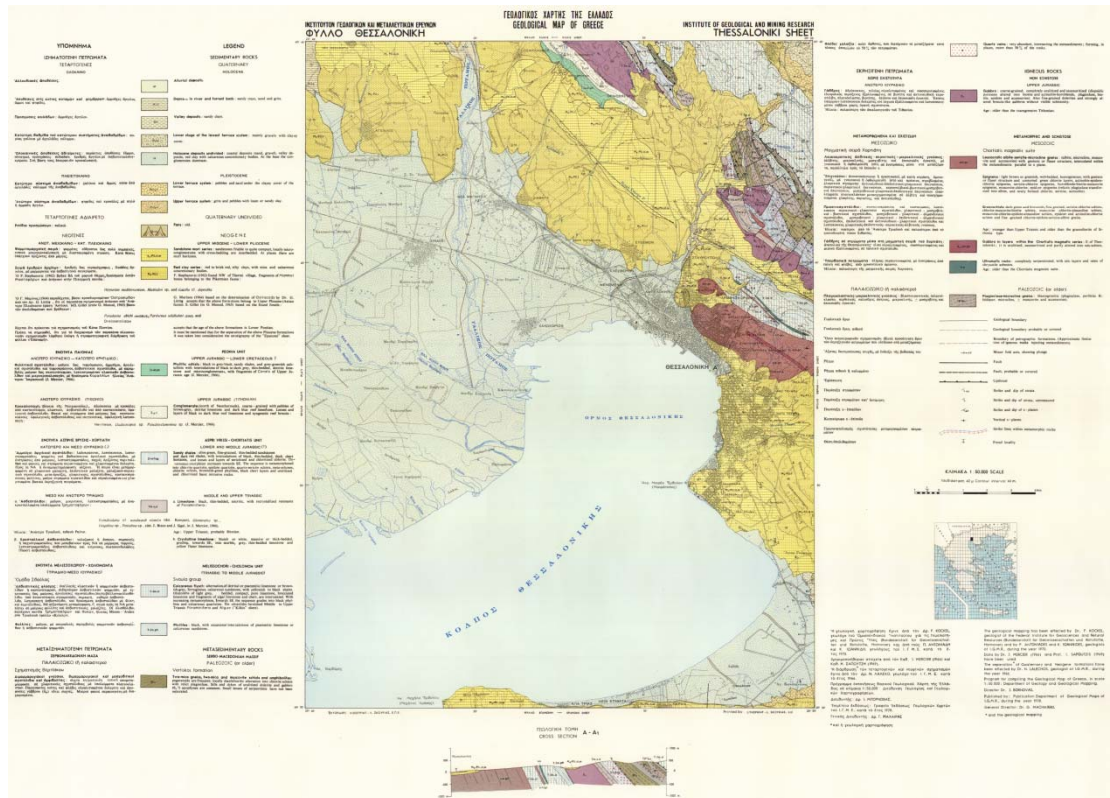
Γεωλογικά η ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης εντάσσεται στη γεωτεκτονική ζώνη της Περιροδοπικής. Σημαντικές όμως, είναι και οι εμφανίσεις ομάδων πετρωμάτων που εντάσσονται στην ενότητα της Παιονίας της γεωτεκτονικής ζώνης του Αξιού. Σημειώνεται ότι η διάκριση του ορίου μεταξύ της Περιροδοπικής και της ενότητας της Παιονίας είναι δύσκολη και είναι πιθανό ότι Παιονία και Περιροδοπική αποτελούν ουσιαστικά την ίδια ζώνη και γι αυτό δεν μπορεί να βρεθεί όριο στα πετρώματα της Μουντράκης Δ., (1985).



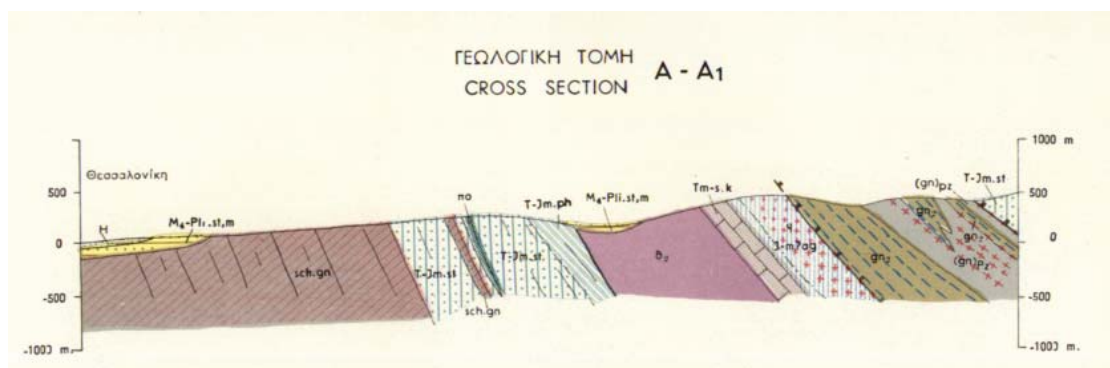
Εικόνα 3: Γεωτεκτονικές ζώνες του ελλαδικού χώρου **Βιβλιογραφία**

Η κύρια παλαιογεωγραφική και γεωτεκτονική σημασία της Περιροδοπικής ζώνης είναι ότι αποτελούσε στη διάρκεια του Ιουρασικού την ηπειρωτική κατωφέρεια της ηπειρωτικής ενδοχώρας και κυρίως της Σερβομακεδονικής μάζας, η οποία κατέληγε σε μια βαθιά αύλακα περιφερειακή της ηπειρωτικής μάζας. Αυτή η βαθιά αύλακα ήταν η θέση βύθισης, subduction, της ωκεάνιας περιοχής της ζώνης του Αξιού κάτω από την Ευρωπαϊκή ηπειρωτική πλάκα το περιθώριο της οποίας αποτελούσαν οι μάζες της Ροδόπης και της Σερβομακεδονικής. Η ζώνη της Παιονίας αντιπροσωπεύει τμήμα της παλιάς ωκεάνιας περιοχής της Τηθύος. Οι δύο ζώνες αναδύθηκαν οριστικά κατά την τελική ορογενετική διεργασία των Ελληνίδων που τοποθετείται στο τέλος Κρητιδικού αρχές Παλαιοκαίνου.

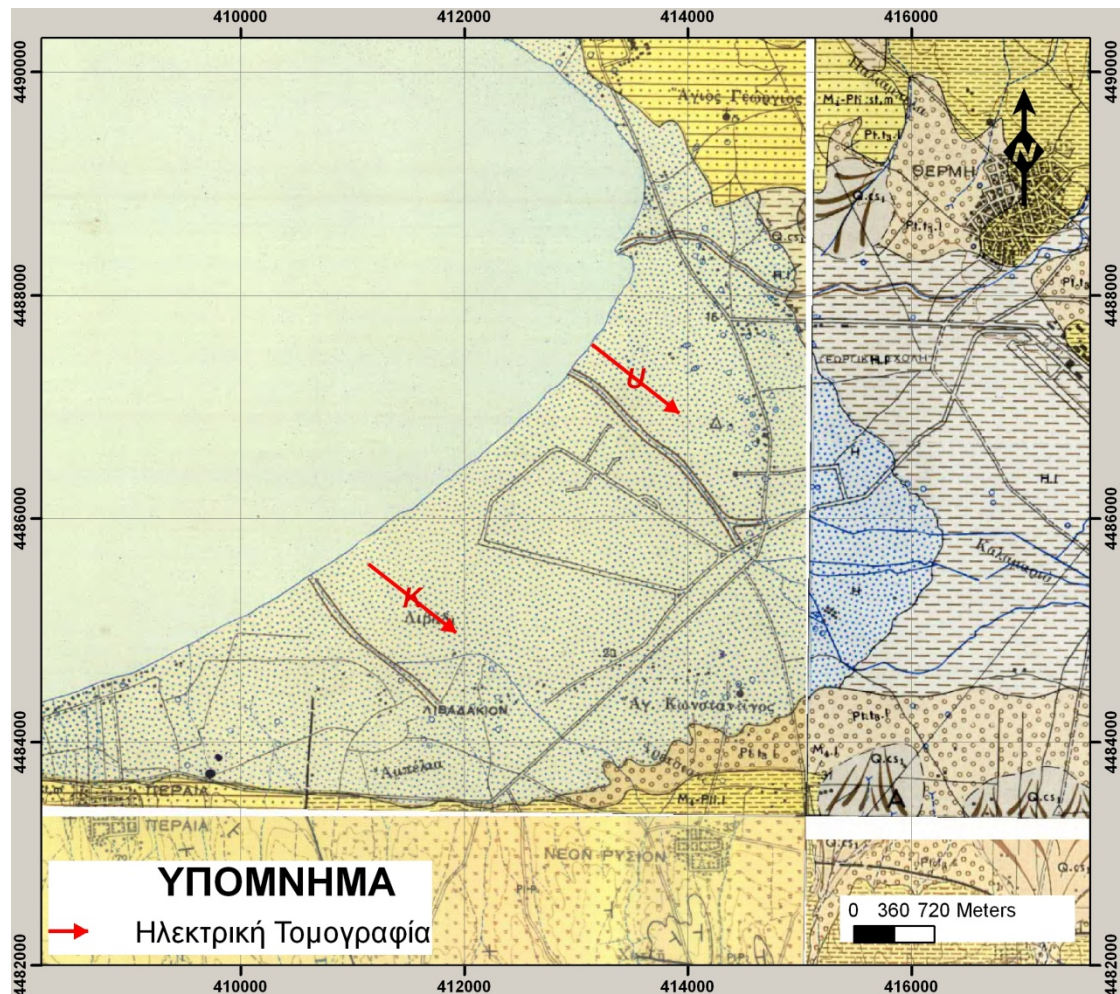
Το γεγονός ότι η περιοχή βρίσκεται μεταξύ των ζωνών Παιονίας και Περιροδοπικής δικαιολογεί την εμφάνιση πετρωμάτων διαφορετικής προέλευσης. Συγκεκριμένα εντοπίζονται ιζηματογενή και μεταιζηματογενή πετρώματα των τριών ενότητων της Περιροδοπικής ζώνης καθώς και της υποζώνης της Παιονίας, τμήματα από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής ζώνης και Τριτογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Βάσει της επιτόπιας παρατήρησης, καθώς και των δεδομένων του γεωλογικού χάρτη (Εκδοση ΙΓΜΕ, φύλλο ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 1:50.000) στην περιοχή έρευνας συναντάται ο σχηματισμός των ολόκαινων παράκτιων αποθέσεων Μουντράκης Δ., (1985).



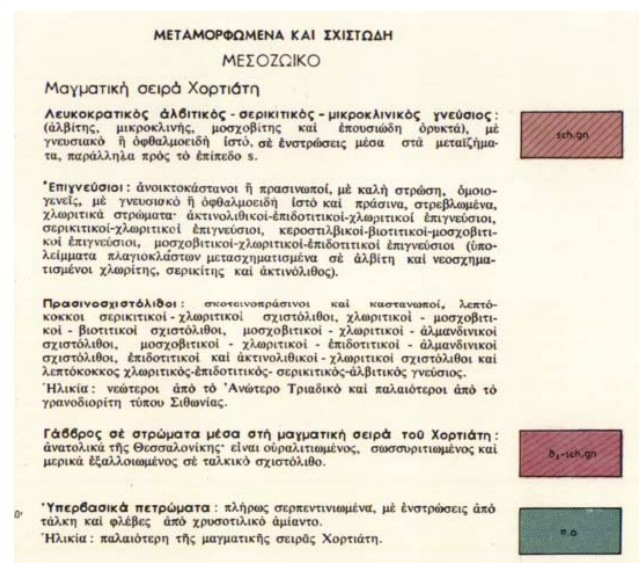
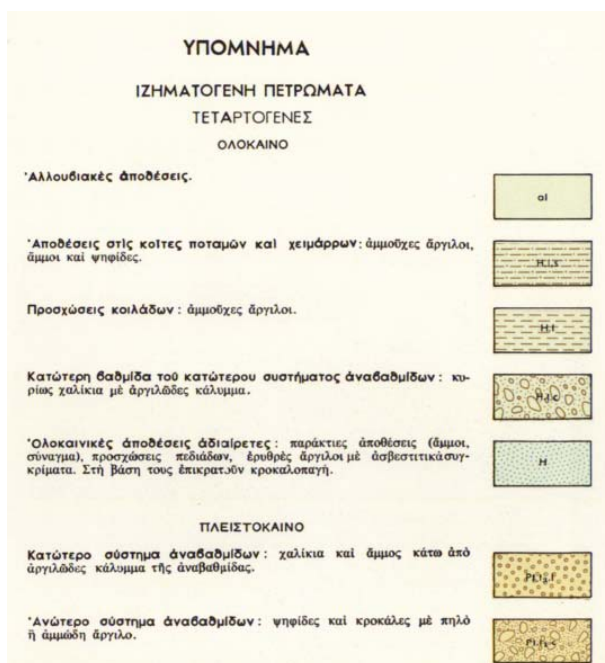
Εικόνα 4. Γεωλογικός χάρτης, φύλλο ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (Ι.Γ.Μ.Ε. 1978)



Εικόνα 5. Γεωλογική τομή χάρτη και διάταξη γεωλογικών σχηματισμών (Ι.Γ.Μ.Ε. 1978)



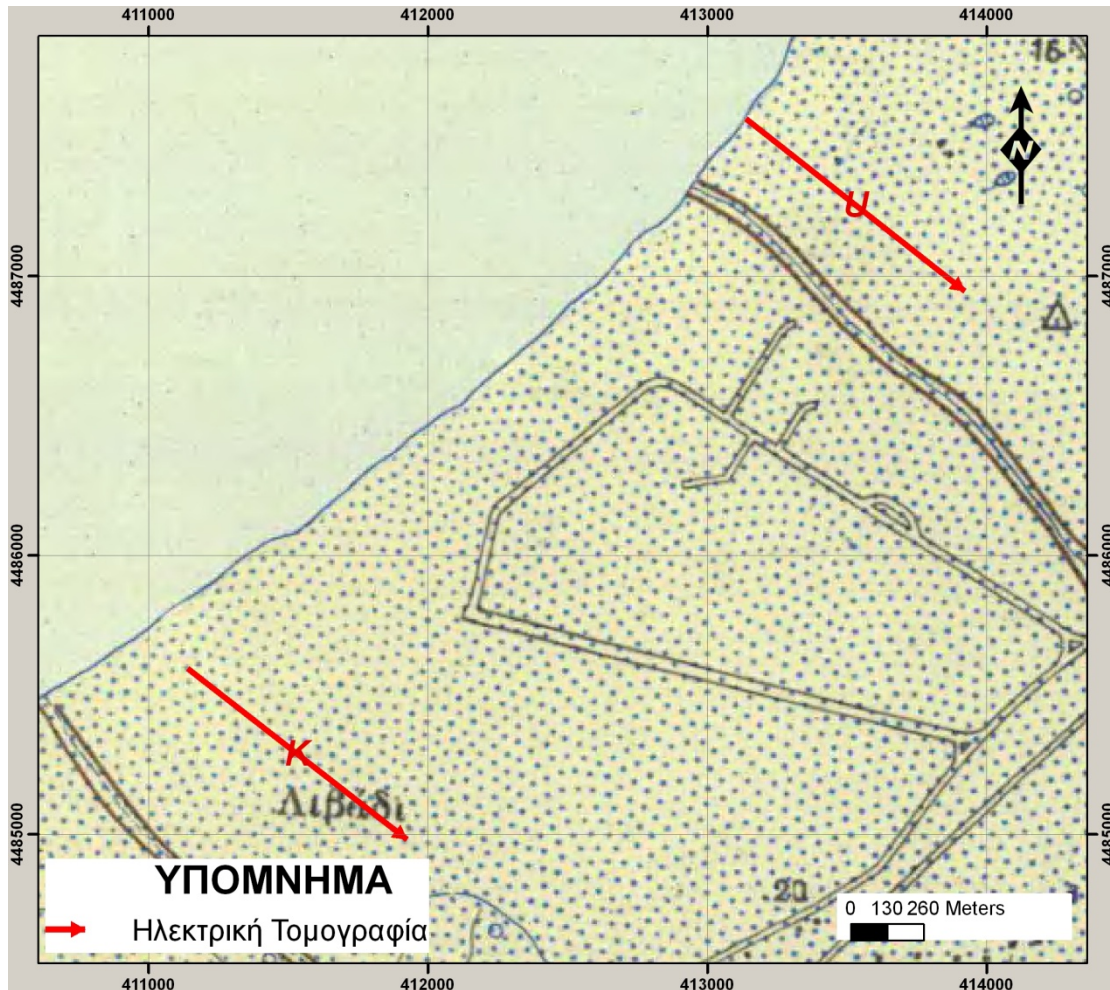
Εικόνα 6. Περιοχή μελέτης στον γεωλογικό χάρτη όπου πραγματοποιήθηκε η γεωφυσική έρευνα. (Ι.Γ.Μ.Ε. 1978)



Εικόνα 7. Υπόμνημα

Εικ

Ο σχηματισμός των ολοκαινικών παράκτιων αποθέσεων αποτελείται από ερυθρές αργίλους που στην βάση τους επικρατούν κροκαλοπαγή. Το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο αποτελείται από την μαγματική σειρά Χορτιάτη Μεσοζωικής ηλικίας της Περιοδοπικής Ζώνης. (όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.) Εντοπίζονται λευκοκρατικοί (αλβιτικοί - σερικιτικοί - μικροκλινοί) γνεύσιοι, επιγνεύσιοι καστανοί έως ανοικτοπράσινοι, λεπτόκοκκοι πρασινοσχιστόλιθοι.



Εικόνα 8. Περιοχή μελέτης. (Ι.Γ.Μ.Ε. 1978)

5 Γεωφυσική έρευνα

5.1 Μέθοδος ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα για τον καθορισμό της κατανομής των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του υπεδάφους. Η ειδική αντίσταση του εδάφους υπολογίζεται με την εισαγωγή ρεύματος στο υπέδαφος και μετρήσεις τις διαφορές δυναμικού που πραγματοποιούνται στην επιφάνεια Παπαζάχος Κ.Β.(1986). Απαιτούνται δυο ζεύγη ηλεκτροδίων, τα ηλεκτρόδια ρεύματος και τα ηλεκτρόδια δυναμικού.

Η αντίσταση, για ομογενές έδαφος, δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_A = K \cdot \frac{U}{I}$$

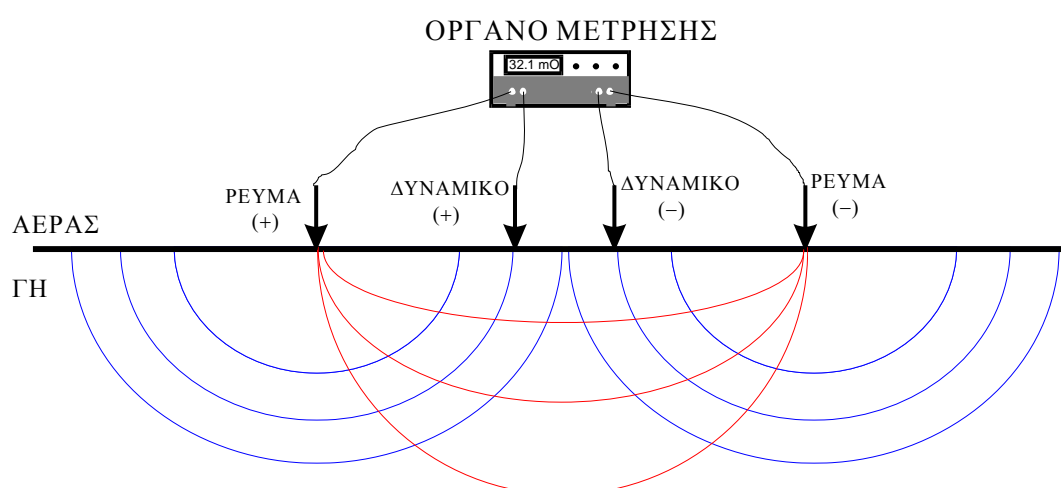
όπου I , η ένταση του ρεύματος και U , η μετρούμενη διαφορά δυναμικού. Το K αποτελεί γεωμετρικό παράγοντα που εξαρτάται από τη διάταξη των ηλεκτροδίων και δίνεται από τη σχέση:

$$K = \frac{1}{2\pi} \cdot \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]$$

Ένα ομογενές έδαφος δεν ανταποκρίνεται σε ρεαλιστικές γεωλογικές συνθήκες Παπαζάχος Κ.Β.(1986). Δεν μπορεί δηλαδή, να υπολογιστεί η πραγματική ειδική αντίσταση των πετρωμάτων εύκολα, με απλή εφαρμογή της σχέσης:

$$\rho_A = K \cdot \frac{U}{I}$$

Εισάγεται έτσι η έννοια της φαινόμενης ειδικής αντίστασης, ρ_a . Η φαινόμενη αντίσταση εξαρτάται επιπλέον, εκτός από τις ηλεκτρικές ιδιότητες του υπεδάφους, και από την διάταξη των ηλεκτροδίων. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται ανήκουν στην κατηγορία του τεχνητά παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο διαβιβάζεται στο έδαφος δια μέσου ενός ζεύγους ηλεκτροδίων (εικόνα 9).



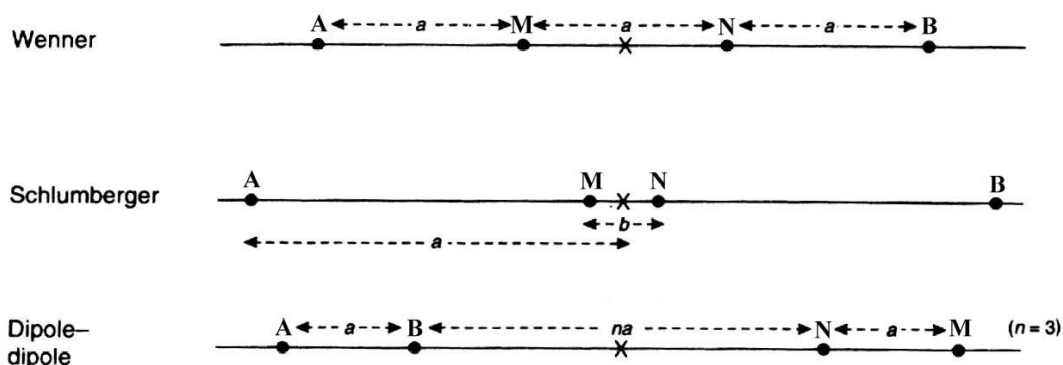
Εικόνα 9. Η βασική διάταξη γεωηλεκτρικών μετρήσεων.(Βαργεμέζης Γεώργιος 2008)

Σε ένα δεύτερο ζεύγος ηλεκτροδίων μετράται η πτώση τάσης που προκαλείται. Η ωμική αντίσταση που υπολογίζεται σαν το πηλίκο των δύο αυτών μεγεθών χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η οποία με τη σειρά της μας επιτρέπει τον υπολογισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Βαργεμέζης Γεώργιος 2008). Στην παρούσα έρευνα αξιοποιούνται οι διατάξεις τομογραφίας που μας επιτρέπουν τη μελέτη της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε δύο διαστάσεις (οριζόντια και κατακόρυφη). Ο όρος ηλεκτρική τομογραφία περιγράφει γενικά έναν τύπο μετρήσεων της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός δύο “παραδοσιακών” τεχνικών μέτρησης: της οδευσης

(ΜΕΛΕΤΗΤΗΣ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ) και της βυθοσκόπησης **(ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ)**. Ειδικότερα, η ηλεκτρική τομογραφία μπορεί να περιγραφεί ως μία σειρά από συνεχόμενες ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις κατά μήκος της γραμμής έρευνας ή ως μία σειρά από οδεύσεις πάνω από την ίδια περιοχή με διαδοχικά αυξανόμενες αποστάσεις ηλεκτροδίων. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η λήψη πληροφορίας τόσο για την κατακόρυφη όσο και για την οριζόντια μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στην περιοχή μελέτης και έτσι λαμβάνεται μία πληρέστερη “εικόνα” του υπεδάφους. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής τομογραφίας είναι ότι σε σύγκριση με τις άλλες τεχνικές λαμβάνεται ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μετρήσεων (άρα και χρήσιμης πληροφορίας). Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η διακριτική ικανότητα και ανάλυση της γεωηλεκτρικής μεθόδου.

5.2 Διατάξεις ηλεκτροδίων

Υπάρχουν πολλές διατάξεις ηλεκτροδίων που εφαρμόζονται σήμερα στο ύπαιθρο, ανάλογα με την περιοχή, το μέγεθος των δομών που αναμένονται, τον εξοπλισμό και την εξοικείωση του προσωπικού. Στο σχήμα (Εικόνα 10.) απεικονίζονται οι πιο συνηθισμένοι τύποι. Οι διατάξεις τεσσάρων ηλεκτροδίων είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές επειδή ελαχιστοποιούν τα αποτελέσματα της αντίστασης επαφής, δηλαδή της ηλεκτρικής αντίστασης στην θέση του ηλεκτροδίου.

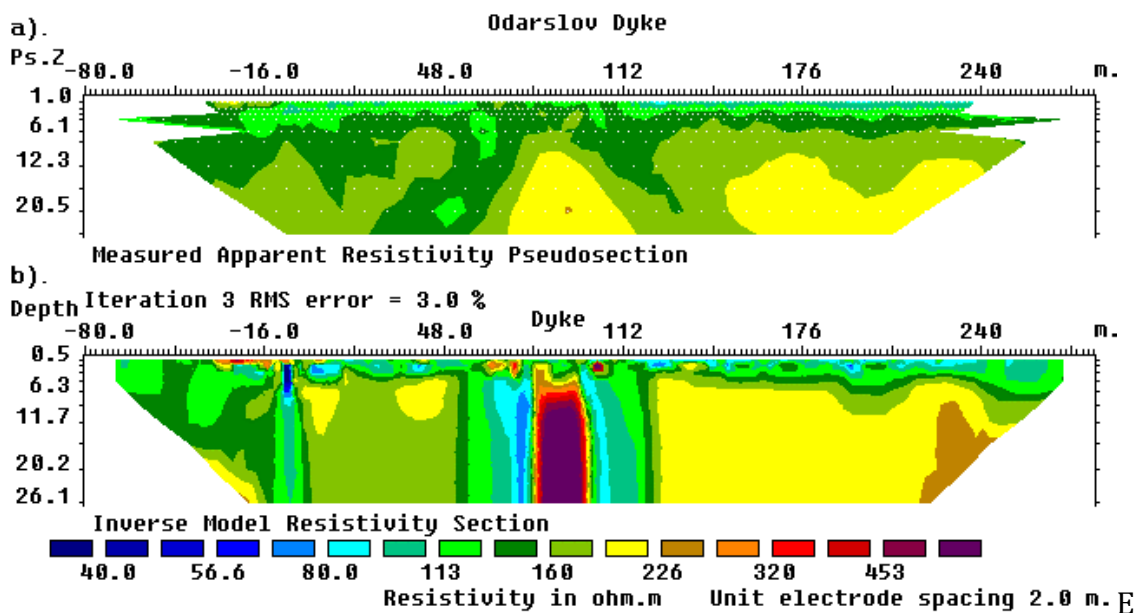


Εικόνα 10. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι διάταξης τεσσάρων ηλεκτροδίων ΜΙΧΑΛΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ(2007)

Τα κυριότερα κριτήρια για την επιλογή της κατάλληλης διάταξης είναι το επιθυμητό (μέγιστο) βάθος διασκόπησης, καθώς και η διακριτική της ικανότητα.

5.3 Επεξεργασία δεδομένων (αντιστροφή)

Δεδομένου ότι οι μετρήσεις της ηλεκτρικής τομογραφίας αποτελούν μια «παραμορφωμένη» εικόνα των πραγματικών ηλεκτρικών αντιστάσεων του υπεδάφους είναι απαραίτητο να υποστούν μια ειδική, πολύπλοκη μαθηματικά και υπολογιστικά, διαδικασία η οποία ονομάζεται **αντιστροφή**. Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μοντέλο αντίστασης που να δίνει μετρήσεις που είναι όσο το δυνατό πιο κοντά στις πραγματικές (Εικόνα 11). Προϋπόθεση είναι η ύπαρξη μεθόδου επίλυσης του ευθέως προβλήματος, δηλαδή, να βρεθούν οι μετρήσεις δοθείσης της κατανομής της αντίστασης. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό, στην παρούσα μελέτη, είναι ένας αλγόριθμος πεπερασμένων στοιχείων ο οποίος λύνει τις διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος σε ανομοιογενή γη.



Εικόνα 11. Το παράδειγμα της δολεριτικής φλέβας στο Odarslov της Σουηδίας. (Dr. M.H.Loke. Copyright (1997, 1999))

Στην εικόνα 11 "a)" παρατηρούμε, βάση των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που μετρήθηκε με την διάταξη Wenner, την τομή που δείχνει την εικόνα μιας δολεριτικής φλέβας στην περιοχή Odarslov της Σουηδίας που περιβάλλεται από σχιστόλιθους (ενώ η σειρά Wenner είναι πιθανόν να μην είναι η καλύτερη σειρά για να χαρτογραφήσει μια τέτοια κάθετη δομή, όπως αυτή της φλέβας αυτή εξακολουθεί να φαίνεται καθαρά στο μοντέλο). Στην εικόνα 11 "b)" είναι το ίδιο μοντέλο με την αντιστροφή αυτού του συνόλου δεδομένων. Η ισχυρή αναστροφή (Claerbout και Muir 1973) που έγινε με το πρόγραμμα DC_2DPro επεξεργασίας δεδομένων (το οποίο χρησιμοποιήσαμε και εμείς) στην

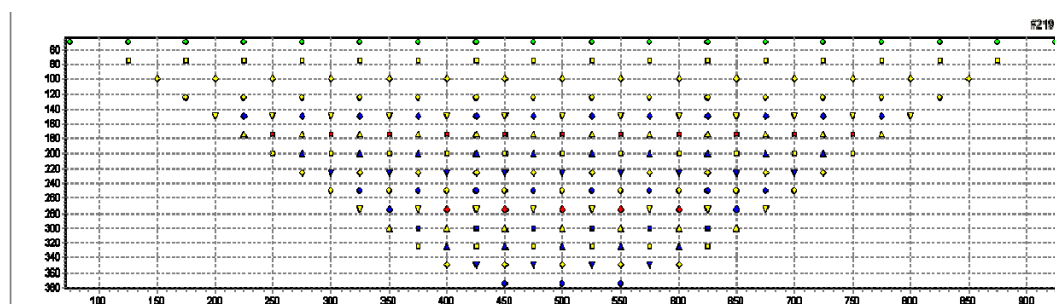
επιλογή RES2DINV χρησιμοποιήθηκε η οποία οξύνει το όριο μεταξύ δολερίτη (περιοχή έντονα υψηλής ειδ. Αντίστασης) και περιβαλλόντων πετρωμάτων. Έτσι έχουμε το προκύπτον μοντέλο αντιστροφής (Dr. M.H.Loke. Copyright (1997, 1999)).

5.4 Επιλογή παραμέτρων μετρήσεων

Ο σχεδιασμός των παραμέτρων των γεωηλεκτρικών τομογραφιών καθορίστηκε από τις διαστάσεις του στόχου και από το επιθυμητό βάθος έρευνας. Συγκεκριμένα η διακριτική ικανότητα μπορεί να είναι τουλάχιστον των 50 μέτρων με δεδομένο ότι το βάθος διασκόπησης πρέπει να φτάνει τα 200 μέτρα. Βάσει των απαιτήσεων αυτών οι παράμετροι αποφασίστηκαν να είναι:

- **Πλήθος ηλεκτροδίων = 21**
- **Απόσταση ηλεκτροδίων (α) = 50 μέτρα**
- **Αποστάσεις ηλεκτροδίων ρεύματος – δίπολων μέτρησης δυναμικού** ποίκιλαν σε ($n \cdot \alpha$) ($2n \cdot \alpha$) και ($3n \cdot \alpha$) με τη **μέγιστη τιμή του n ίση με 8**.

Οι παραπάνω παράμετροι έχουν θεωρητικό αποτέλεσμα την κατασκευή μιας τραπεζοειδούς τομής γεωηλεκτρικών αντιστάσεων αποτελούμενη από 220 περίπου μετρήσεις, με συνολικό επιφανειακό μήκος 1000 μέτρα και μέγιστο βάθος διασκόπησης περίπου 200 μέτρα.



Εικόνα 12. Θεωρητική κατανομή των μετρήσεων βάσει του σχεδιασμού που επιλέχθηκε. (Βαργεμέζης Γεώργιος 2008)

Για την εκτέλεση των γεωφυσικών μετρήσεων υπαίθρου χρησιμοποιήθηκε το όργανο SYSCALPRO της εταιρείας IRIS INSTRUMENTS. Πρόκειται για πλήρως αυτοματοποιημένο όργανο μέτρησης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σχεδιασμένο για έρευνα με μεθόδους συνεχούς ρεύματος. Ο αυτοματοποιημένος έλεγχος της αντιστάθμισης του φυσικού δυναμικού, η ψηφιακή υπέρθεση για την ενίσχυση του σήματος και η

προβολή του σφάλματος κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων που προσφέρονται από το συγκεκριμένο όργανο που εξασφαλίζουν μετρήσεις υψηλής ακρίβειας. Το συγκεκριμένο όργανο έχει μέγιστη τάση πηγής 800V και επιτυγχάνει τη δημιουργία ρεύματος με ένταση που τυπικά φτάνει τα 1000mA, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις επιτρέπει και σημαντικά μεγαλύτερες εντάσεις ηλεκτρικού ρεύματος (έως 2500mA). Το όργανο μέτρησης χρησιμοποιεί τόσο εσωτερικές όσο και εξωτερικές μπαταρίες και παρουσιάζεται στην Εικόνα 13. Το όργανο μέτρησης έχει εσωτερικό πολυπλέκτη 48 ηλεκτροδίων ενώ έχει τη δυνατότητα της σύγχρονης μέτρησης μέχρι και 10 ταυτόχρονων διαφορών δυναμικού γεγονός που επέτρεψε τη λήψη του σημαντικού αριθμού μετρήσεων σε κάθε τομογραφία.

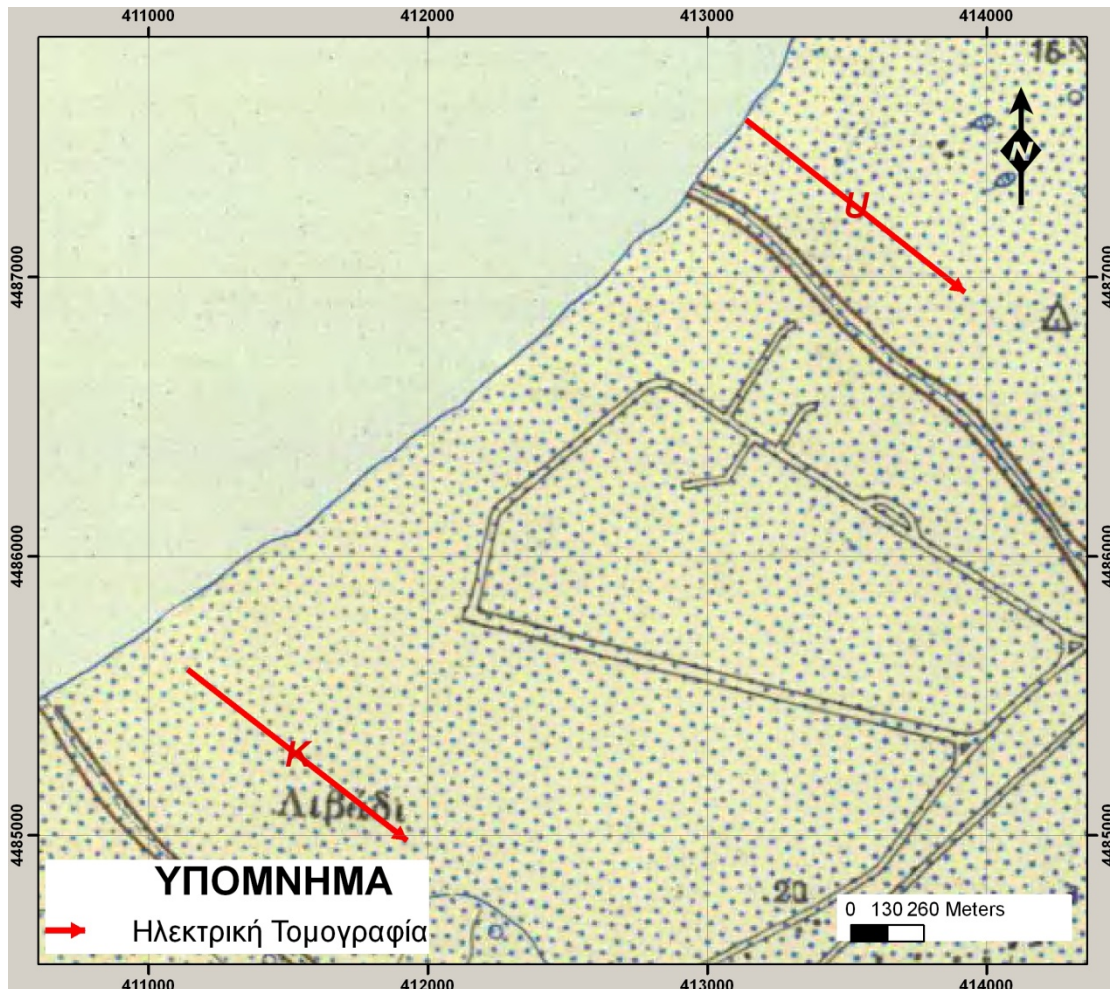


Εικόνα 13. Όργανο λήψης ηλεκτρικών μετρήσεων SYSCAL-PRO της εταιρείας IRIS INSTRUMENTS μαζί με τον πρόσθετο εξοπλισμό και τη συνδεσμολογία που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της μέτρησης.

Για τη λήψη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλα πολυκαναλικά καλώδια καθώς και ειδικά ηλεκτρόδια ατσαλιού (υψηλής μηχανικής αντοχής και υψηλής αγωγιμότητας).

6 Εφαρμογή γεωφυσικής έρευνας

Στην περιοχή έρευνας πραγματοποιήθηκαν δύο γεωηλεκτρικές τομογραφίες K, U διευθύνσεως BBA-NNA μήκους 1000m η καθεμιά.



Εικόνα 14. Θέσεις τομογραφιών K και U.

Στο παραπάνω σχήμα οι θέσεις των τομογραφιών παρουσιάζονται σαν κόκκινα βέλη για να δείχνουν και την διεύθυνση ανάπτυξης των ηλεκτροδίων από το σημείο 0 (αρχή) ως τα 1000 μέτρα (τέλος). Σε κάθε τομογραφία χρησιμοποιήθηκαν 21 ηλεκτρόδια τα οποία απείχαν μεταξύ τους κατά 50 μέτρα. Έτσι έγινε δυνατή η επίτευξη της έρευνας στο βάθος των 200 μέτρων περίπου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα στοιχεία των μετρήσεων υπαίθρου, τα αποτελέσματα της ερμηνείας των και τέλος τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από τις βυθοσκοπήσεις.

Οι τομογραφίες μετρήθηκαν σύμφωνα με δύο δυνατές διατάξεις ηλεκτροδίων, την διάταξη Dipole-Dipole και αυτής της Wenner-Schlumberger. Ύστερα από την εφαρμογή των δύο διατάξεων στην περιοχή μελέτης και την επεξεργασία των δεδομένων μέσα από το πρόγραμμα της αντιστροφής καταλήξαμε στην επιλογή και τη χρήση για τη διεξαγωγή των

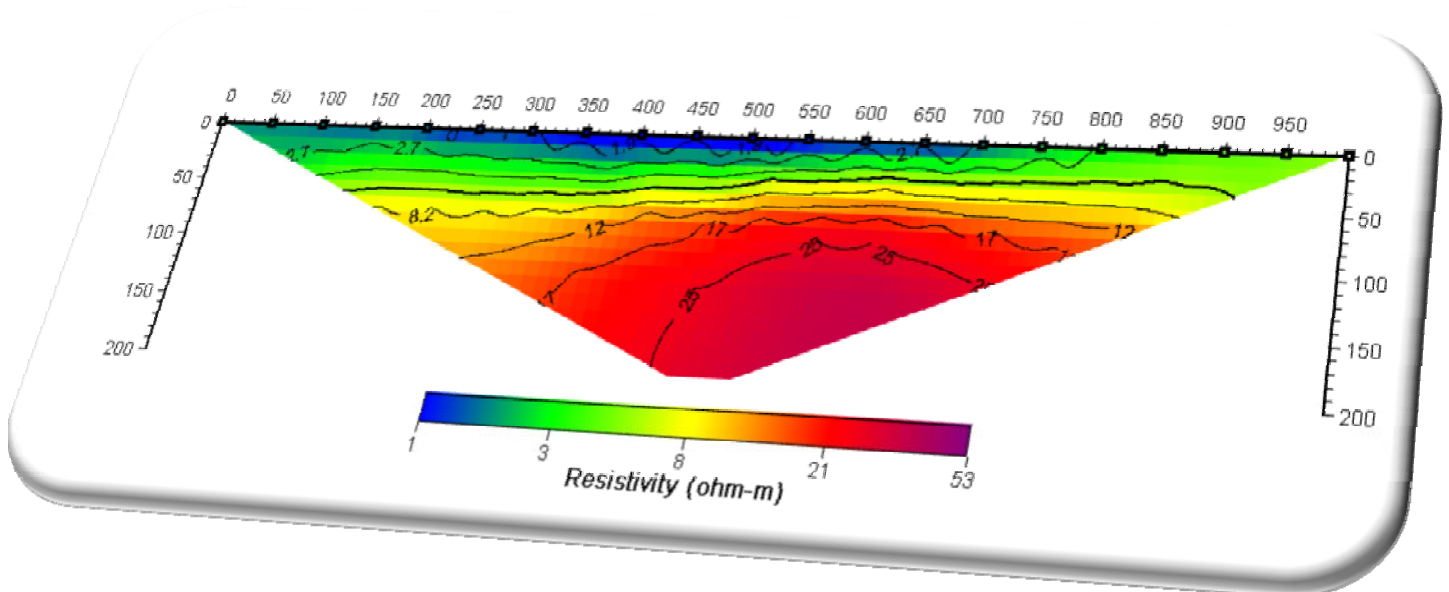
αποτελεσμάτων του πιο αντιπροσωπευτικού τρόπου απεικόνισης του υπεδάφους.

Τα μοντέλα που προέκυψαν και με τις δύο διατάξεις σε γενικές γραμμές παρουσίαζαν αντίστοιχα αποτελέσματα και η επιλογή ανάμεσα τους βασίστηκε κυρίως στο εύρος της τομογραφίας που παρείχαν οι μετρήσεις.

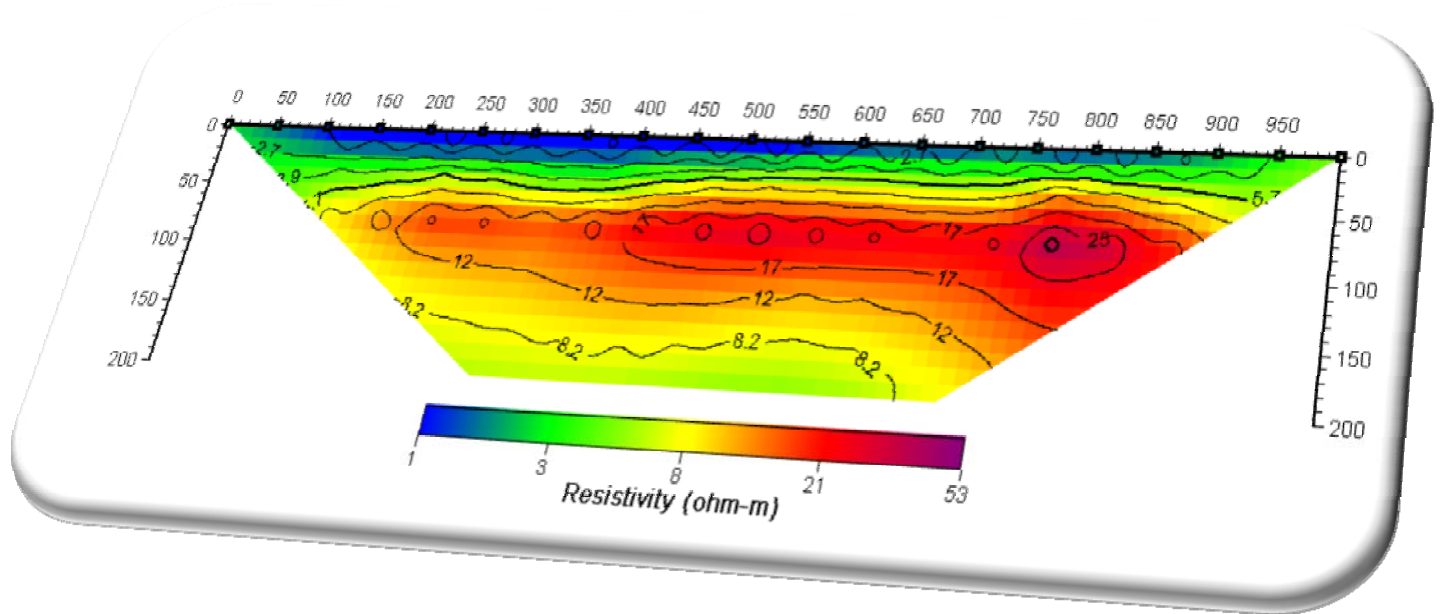
Στην περιοχή μελέτης φαίνεται πως λειτουργεί καλύτερα η διάταξη διπόλου-διπόλου, καθώς με τον τρόπο που μετριέται δίνει μεγαλύτερο εύρος στην τομογραφία και παρουσιάζει μία πιο πλήρη εικόνα του υπεδάφους. Η διάταξη Wenner – Schlumberger παρουσιάζει πλευρική αδυναμία, γεγονός που οφείλεται στο μεγαλύτερο αριθμό δεδομένων που αφαιρούνται κατά τη διαδικασία της αντιστροφής.

Παρακάτω φαίνονται οι εικόνες που δίνουν οι δύο διατάξεις για την ίδια τομογραφία.

- **Έτσι για την τομογραφία Κ έχουμε τα εξής αποτελέσματα:**



Εικόνα14. Απεικόνιση της Κ γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους με τη διάταξη Wenner – Schlumberger.



Εικόνα15. Απεικόνιση της Κ γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους με τη διάταξη Dipole - Dipole.

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται το γεωηλεκτρικό μοντέλο που προκύπτει στην τομογραφία Κ. Το βόρειο τμήμα της τομογραφίας βρίσκεται προς την θάλασσα του Θερμαϊκού ενώ το νότιο προς το εσωτερικό της πεδιάδας. Η χρωματική κλίμακα αποδίδει τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με μικρότερες τις μπλε (περίπου 1-2,5 Ohm-m) και μεγαλύτερες τις κόκκινες-μωβ (περίπου 20-50 Ohm-m).

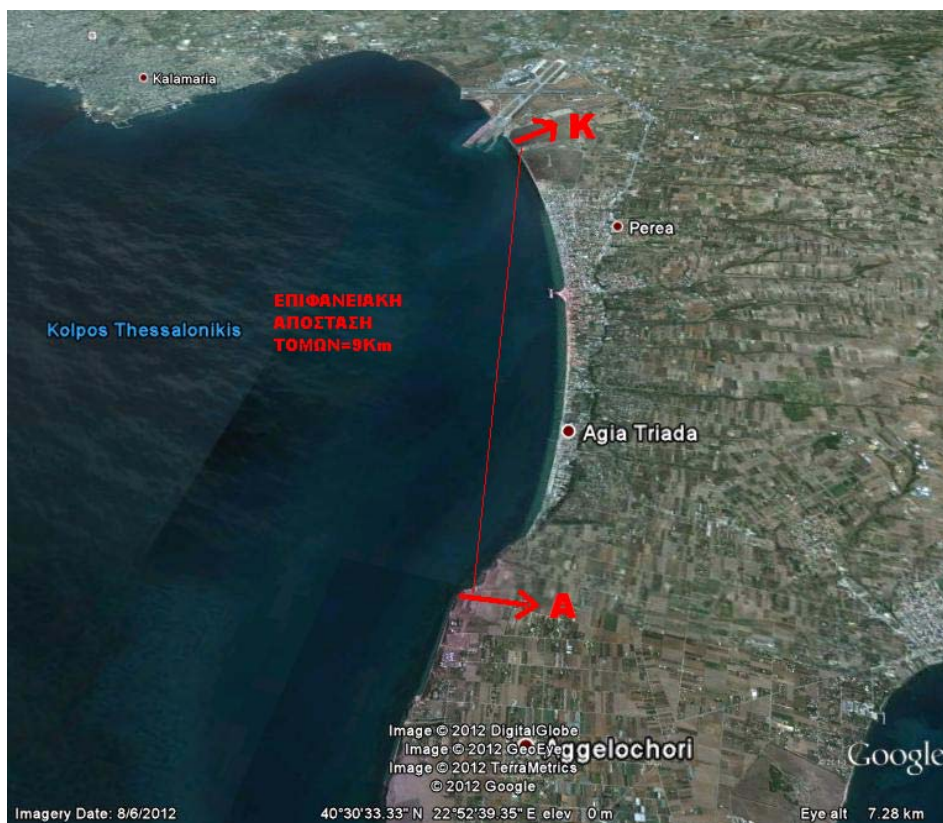
Είναι φανερό πως η διάταξη δίπολου - δίπολου μας βοηθάει να βγάλουμε πιο ακριβή συμπεράσματα, αφού προσφέρει μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα του υπεδάφους. Η διάταξη δίπολου-δίπολου γενικά δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε περιοχές που υφίστανται πλευρικές μεταβολές, ενώ η Wenner - Schlumberger δίνει ακριβέστερα αποτελέσματα σε περιοχές όπου έχουμε οριζόντια στρωματογραφία με τις κύριες μεταβολές της αντίστασης μόνο με το βάθος.

Η τομή Κ πραγματοποιήθηκε ΝΝΔ του αεροδρομίου 'Μακεδονία'. Το υψόμετρο της περιοχής είναι μηδενικό και αυτό σημαίνει ότι η εικόνα που μας δίνει η ηλεκτρική τομογραφία φτάνει περίπου 150-200m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Βάσει των τιμών των ηλεκτρικών αντιστάσεων των πετρωμάτων παρατηρούμε ότι για βάθος 0 - 20 m εμφανίζεται στην περιοχή χαμηλής ειδικής αντίστασης με τιμές 1 - 3 Ohm-m (μπλε στην χρωματική κλίμακα). Αυτή η περιοχή αντιστοιχεί όπως έδειξε και η υπαίθρια παρατήρηση στις ολοκαινικές προσχώσεις πεδιάδας πληρωμένες με θαλάσσιο νερό (μπλε χρώμα στην εικόνα) όπου παρουσιάζεται η κορεσμένη ζώνη υφαλμύρισης η οποία ελαττώνει έντονα την ειδική ηλεκτρική αντίσταση των προσχώσεων. Το νερό της θάλασσας

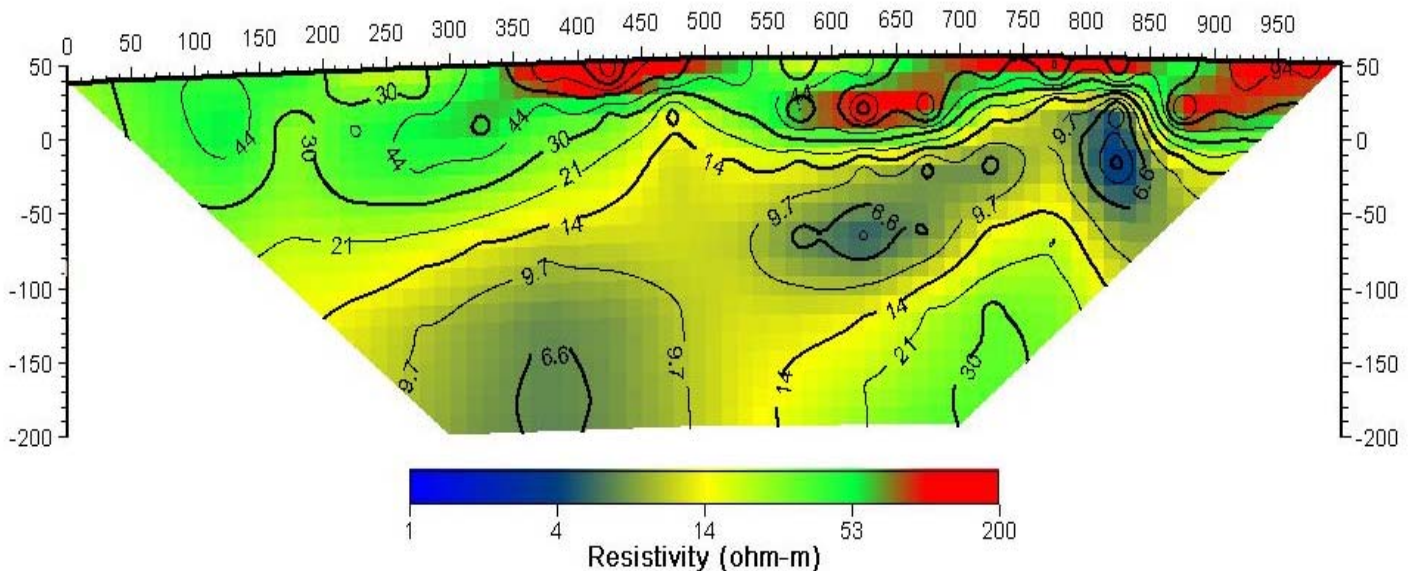
είναι πλούσιο σε μεταλλικά στοιχεία όπως Na, Mg, Ca, Cl, K, Al, η παρουσία των οποίων διευκολύνει την ροή του ηλεκτρισμού μέσα από το αυτό με αποτέλεσμα να μειώνουν στο ελάχιστο την αντίσταση του σχηματισμού. Από τα 20-50m βάθους περίπου οι αντιστάσεις είναι υψηλότερες, από 3-8 Ohm.m και μπορεί να αντιπροσωπεύουν τις νεογενείς μάργες ή πιθανώς την σειρά των ερυθρών αργίλων μιας και υπάρχει πλευρική μετάβαση μεταξύ αυτών όπως έδειξε η υπαίθρια παρατήρηση. Ο σχηματισμός είναι ελαφρά πιο συνεκτικός από τον υπερκείμενο όπως αναμέναμε βάση της αρχής της επαλληλίας των στρωμάτων. Αντιπροσωπεύεται στην τομογραφία (εικόνα 15) από τα πρασινα έως κίτρινα χρώματα που πιθανόν να έχει γλυκό νερό αναμεμειγμένο με το νερό της θάλασσας (αλμυρό) λόγω της υπόγειας διείσδυσης αυτής στην ενδοχώρα που οφείλεται σε διαφόρους παράγοντες. Δηλαδή έχουμε την ζώνη υφαλμύρισης. Αξιοσημείωτο είναι το νότιο τμήμα της τομογραφίας και σε σχετικά μεγάλο βάθος (στα -160 μέχρι -200 μέτρα απόλυτο υψόμετρο) συναντώνται οι ίδιοι σχηματισμοί στους οποίους με βάση την μικρή τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (~3 Ohm-m) να αντιπροσωπεύονται πιθανά και αυτοί από κάποιο υδροπερατό σχηματισμό και γιατί όχι για μια υπόγεια ακόρεστη ζώνη υφαλμύρισης (ενώ αναμενόταν ουσιαστικά η παρουσία κάποιου πιο συνεκτικού σχηματισμού λόγω επαλληλίας οριζοντίων γεωλογικών στρωμάτων σε πεδινή περιοχή). Τέλος στην περιοχή μελέτης εμφανίζεται ζώνη πιο υψηλών αντιστάσεων με τιμές από 20-40 Ohm που αντιπροσωπεύεται από τα κόκκινα έως ιώδη χρώματα σε βάθη 50-150m . Η ζώνη αυτή αντιστοιχεί στα αργιλοαμμώδη ιζήματα πληρωμένα με γλυκό νερό που υπάρχουν στην περιοχή. Ζώνες με τιμές από 8-20 Ohm-m στη τομογραφία αντιπροσωπεύουν αργιλικά και αργιλοαμμώδη με πιθανή υφαλμύριση.

Την τελευταία υπόθεση που ισχυριστήκαμε για πιθανή υπόγεια υφαλμυροτητα στα υπόγεια στρώματα απέδειξε στη διπλωματική εργασία της η Ολυμπία Κεσόγλου (2011) «Εντοπισμός υφάλμυρων υδροφόρων στρωμάτων με τη χρήση γεωφυσικών μεθόδων: Εφαρμογή στην περιοχή Αγγελοχωρίου Θεσσαλονίκης» (εικόνα 16). Όπως φαίνεται στην εικόνα οι τομές που πραγματοποιήθηκαν απέχουν μεταξύ τους 9Km πράγμα που μας δείχνει το πόσο κοντά βρίσκονται τόσο γεωγραφικά όσο και υδρογεωλογικά.

Ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων με το πρόγραμμα της αντιστροφής (DC_Pro) προέκυψαν οι παρακάτω γεωηλεκτρικές εικόνες του υπεδάφους με τη διάταξη δίπολου-δίπολου:



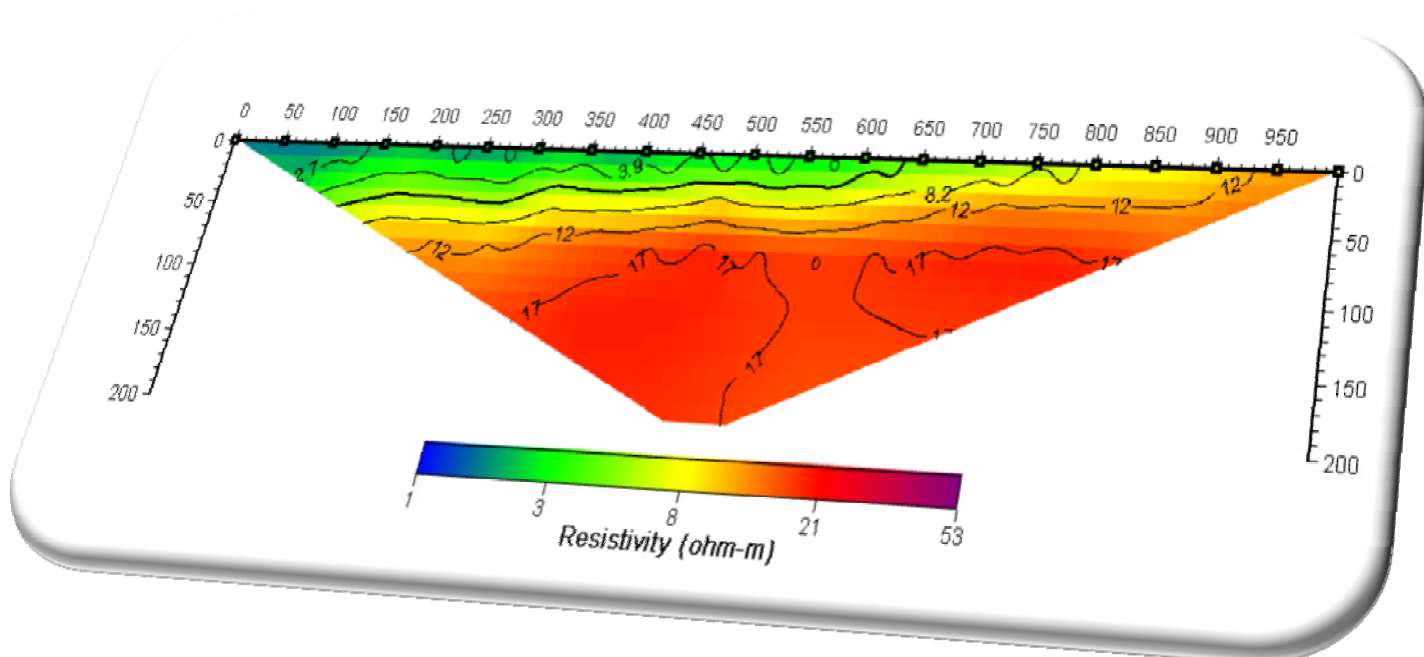
Εικόνα 16. Χάρτης που παρουσιάζει τις 2 τομές A, K με κόκκινα βέλη που πραγματοποιήθηκαν από τους Μυλωνά Δημήτριο (K) και Ολυμπία Κεσόγλου (A), υπό την επίβλεψη του επίκουρου καθηγητή Βαργεμέζη Γεώργιου στην περιοχή Αεροδρόμιο – Αγγελοχώρι Ν. Θεσσαλονίκης, καθώς και την μεταξύ τους επιφανειακή απόσταση.(Google earth 2012)



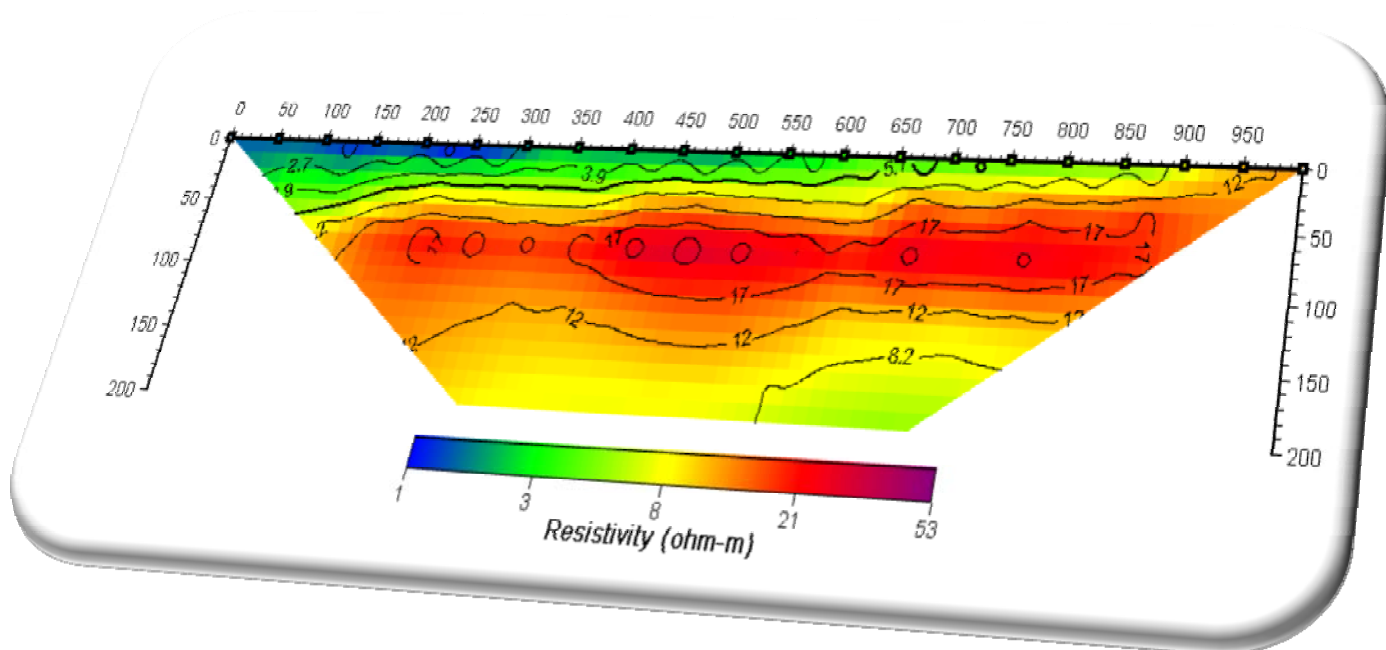
Εικόνα17. Απεικόνιση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των σχηματισμών του υπεδάφους της τομογραφίας A και η θέση της στην περιοχή μελέτης (τομογραφία με κόκκινο χρώμα). (Βαργεμέζης Γεώργιος, Κεσόγλου Ολυμπία (2011))

Μέχρι τα 70m βάθους περίπου οι αντιστάσεις είναι χαμηλότερες, γύρω στα 30 Ohm.m και μπορεί να αντιπροσωπεύουν σχηματισμούς με χαλίκια και κροκάλες (με γλυκό νερό), ενώ από εκεί και κάτω η αντίσταση πέφτει ακόμα περισσότερο και είναι ενδεικτική για αργιλοαμμώδη στρώματα με πιθανή παρουσία υφαλμύρισης. Στην εικόνα της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης οι περιοχές αυτές αντιστοιχούν στα κίτρινα-μπλε χρώματα. (Βαργεμέζης Γεώργιος, Κεσόγλου Ολυμπία (2011)) (εικ. 17)

- Για την τομογραφία U έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Εικόνα18. Απεικόνιση της U γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους με τη διάταξη Wenner – Schlumberger.



Εικόνα19. Απεικόνιση της **U** γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους με τη διάταξη Dipole - Dipole.

Η τομή K πραγματοποιήθηκε NNA του αεροδρομίου 'Μακεδονία'. Η εικόνα που μας δίνει η ηλεκτρική τομογραφία φτάνει περίπου 150-200m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Για τα πρώτα 10m βάθος εντοπίζουμε ακριβώς την ίδια περιοχή χαμηλών αντιστάσεων (1-3 Ohm-m) που αντιστοιχεί στον γεωλογικό σχηματισμό των ολοκαινικών προσχώσεων πεδιάδας πληρωμένων με θαλάσσιο νερό(μπλε χρώματα). Εδώ εντοπίζεται και η περιοχή που έχει υφαλμυρότητα στο νερό(πράσινα χρώματα) από τα πρώτα μέτρα της όδευσης μέχρι τα 50m βάθος ενώ στο κάτω δεξιά τμήμα της τομογραφίας(δηλ για 150 - 200 m) η ειδική ηλεκτρική αντίσταση μειώνεται ξανά και παίρνει τιμές γύρω στα 3-8 Ohm-m που πιθανόν να αντιστοιχεί στον υδροφορέα υφάλμυρου νερού που αναφέραμε πριν.

. Για τα υπόλοιπα 50-150m βάθος συναντάμε την περιοχή με πιο υψηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, πιθανόν να είναι οι νεογενείς μάργες ή σειρά των ερυθρών αργίλων (κόκκινο) οι οποίες είναι πληρωμένες με γλυκιά υδροφορία.

7. Συμπεράσματα

Με στόχο την μελέτη της περιοχής αεροδρομίου “Μακεδονία” στα πλαίσια της έρευνας για την μελέτη της δομής του υπεδάφους και την υποψία υφαλμυρότητας προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα.

Η έρευνα έδειξε μετά από δύο γεωηλεκτρικές τομογραφίες μήκους 1000 μέτρων (συνολικό μήκος 2000 μέτρα) σύμφωνα με τις διατάξεις Dipole-Dipole και Wenner-Schlumberger περιοχή με υφάλμυρη ζώνη γύρω από τον γλυκό υδροφορέα που εντοπίστηκε στα 80m βάθος ενώ η ζώνη υφαλμύρισης που τον περιβάλλει βρίσκεται από το πάνω μέρος στα 50m βάθος ενώ από το κάτω μέρος τον περιβάλλει στα 180 - 200m. Φαινόμενα υφαλμύρισης υπάρχουν και στην τριγύρω περιοχή δυτικά των δυο τομών που μελετήσαμε και μάλιστα πολύ πιο έντονα σε βάθη από 70-200m(Βαργεμέζης Γεώργιος, Κεσόγλου Ολυμπία (2011)).

Λόγω διείσδυσης της θάλασσας, καθώς η ποιότητα των υπόγειων υδάτων σε όλη την παράκτια έκταση, σύμφωνα με την εργαστηριακή ανάλυση, χαρακτηρίζεται ως υποβαθμισμένη και τα νερά θεωρούνται ακατάλληλα για πόση και άρδευση. (Βαργεμέζης Γεώργιος, Κεσόγλου Ολυμπία (2011))

Βιβλιογραφία

- Παπαζάχος Κ.Β.(1986) : Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική, 1986, Εκδόσεις Ζήτη Θεσσαλονίκη
- -Μουντράκης Δ., (1985): Γεωλογία Της Ελλάδας , University Studio Press, Θεσσαλονίκη
- -Μουντράκης Δ., (1988): Συνοπτική Γεωτεκτονική Εξέλιξη του Ευρύτερου Ελληνικού Χώρου, Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ.
- Dr. M.H.Loke. Copyright (1997, 1999) : *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies (A practical guide to 2-D and 3-D surveys)*

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- www.usgs.gov
- www.maps.google.com
- Τσάπανος Θεόδωρος (2011): ΕΡΕΥΝΑ ΕΠΙ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΔΙΑΡΡΗΞΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ Δ. Δ. ΜΑΥΡΟΠΗΓΗΣ ΤΟΥ Δ. ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑΣ, Ερευνητικό πρόγραμμα, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
- ΜΙΧΑΛΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ(2007): ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ “Συμβολή της ηλεκτρικής τομογραφίας στην παρακολούθηση της υφαλμύρισης πριν, κατά την διάρκεια και μετά την δοκιμή άντλησης στον οικισμό Φαράγγι Αποκορώνου” Χανιά
- Βαργεμέζης Γεώργιος Κεσόγλου Ολυμπία (2011): «Εντοπισμός υφάλμυρων υδροφόρων στρωμάτων με τη χρήση γεωφυσικών μεθόδων: Εφαρμογή στην περιοχή Αγγελοχωρίου Θεσσαλονίκης», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμ. Γεωλογίας.