

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Καπαγιαννίδης Ανδρέας ΑΕΜ 4667	Τοσουνίδης Παντελεήμων ΑΕΜ 4206
-----------------------------------	------------------------------------

ΘΕΜΑ :

**ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ
ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑΣ ΣΕ
ΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ Δ.Δ. ΠΕΡΑΙΑΣ – ΛΑΚΚΙΑΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΒΑΡΓΕΜΕΖΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Θεσσαλονίκη, Απρίλιος 2016

Περιεχόμενα:

- 1 Εισαγωγή
- 2 Γεωγραφία περιοχής
- 3 Γεωλογία της περιοχής
- 4 Γεωφυσική έρευνα
 - 4.1 Μέθοδος ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης
 - 4.2 Διατάξεις ηλεκτροδίων
 - 4.3 Επεξεργασία δεδομένων (αντιστροφή)
 - 4.4 Επιλογή παραμέτρων μετρήσεων
- 5 Εφαρμογή γεωφυσικής έρευνας
 - 5.1 Περιοχή Περαιάς
 - 5.2 Περιοχή Λακκιάς
- 6 Συμπεράσματα
- 7 Βιβλιογραφία

1 Εισαγωγή

Η παρούσα διατριβή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας των φοιτητών του τμήματος Γεωλογίας, Τοσουνίδη Παντελεήμονα και Καπαγιαννίδη Ανδρέα υπό την εποπτεία του Αναπληρωτή Καθηγητή του τομέα Γεωφυσικής κ. Γεωργίου Βαργεμέζη.

Διεξήχθη γεωφυσική έρευνα στις περιοχές της Περαίας και της Λακκιάς του Νομού Θεσσαλονίκης με αντικείμενο την γεωλογική – υδρογεωλογική μελέτη των περιοχών, τον καθορισμό της δομής του υποβάθρου με τη χρήση Ηλεκτρικών Μεθόδων Γεωφυσικής Διασκόπησης και τον εντοπισμό πιθανής υφαλμύρισης στα πιθανά υδροφόρα στρώματα. Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο ύπαιθρο έλαβαν χώρα στις 2 Απριλίου του 2013.

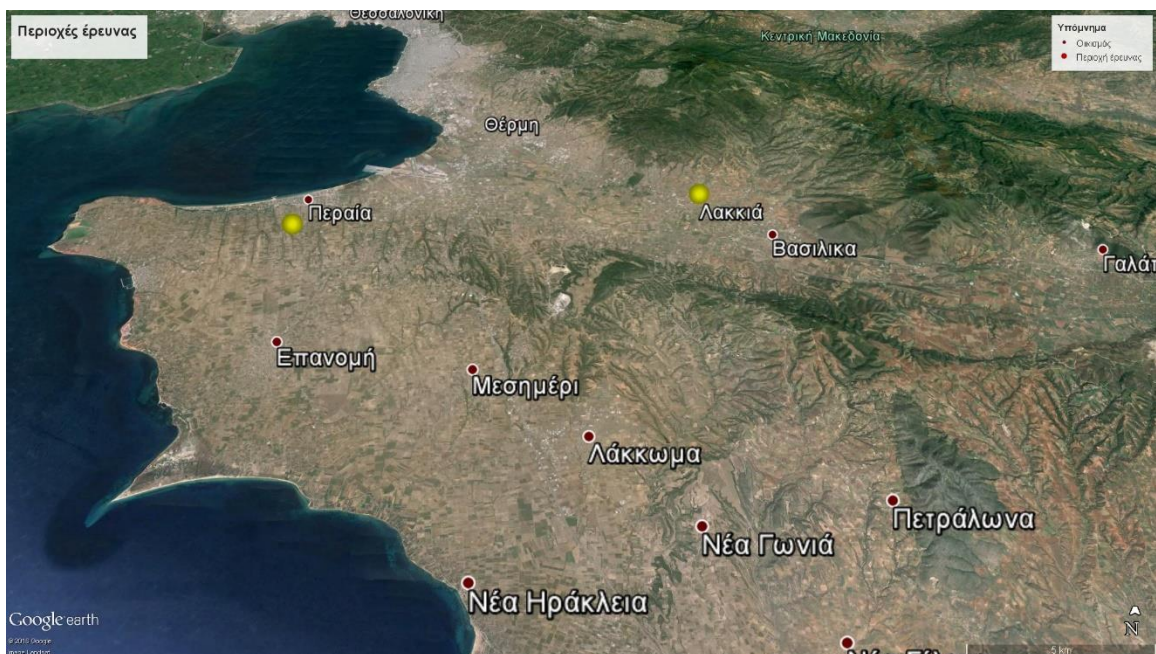
Η περισσότερη συνήθης πρακτική στην γεωφυσική έρευνα που προγραμματιζόταν για τέτοιας φύσης υδρογεωλογική έρευνα αναφέρεται στην πραγματοποίηση γεωηλεκτρικών βυθοσκοπήσεων σύμφωνα με τη διάταξη ηλεκτροδίων Schlumberger. Η μέθοδος αυτή δίνει μονοδιάστατες πληροφορίες σε σχέση με την στρωματογραφία της 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.

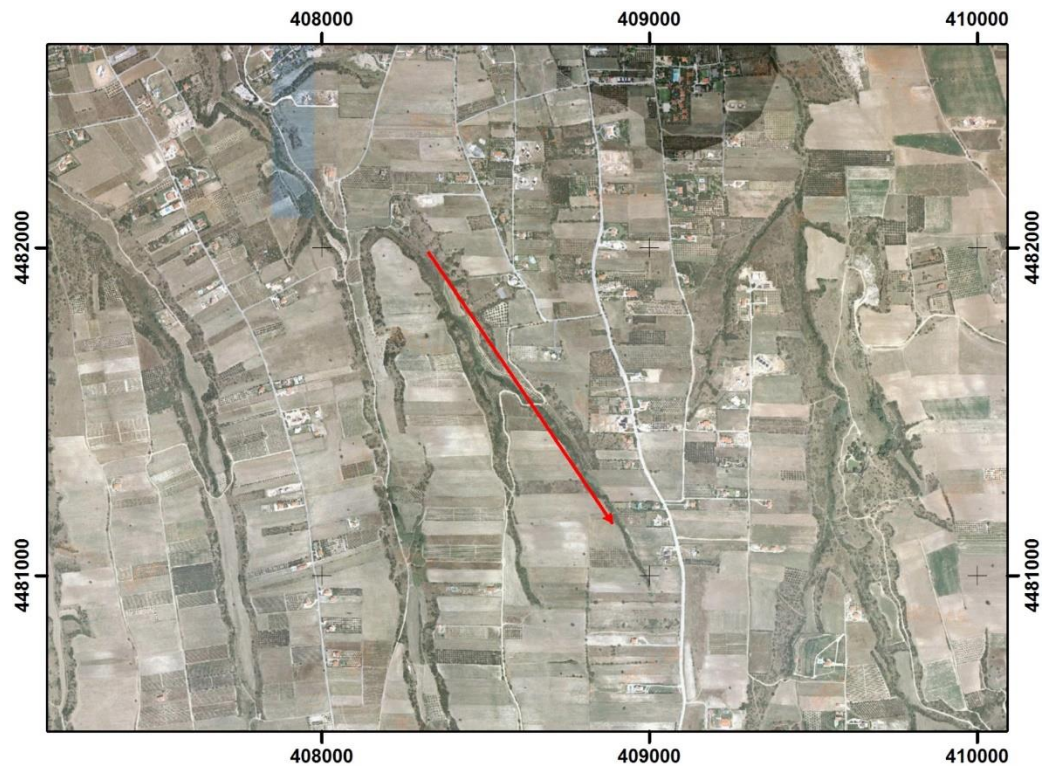
2 Γεωγραφική θέση περιοχής

Η 1^η εξεταζόμενη περιοχή βρίσκεται νότια της ευρύτερης περιοχής της Περαιάς του Νομού Θεσσαλονίκης. Η περιοχή απέχει από την πόλη της Θεσσαλονίκης 7,9 Km ενώ βρίσκεται σε απόσταση 2,8 km από την πόλη της Περαιάς.

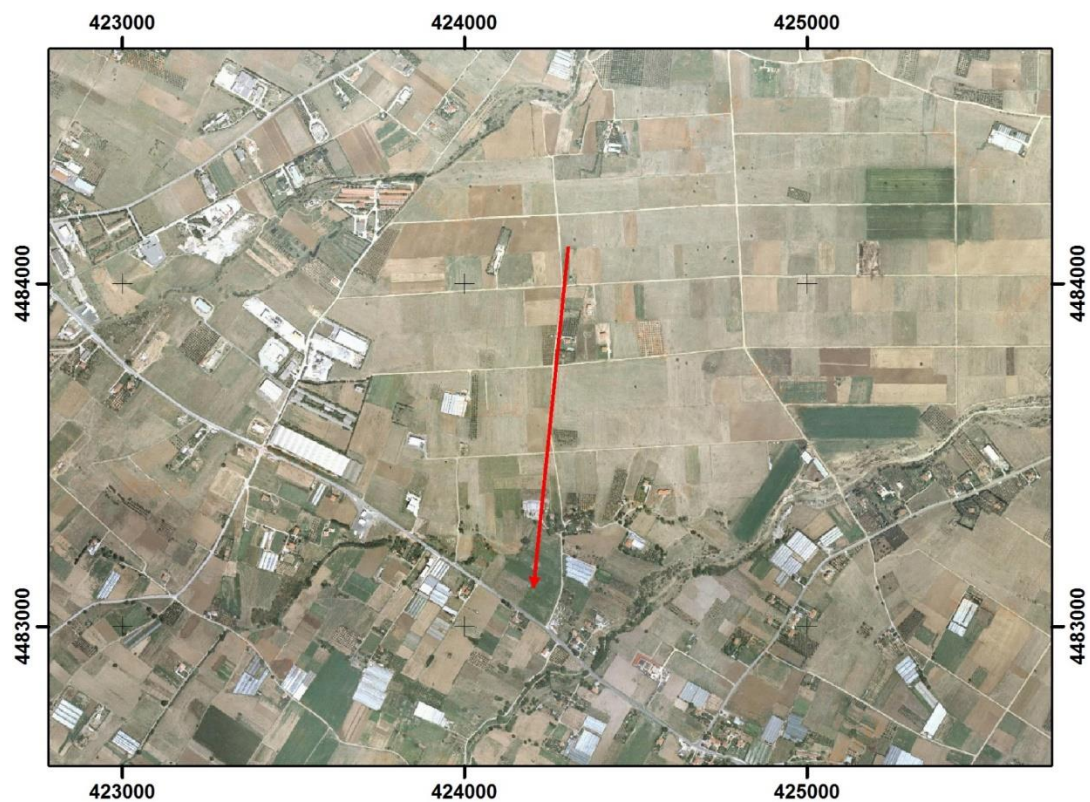
Η 2^η εξεταζόμενη περιοχή βρίσκεται στην θέση Λακκιά, βόρεια των Βασιλικών του Νομού Θεσσαλονίκης. Η περιοχή απέχει από την πόλη της Θεσσαλονίκης 7,3 Km ενώ βρίσκεται σε απόσταση 2,5 km από τον οικισμό της Λακκιάς.



Σχήμα 2.1. Δορυφορική εικόνα των εξεταζόμενων περιοχών. Με κίτρινο χρώμα είναι σημειωμένες οι ακριβείς θέσεις που πραγματοποιήθηκαν οι γεωηλεκτρικές μετρήσεις στο έδαφος των δυο εξεταζόμενων περιοχών (Google Earth 2016)



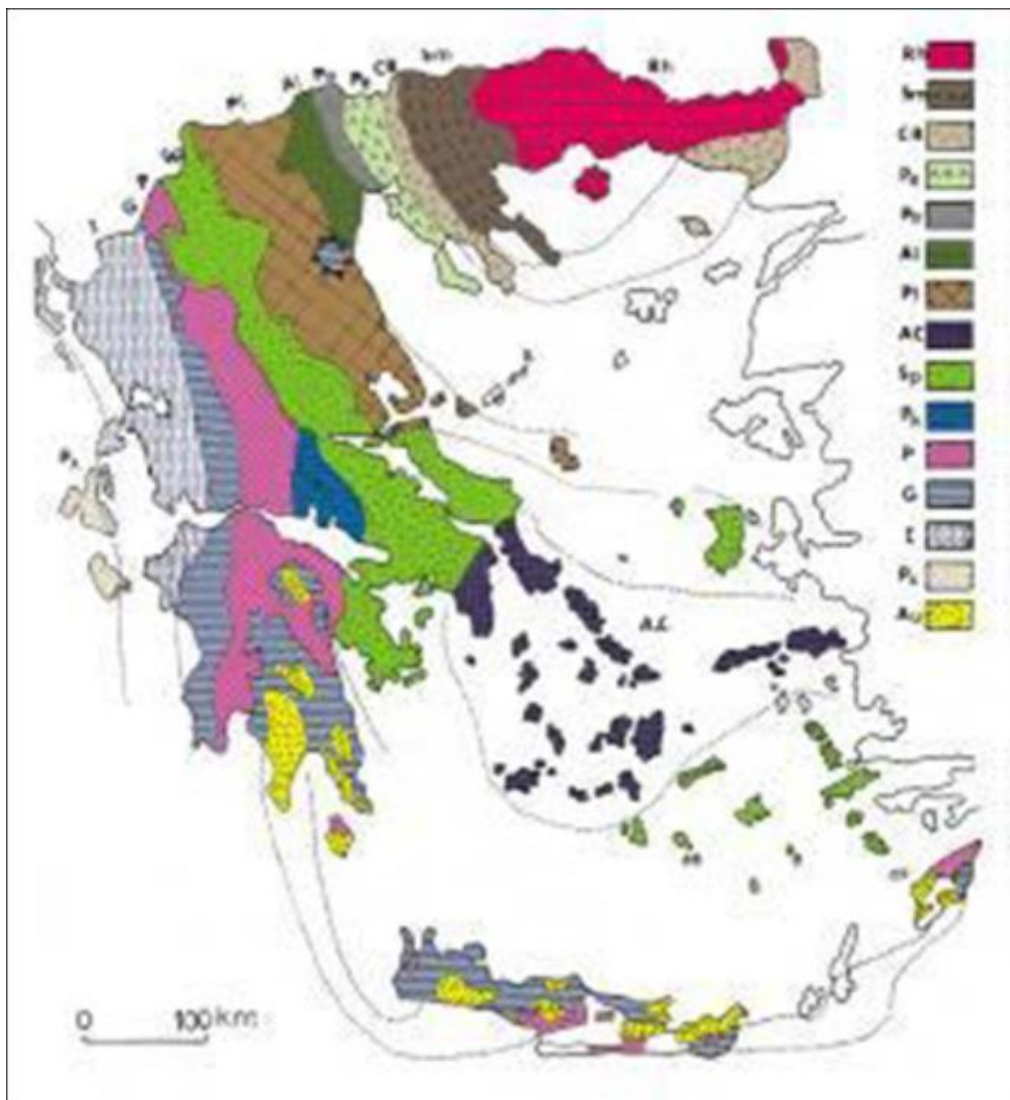
Σχήμα 2.2. Δορυφορική εικόνα της 1ης εξεταζόμενης περιοχής (Περαία). Με κόκκινο βέλος απεικονίζεται η διάταξη των γεωηλεκτρικών μετρήσεων στο έδαφος της περιοχής που χρησιμοποιήθηκαν για την γεωφυσική έρευνα. (Google Earth 2016)



Σχήμα 2.3. Δορυφορική εικόνα της 2ης εξεταζόμενης περιοχής (Λακκιά). Με κόκκινο βέλος απεικονίζεται η διάταξη των γεωηλεκτρικών μετρήσεων στο έδαφος της περιοχής που χρησιμοποιήθηκαν για την γεωφυσική έρευνα. (Google Earth 2016)

3 Γεωλογία της περιοχής

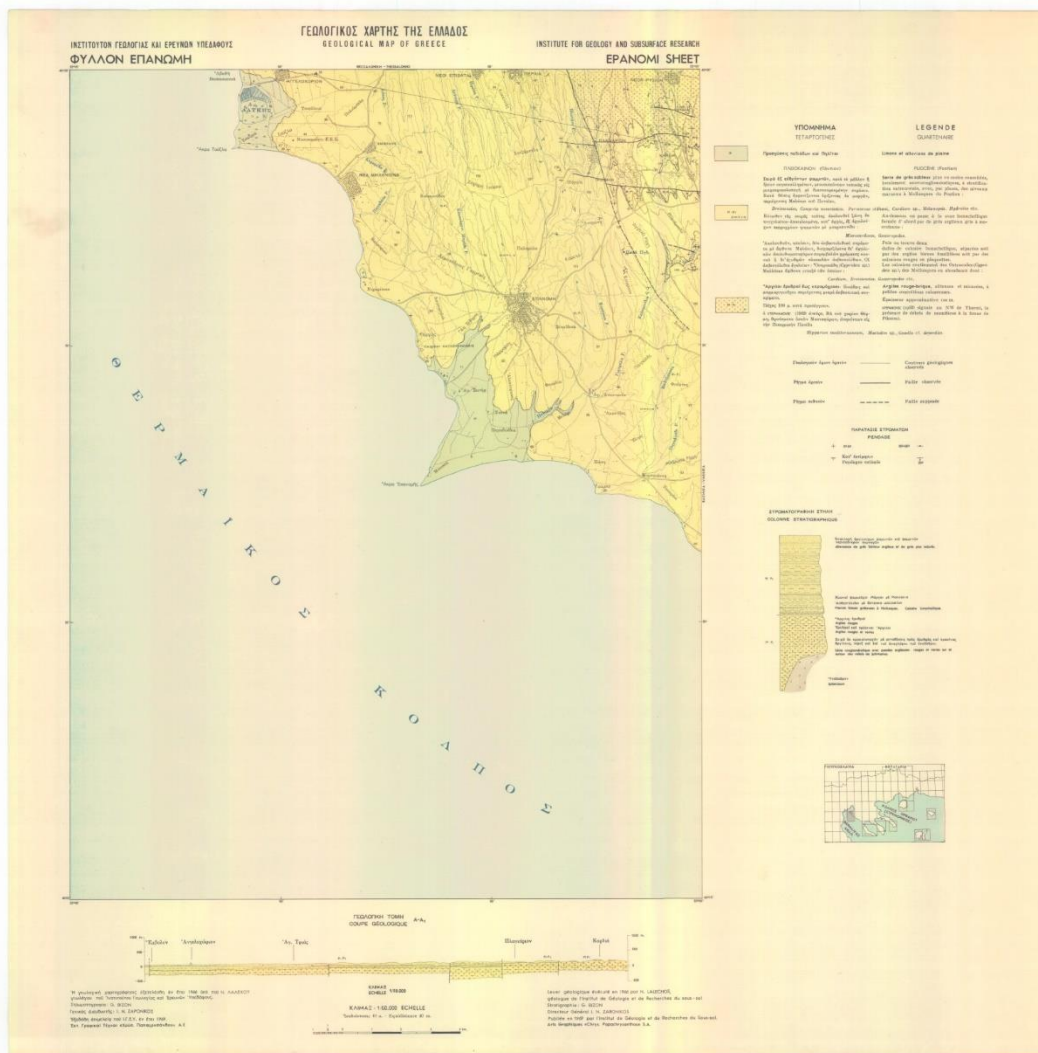
Γεωλογικά η ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης εντάσσεται στη γεωτεκτονική ζώνη της Περιροδοπικής. Σημαντικές όμως, είναι και οι εμφανίσεις ομάδων πετρωμάτων που εντάσσονται στην ενότητα της Παιονίας της γεωτεκτονικής ζώνης του Αξιού. Σημειώνεται ότι η διάκριση του ορίου μεταξύ της Περιροδοπικής και της 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), *Γεωλογία της Ελλάδας*).



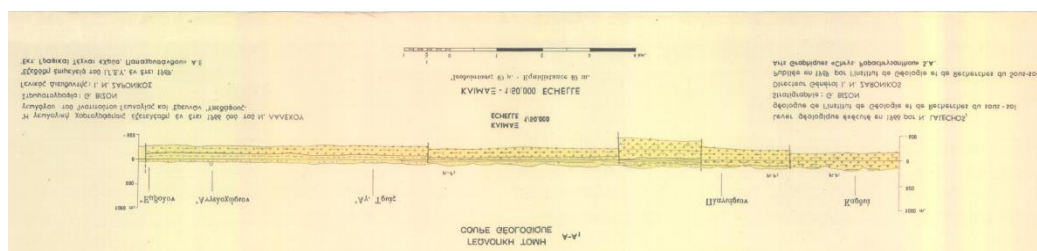
Σχήμα 3.1. Γεωτεκτονικές ζώνες του ελλαδικού χώρου (Μουντράκης Δ.(1985), *Γεωλογία της Ελλάδας*).

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.

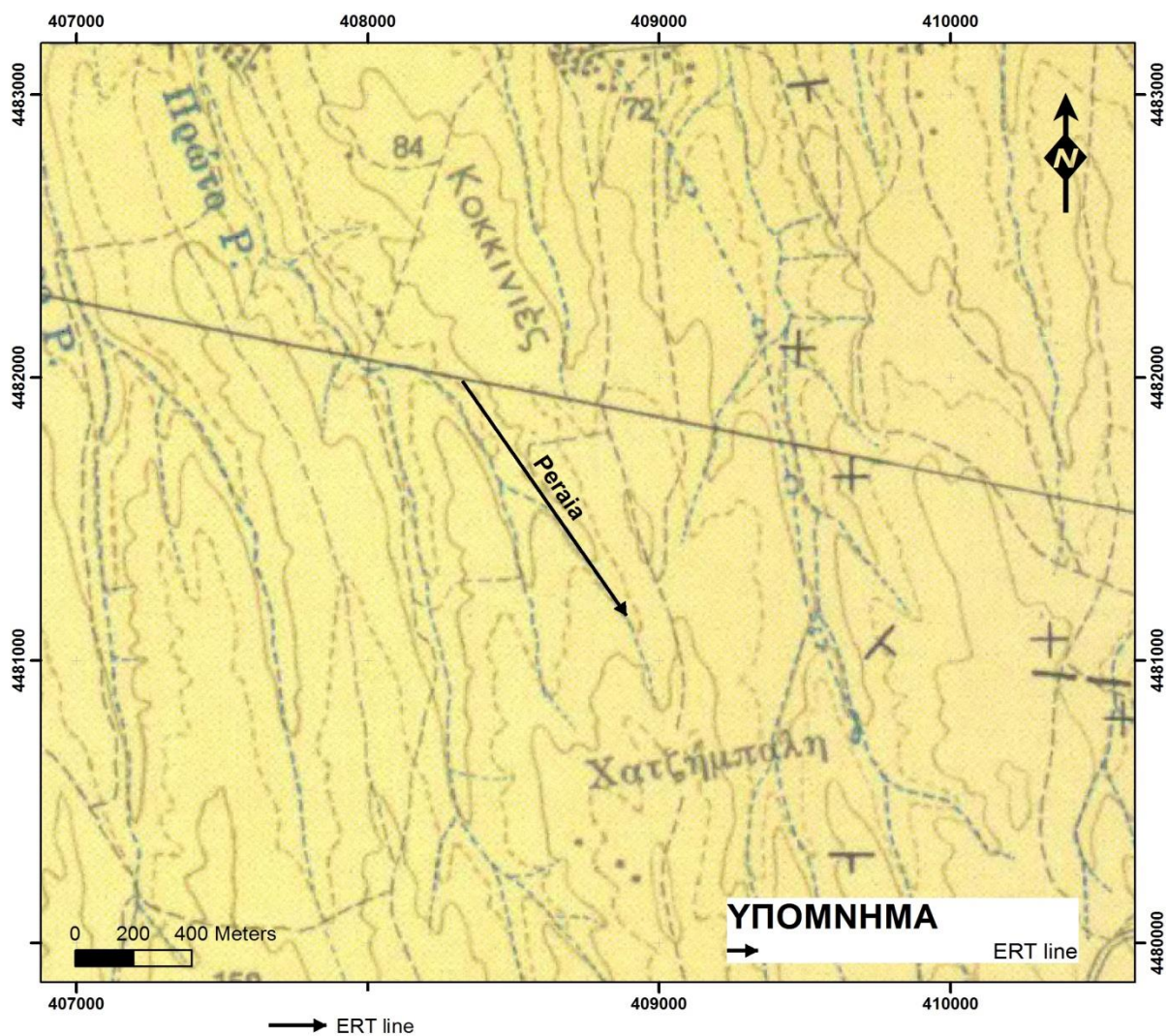
Το γεγονός ότι η περιοχή βρίσκεται μεταξύ των ζωνών Παιονίας και Περιροδοπικής δικαιολογεί την εμφάνιση πετρωμάτων διαφορετικής προέλευσης. Συγκεκριμένα εντοπίζονται ιζηματογενή και μεταϊζηματογενή πετρώματα των τριών εννοτήτων της Περιροδοπικής ζώνης καθώς και της υποζώνης της Παιονίας, τμήματα από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



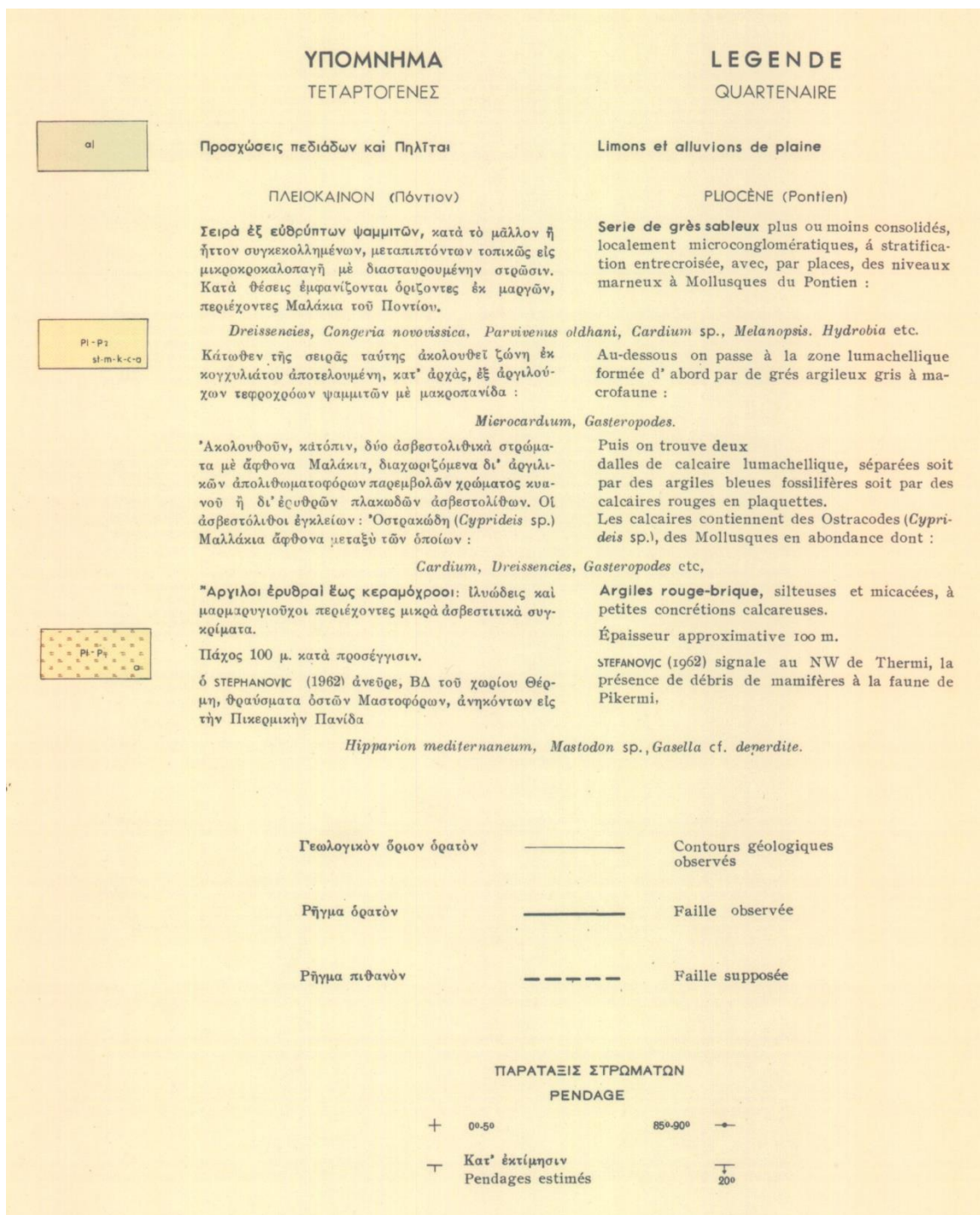
Σχήμα 3.2.. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής της 1ης εξεταζόμενης περιοχής (Περαία), φύλλο ΕΠΑΝΟΜΗ (Ι.Γ.Μ.Ε. 1969)

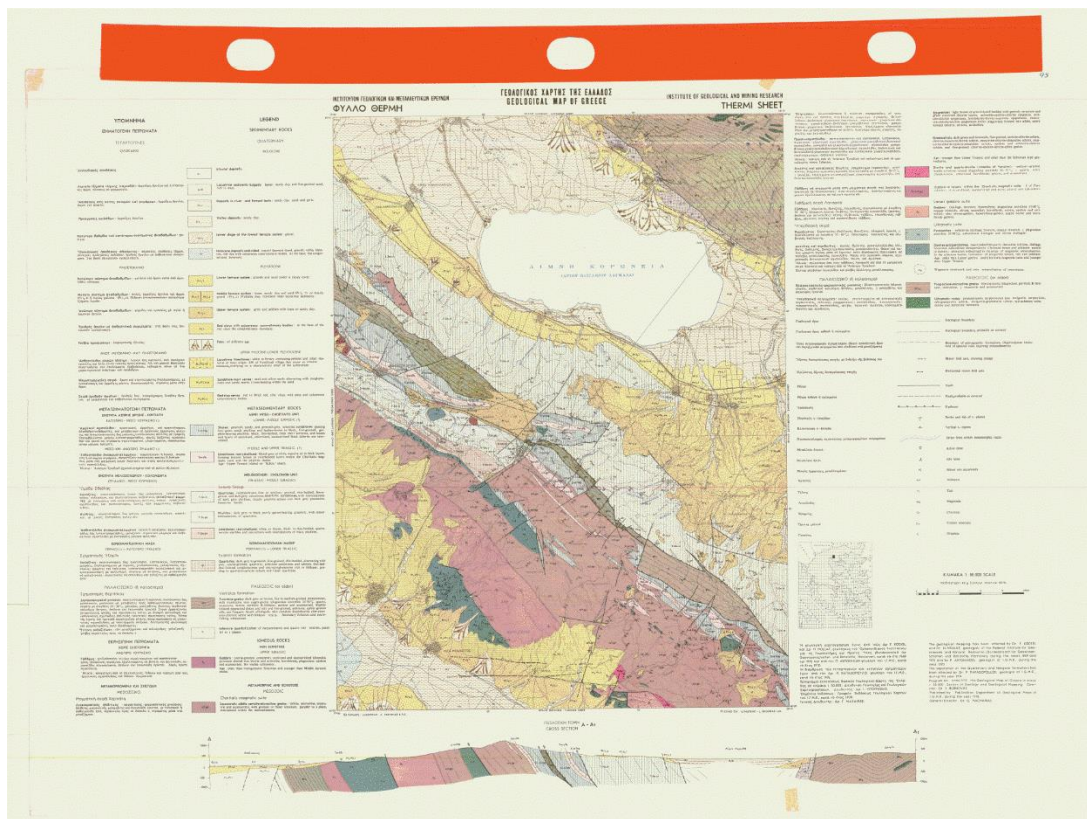


Σχήμα 3.3. Γεωλογική τομή χάρτη και διάταξη γεωλογικών σχηματισμών (Ι.Γ.Μ.Ε. 1969).

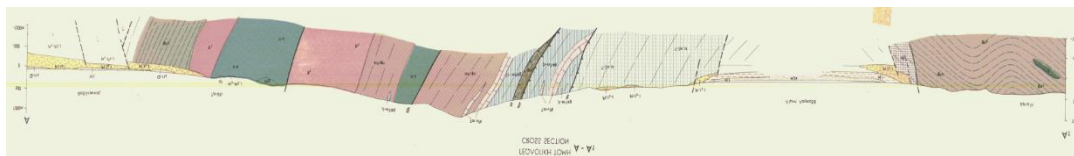


Σχήμα 3.2. Περιοχή μελέτης στον γεωλογικό χάρτη όπου πραγματοποιήθηκε η 1η γεωφυσική διασκόπηση. Με βέλος απεικονίζεται η διάταξη των γεωηλεκτρικών μετρήσεων στο έδαφος που χρησιμοποιήθηκαν για την βυθοσκόπηση (Ι.Γ.Μ.Ε. 1969).

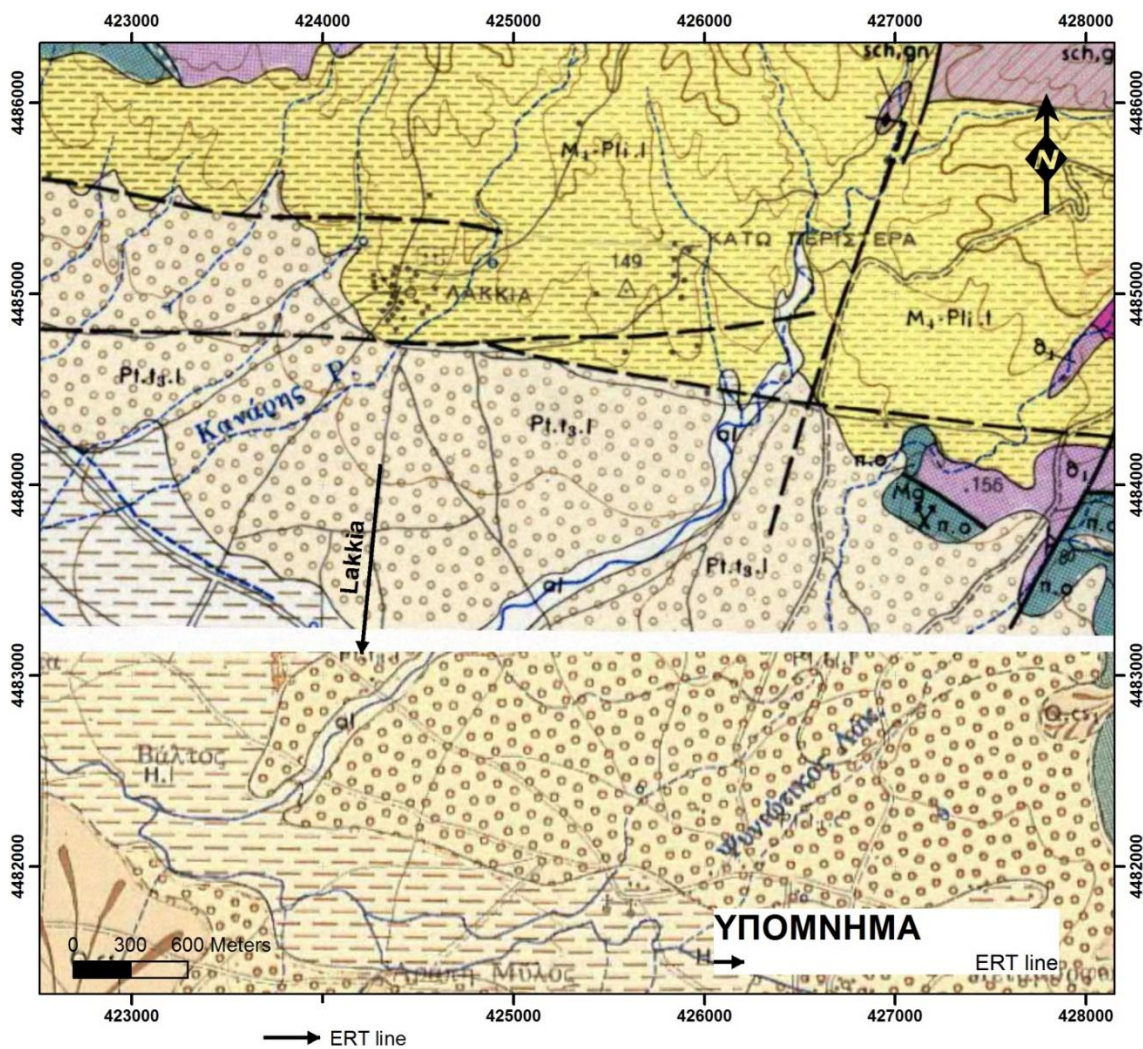




Σχήμα 3.6. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής της 2ης εξεταζόμενης περιοχής (Λακκιά), φύλλο ΘΕΡΜΗ (Ι.Γ.Μ.Ε. 1978).



Σχήμα 3.7. Γεωλογική τομή χάρτη και διάταξη γεωλογικών σχηματισμών (Ι.Γ.Μ.Ε. 1978).



Σχήμα 3.4. Περιοχή μελέτης στον γεωλογικό χάρτη όπου πραγματοποιήθηκε η 2η γεωφυσική διασκόπηση. Με βέλος απεικονίζεται η διάταξη των γεωηλεκτρικών μετρήσεων στο έδαφος που χρησιμοποιήθηκαν για την βυθοσκόπηση (Ι.Γ.Μ.Ε. 1978).



Σχήμα 3.5. Υπόμνημα Β

Στην 1^η περιοχή έρευνας (Περαία) το γεωλογικό υπόβαθρο του εδάφους χαρακτηρίζεται από μια Τεταρτογενής ζώνη που στο ανώτερο τμήμα της αποτελείται από αργιλούχους ψαμμίτες και έπειτα ακολουθούν 2 στρώματα ασβεστολιθικών σχηματισμών.

Στην 2^η περιοχή έρευνας (Λακκιά) το γεωλογικό υπόβαθρο του εδάφους χαρακτηρίζεται από ένα Πλειστοκαινικό σύστημα αναβαθμίδων που αποτελείται από άμμους και χαλίκια κάτω από ένα αργιλώδες κάλυμμα.

4 Γεωφυσική έρευνα

4.1 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 Β.Κ.(1986), *Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική*). Απαιτούνται δυο ζεύγη ηλεκτροδίων, τα ηλεκτρόδια ρεύματος και τα ηλεκτρόδια δυναμικού.

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

$$\rho_{\Lambda} = K \cdot \frac{U}{I}$$

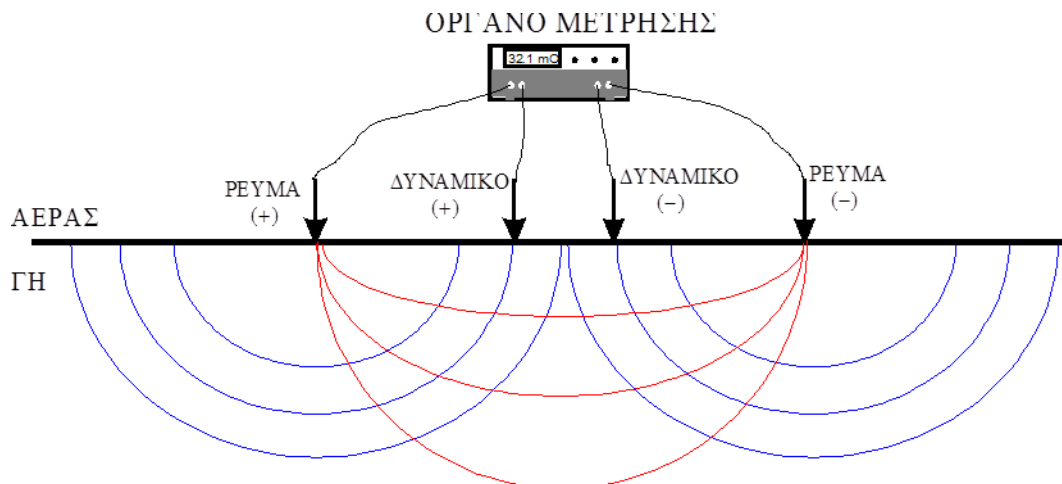
όπου I , η ένταση του ρεύματος και U , η μετρούμενη διαφορά δυναμικού. Το K αποτελεί γεωμετρικό παράγοντα που εξαρτάται από τη διάταξη των ηλεκτροδίων και δίνεται από τη σχέση:

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

Ένα ομογενές έδαφος δεν ανταποκρίνεται σε ρεαλιστικές γεωλογικές συνθήκες (Παπαζάχος Β.Κ.(1986), *Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική*). 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 (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1. Η βασική διάταξη γεωηλεκτρικών μετρήσεων. (Βαργεμέζης Γεώργιος, 2008)

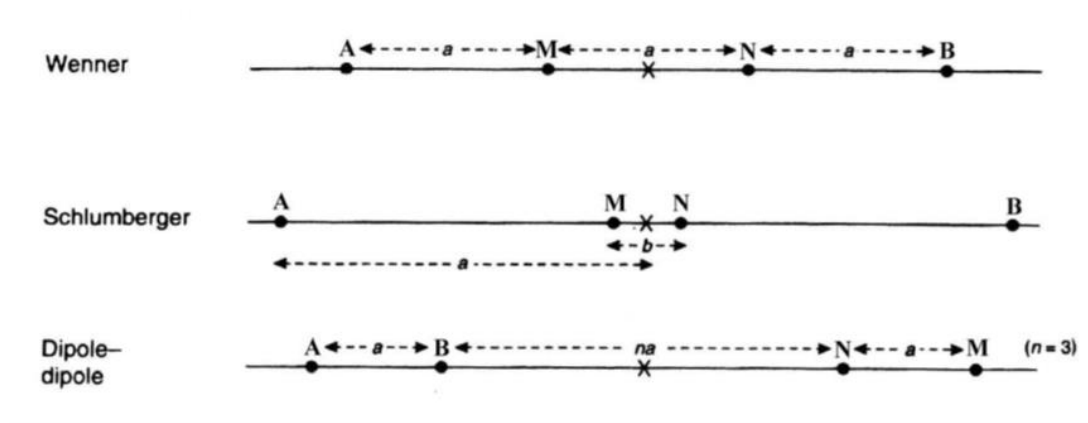
Σε ένα δεύτερο ζεύγος ηλεκτροδίων μετράται η πτώση τάσης που προκαλείται. Η ωμική αντίσταση που υπολογίζεται σαν το πηλίκο των δύο αυτών μεγεθών χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, η οποία με τη σειρά της μας επιτρέπει τον υπολογισμό της ειδικής ηλεκτρικής 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 όδευσης (ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ) και της βυθοσκοπήσης (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.

4.2 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 4.2 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.

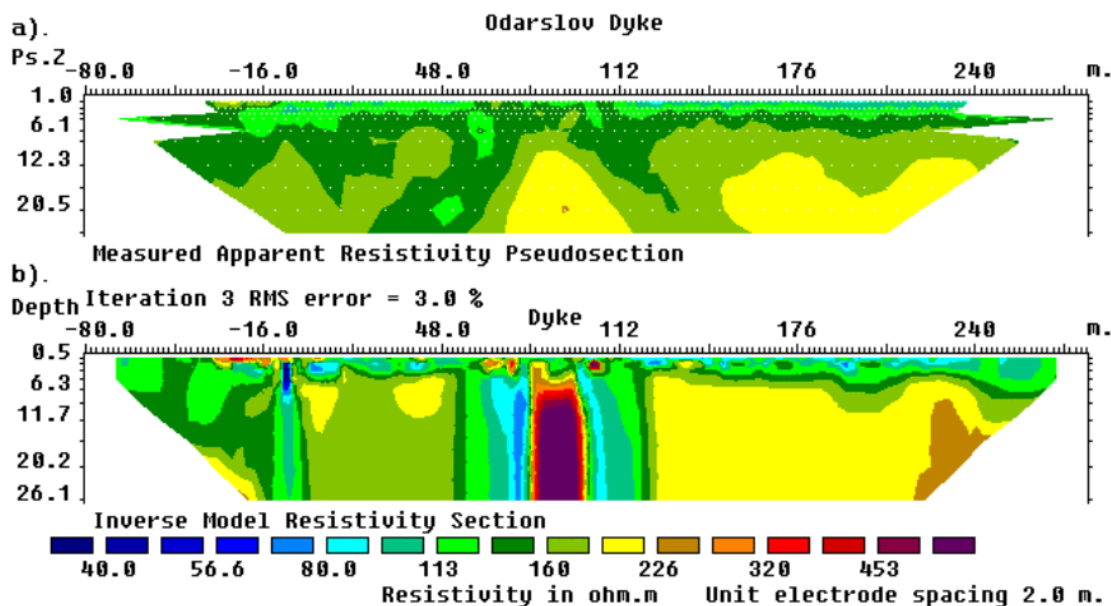


Σχήμα 4.2. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι διάταξης τεσσάρων ηλεκτροδίων (Μιχαλάκης Ιωάννης, 2007)

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

4.3 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 (Σχήμα 4.3). 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.



Σχήμα 4.3. Το παράδειγμα της δολεριτικής φλέβας στο Odarslov της Σουηδίας. (Dr. M.H.Loke. Copyright (1997, 1999))

Στο σχήμα 4.3 (πάνω) παρατηρούμε, βάσει 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).

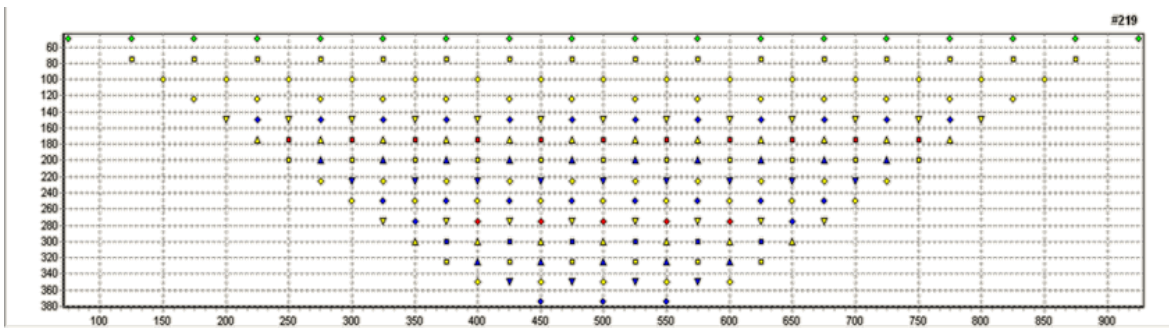
Στο σχήμα 4.3 (κάτω) παρατηρούμε το μοντέλο της ίδιας περιοχής μετά την διαδικασία της αναστροφής των δεδομένων. Το σύνολο των γεωφυσικών μας δεδομένων υπέστη ισχυρή αναστροφή που έγινε με το πρόγραμμα επεξεργασίας δεδομένων DC-2DPro (Claerbout και Muir, 1973). Για την επεξεργασία χρησιμοποιήθηκε η επιλογή RES2DINV του προγράμματος, η οποία όξυνε το όριο μεταξύ του δολερίτη (περιοχή έντονα υψηλής ειδ. Αντίστασης) και των περιβαλλόντων πετρωμάτων. Έτσι προέκυψε μετά από επεξεργασία του 1^{ου} μοντέλου καταγραφής το μοντέλο αναστροφής του σχήματος 4.3b (Dr. M.H.Loke. Copyright (1997, 1999)).

4.4 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 (a) = 50 μέτρα
- Αποστάσεις ηλεκτροδίων ρεύματος – δίπολων μέτρησης δυναμικού ποίκιλλαν σε $(n \cdot a)$ $(2n \cdot a)$ και $(3n \cdot a)$ 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.



Σχήμα 4.4. Θεωρητική κατανομή των μετρήσεων βάσει του σχεδιασμού που επιλέχθηκε. (Βαργεμέζης Γεώργιος, 2008).

Για την εκτέλεση των γεωφυσικών μετρήσεων υπαίθρου χρησιμοποιήθηκε το όργανο SYSCAL PRO 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 με-

τρήσεις 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 στο Σχήμα 4.5. 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.



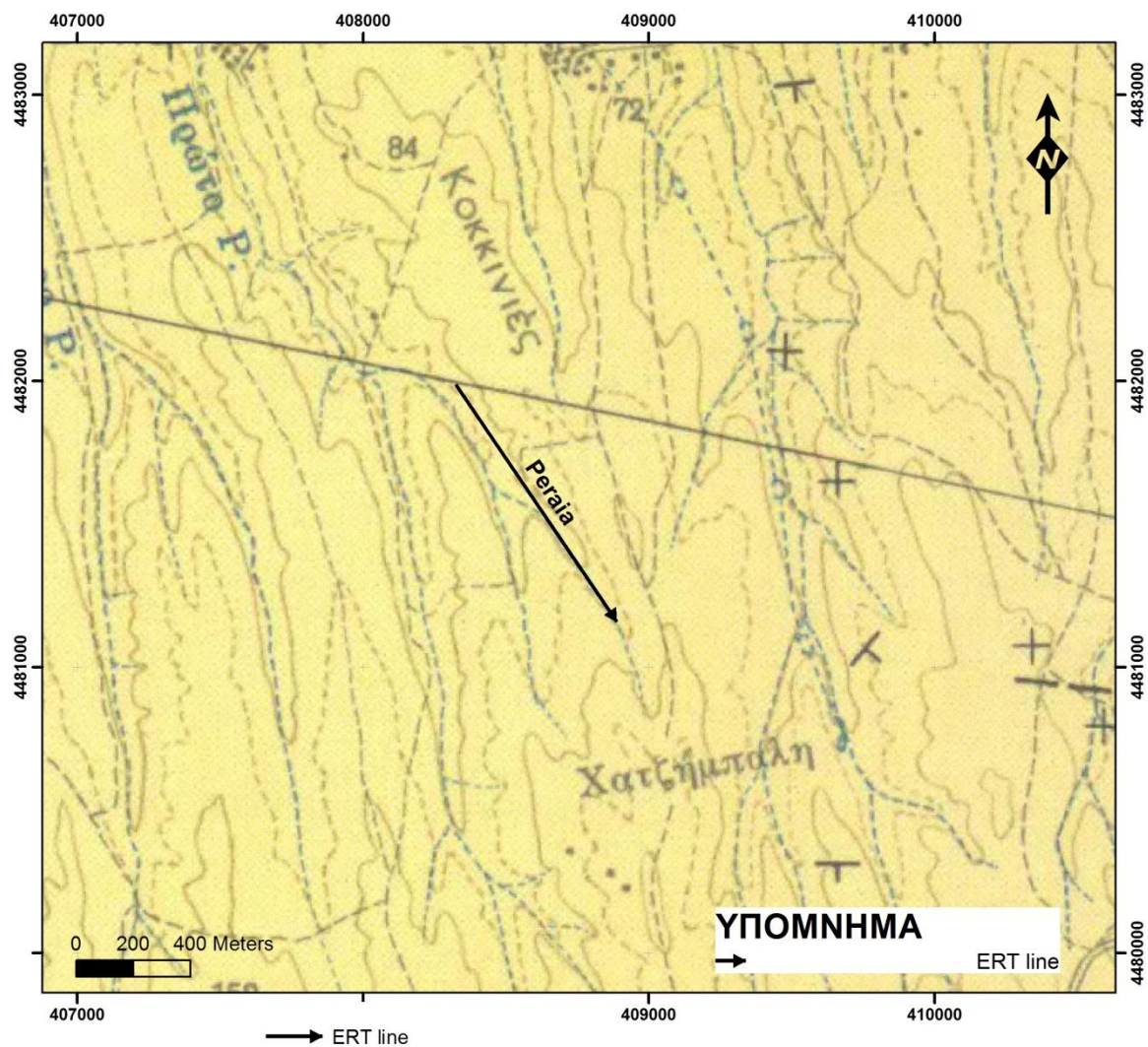
Σχήμα 4.5. Όργανο λήψης ηλεκτρικών μετρήσεων SYSCAL-PRO της εταιρείας IRIS INSTRUMENTS μαζί με τον πρόσθετο εξοπλισμό και τη συνδεσμολογία που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της μέτρησης.

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

5 Εφαρμογή γεωφυσικής έρευνας

5.1 Περιοχή Περαιάς

Στην 1^η περιοχή έρευνας πραγματοποιήθηκε γεωηλεκτρική τομογραφία διευθύνσεως ΒΒΔ-ΝΝΑ μήκους 1000m.

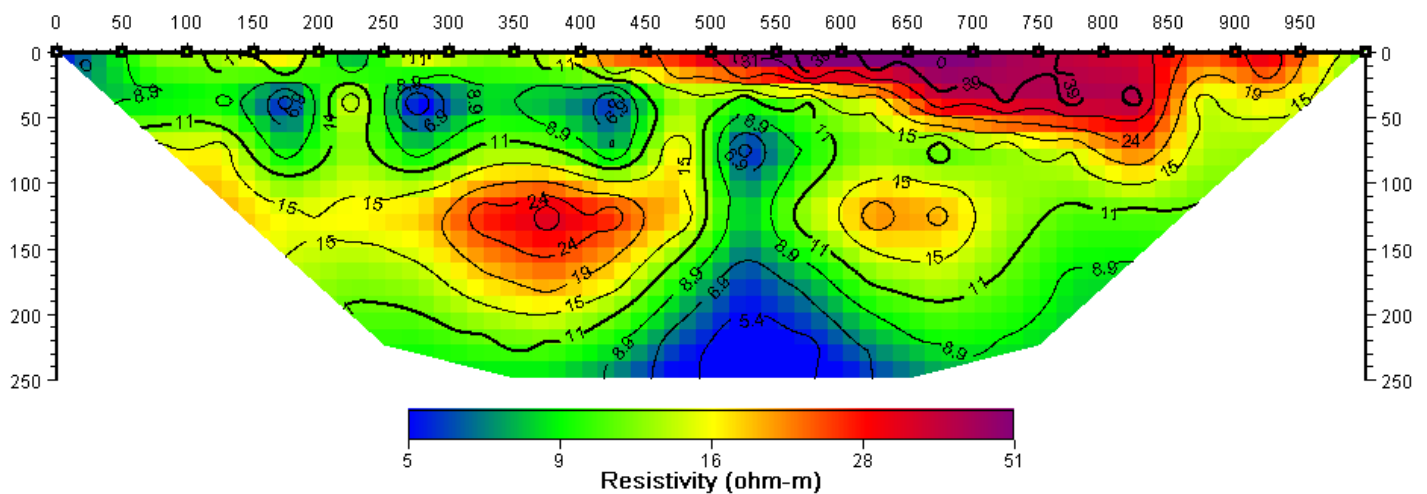


Σχήμα 5.1. Θέση και διάταξη της 1ης τομογραφίας στην περιοχή της Περαιάς

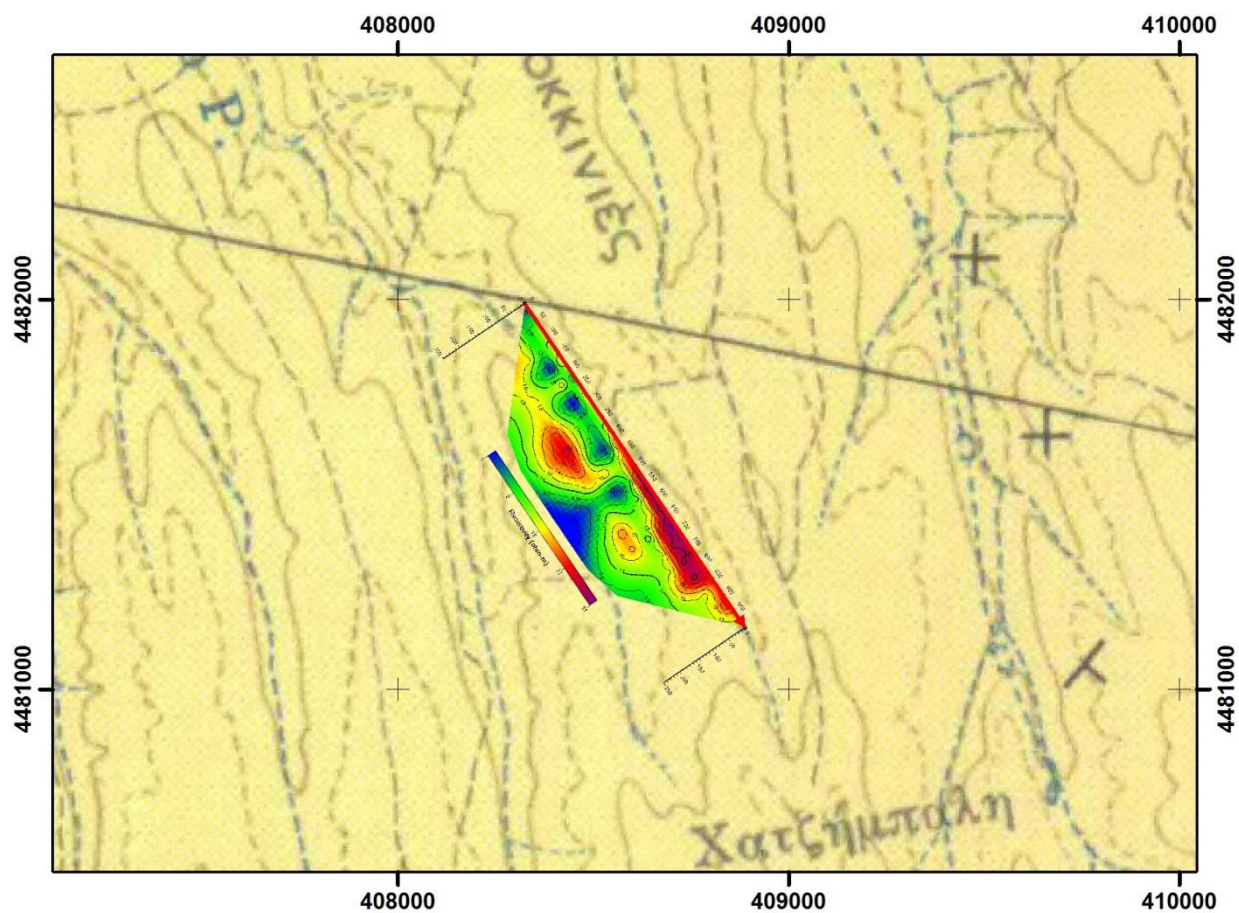
Στο σχήμα 5.1, η θέση της τομογραφίας παρουσιάζεται σαν βέλος για να δείχνει και την διεύθυνση ανάπτυξης των ηλεκτροδίων από το σημείο 0 (αρχή) ως τα 1000 μέτρα (τέλος). Σε κάθε τομογραφία χρησιμοποιήθηκαν 21 ηλεκτρόδια τα οποία απείχαν μεταξύ τους 50 μέτρα. Έτσι έγινε δυνατή η επίτευξη της έρευνας στο βάθος των 200 μέτρων περίπου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα στοιχεία των μετρήσεων υπαίθρου, τα αποτελέσματα της ερμηνείας τους και τέλος τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από τη γεωφυσική έρευνα.

Οι τομογραφίες μετρήθηκαν σύμφωνα με διατάξεις ηλεκτροδίων της μεθόδου Dipole-Dipole.

Για την 1^η μέτρηση στην περιοχή της Περαιάς έχουμε τα εξής αποτελέσματα :



Σχήμα 5.2. Απεικόνιση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους της 1ης μέτρησης με την μέθοδο διπόλου – διπόλου.



Σχήμα 5.3. Απεικόνιση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους της 1ης μέτρησης πάνω στο γεωλογικό χάρτη κατά μήκος της όδευσης.

Στα παραπάνω σχήματα παρουσιάζεται το γεωηλεκτρικό μοντέλο που προκύπτει στην 1^η τομογραφία. Η χρωματική κλίμακα αποδίδει τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με μικρότερες τις μπλε (περίπου 5 Ohm-m) και μεγαλύτερες τις κόκκινες-μωβ (περίπου 20-50 Ohm-m).

Βάσει των τιμών των ηλεκτρικών αντιστάσεων των πετρωμάτων παρατηρούμε εμφανίζονται στην περιοχή κατά κύριο λόγο εμφανίσεις χαμηλής ειδικής αντίστασης με τιμές 10 - 15 Ohm-m (πράσινο - κίτρινο στην χρωματική κλίμακα). Αυτή οι τιμές αντιστοιχούν όπως έδειξε και η υπαίθρια παρατήρηση στον ανώτερο ορίζοντα των Πλειοκαινικών αποθέσεων αργιλούχων ψαμμιτών.

Εκτιμάται ότι είναι αρκετά πιθανό οι σχηματισμοί αυτοί που αντιστοιχούν στις μικρές τιμές ειδικής αντίστασης να είναι πληρωμένοι ή να περιέχουν ποσότητα ύδατος. Το νερό ελαττώνει έντονα την ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών. Επίσης το νερό είναι πιθανόν να περιέχει 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 την αντίσταση του σχηματισμού (Παπαζάχος Β.Κ.(1986), *Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική*).

Στο σημείο των 350m περίπου όδευσης και για βάθη 100 – 250 m παρατηρούμε χαμηλές – μέσες τιμές ειδικής αντίστασης 7 – 17 Ohm –m όπως και στα υπερκείμενα βάθη ανάμεσα στις οποίες εμφανίζεται μια «σφήνα» υψηλής ειδικής αντίστασης. Το σημείο αυτό αντιστοιχεί σε βάθος 110 – 160 m και χαρακτηρίζεται από υψηλές τιμές 25 – 32 Ohm (κόκκινο στην χρωματική κλίμακα). Η «ανωμαλία» αυτή της ειδικής αντίστασης σε σχέση με την γύρω περιοχή ερμηνεύεται ως σχηματισμός αποτελούμενος από αδρόκοκκα υλικά (χαλίκια, κροκάλες) ή αποτελεί αποσαθρωμένο ψαμμίτη με παρουσία γλυκού νερού, κάτι που αυξάνει την ειδική αντίσταση και επιβεβαιώνεται και από την μελέτη του γεωλογικού υπόβαθρου της περιοχής.

Για την περιοχή που αντιστοιχεί από τα 400m έως τα 1000m (τέλος της όδευσης) παρατηρούμε ότι για βάθος 0 – 80 παρατηρούνται εξαιρετικά υψηλές τιμές ειδικής αντίστασης 25 – 50 Ohm-m (κόκκινο – μωβ στην χρωματική κλίμακα). Σε μεγαλύτερα βάθη 80 – 250 οι τιμές της ειδικής αντίστασης είναι χαμηλές – μέσες 10 – 15 Ohm –m όπως και στο υπόβαθρο των 0 – 400 m όδευσης, εκτός από μια περιοχή ανωμαλίας κάτω από το σημείο των 520 m όδευσης που θα εξετάσουμε παρακάτω.

Η «ανωμαλία» αυτή των εξαιρετικά υψηλών τιμών ειδικής αντίστασης σε σχέση με την περιβάλλουσα περιοχή που παρατηρείται επιφανειακά από τα 400

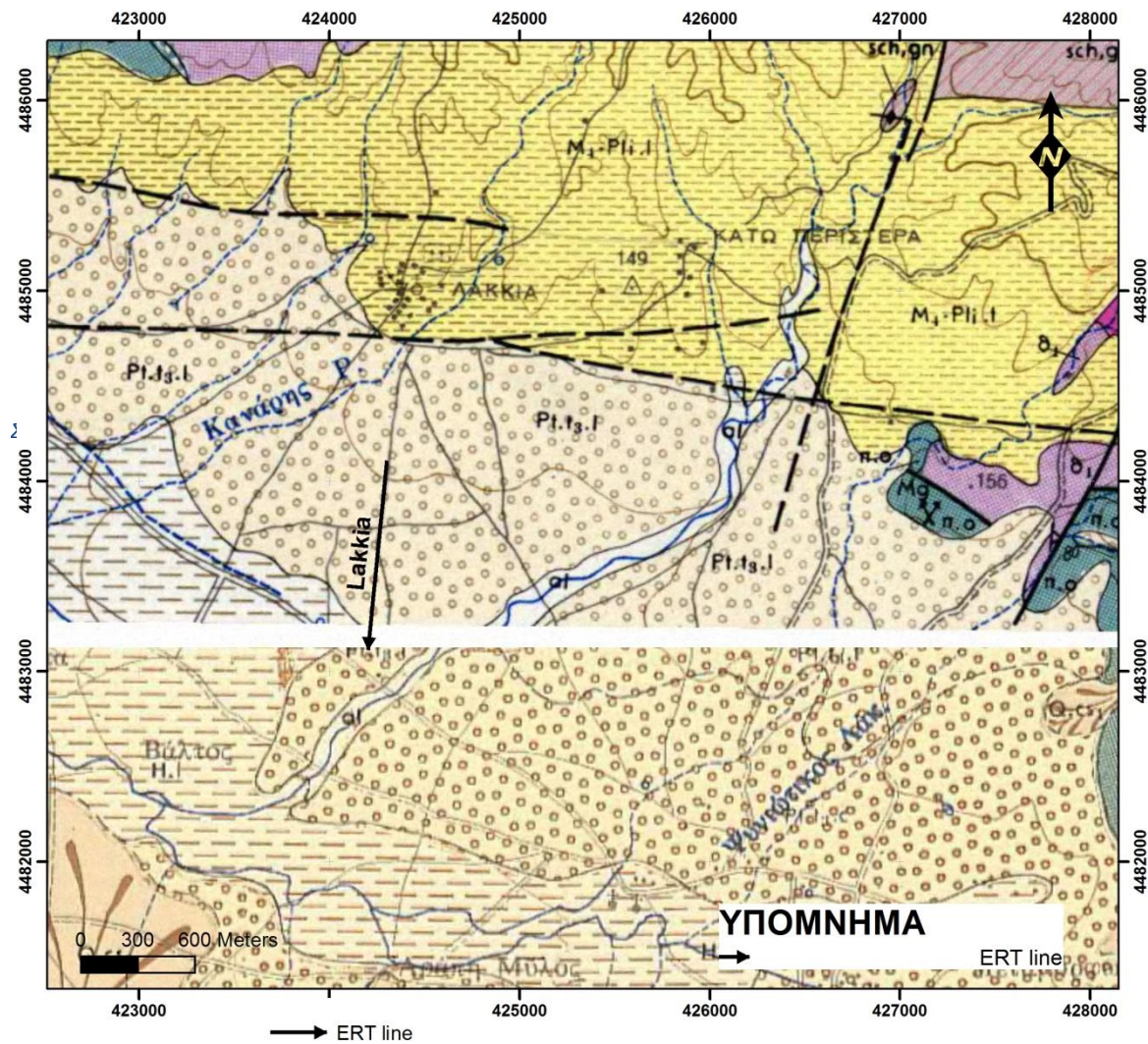
έως τα 1000m όδευσης οφείλεται σε μια ζώνη αδρόκοκκων ή/και ψαμμιτικών στρωμάτων πιθανά πληρωμένων με νερό.

Κάτω από το σημείο των 520m όδευσης και για βάθη 50 – 250 m παρατηρούμε μια περιοχή ιδιαίτερα χαμηλής ειδικής αντίστασης 0 – 5 Ohm που αντιπροσωπεύεται από μπλε χρώμα στο σχήμα. Η περιοχή αυτή περιβάλλεται από σχηματισμούς που δίνουν υψηλότερη ειδική αντίσταση 7 – 13 Ohm. Εκτιμούμε ότι πρόκειται για ρήγμα εσωτερικά του οποίου έχει δημιουργηθεί ζώνη κορεσμένη με νερό το οποίο περιέχει άφθονα μεταλλικά στοιχεία, κάτι το οποίο προκαλεί κατακόρυφη μείωση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Από τα 20-50m βάθους περίπου οι αντιστάσεις είναι υψηλότερες, από 3-8 Ohm.m και μπορεί να αντιπροσωπεύουν 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 (Σχήμα 5.2) από τα πράσινα έως κίτρινα χρώματα που πιθανόν να έχει γλυκό νερό αναμειγμένο 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.

5.2 Περιοχή Λακκιάς

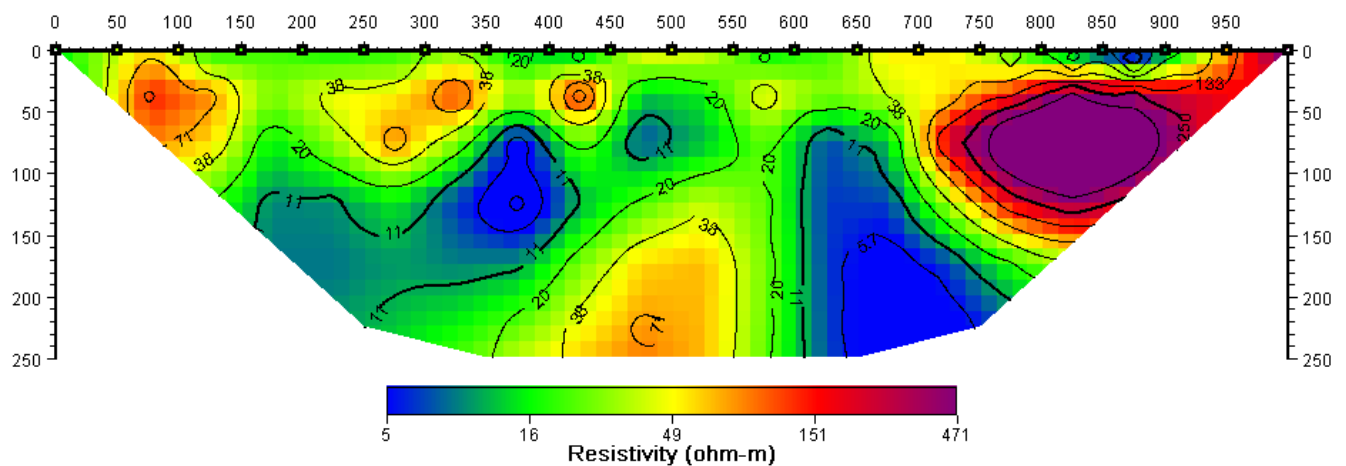
Στην 2^η περιοχή έρευνας πραγματοποιήθηκε γεωηλεκτρική τομογραφία διευθύνσεως ΒΒΑ-ΝΝΔ μήκους 1000m.



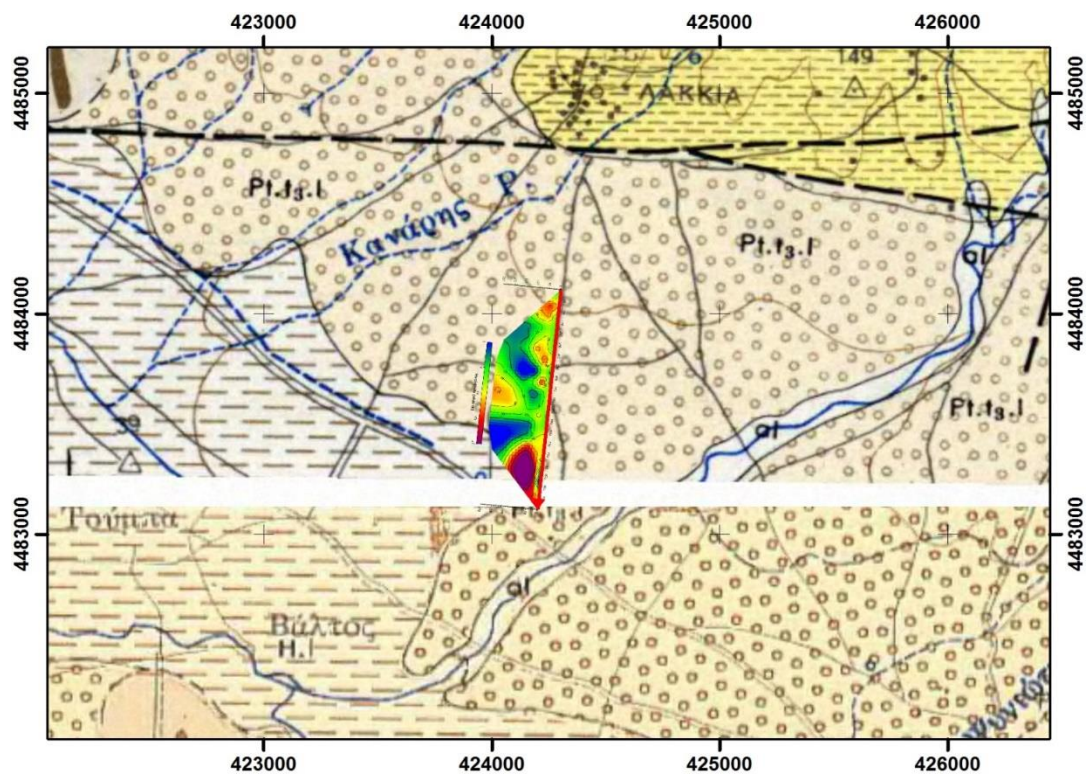
Σχήμα 5.4. Θέση και διάταξη της 2ης τομογραφίας στην περιοχή της Λακκιάς.

Ο τρόπος διάταξης των ηλεκτροδίων, η μεταξύ τους απόσταση, το όργανο μέτρησης και η μέθοδος επεξεργασίας των δεδομένων που προέκυψαν, παραμένουν τα ίδια με την 1^η μέτρηση στην περιοχή της Περαίας.

Για την 2^η μέτρηση στην περιοχή της Λακκιάς έχουμε τα εξής αποτελέσματα :



Σχήμα 5.5. Απεικόνιση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους της 2ης μέτρησης με την μέθοδο διπόλου – διπόλου.



Σχήμα 5.4. Απεικόνιση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους της 2ης μέτρησης πάνω στο γεω-λογικό χάρτη κατά μήκος της όδευσης.

Στα παραπάνω σχήματα παρουσιάζεται το γεωηλεκτρικό μοντέλο που προκύπτει στην 2^η τομογραφία. Η χρωματική κλίμακα έχει προσαρμοστεί στο να αντιπροσωπεύει μεγαλύτερες τιμές ειδικής αντίστασης ($\Omega\text{m} - \text{m}$) γιατί στην 2^η βυθοσκόπηση παρατηρούμε ένα αρκετά μεγαλύτερο εύρος μετρήσεων τιμών.

Βάσει των τιμών των ηλεκτρικών αντιστάσεων των πετρωμάτων παρατηρούμε ότι στο μεγαλύτερο τμήμα της τομογραφίας κυριαρχούν μικρές έως μέτριες τιμές ειδικής αντίστασης. Οι τιμές αυτές κυμαίνονται από 10 $\Omega\text{m-m}$ περίπου, οι οποίες αντιστοιχούν σε αργιλικές αποθέσεις, έως και 40 – 50 $\Omega\text{m-m}$ που αντιπροσωπεύουν κυρίως κροκαλοπαγή – ψαμμιτικές ενστρώσεις.

Για την περιοχή που αντιστοιχεί στο σημείο 600 – 650m όδευσης και για βάθη 60 έως 200m παρατηρούμε ότι χαρακτηρίζεται από τις χαμηλότερες τιμές ειδικής αντίστασης της περιοχής (<8 $\Omega\text{m-m}$). Τόσο η χαμηλή αντίσταση όσο και το σχήμα του συγκεκριμένου τεμάχους μας δίνουν ενδείξεις για πιθανή ύπαρξη ρήγματος στην περιοχή, πληρωμένου με νερό.

Ιδιαίτερο γεωφυσικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η περιοχή μέτρησης που αντιπροσωπεύεται από το τμήμα 700 – 1000 m όδευσης και βάθους έως περίπου 150 μέτρων. Το τμήμα αυτό αποτελεί μια σφήνα ιδιαίτερα αυξημένης τιμής ειδικής αντίστασης σε σχέση με το υπόλοιπο μοντέλο και αποτελεί μια γεωφυσική «ανωμαλία» του υποβάθρου. Οι τιμές ειδικής αντίστασης που παρουσιάζονται είναι της τάξεως των 500 $\Omega\text{m-m}$ και γεωλογικώς αντιπροσωπεύουν κάποιον βραχώδη σχηματισμό, ο οποίος όμως δεν αποτελεί χαρακτηριστικό της γενικότερης γεωλογίας της περιοχής μελέτης. Πιθανώς να αποτελεί σχηματισμό που προέρχεται από τέμαχος του σχιστόλιθου που αποτελεί το υπόβαθρο της περιοχής. Το σημείο αυτό αποτελεί αντικείμενο μελλοντικής διερεύνησης.

6 Συμπεράσματα

Με στόχο την μελέτη των περιοχών Περαιάς και Λακκιάς του Νομού Θεσσαλονίκης, στα πλαίσια της γεωφυσικής έρευνας για την δομή του υπεδάφους και την παρουσία ρήγματος / ζωνών πληρωμένων με νερό, διεξήχθησαν δύο γεωηλεκτρικές τομογραφίες μήκος 1000m έκαστη (συνολικό μήκος 2000m) σύμφωνα με την διάταξη Dipole - Dipole. Από την έρευνα αυτή προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα.

Για την περιοχή της Περαιάς η έρευνα έδειξε πιθανό ρήγμα σε βάθος μεγαλύτερο των 50m, πιθανώς πληρωμένο με νερό πλούσιο σε μεταλλικά στοιχεία. Η περιοχή παρουσιάζει γεωθερμικό ενδιαφέρον και αποτελεί στόχο μελλοντικής διερεύνησης για γεωθερμικούς σκοπούς.

Για την περιοχή της Λακκιάς, η έρευνα έδειξε ένα τέμαχος ιδιαίτερα μεγάλης γεωηλεκτρικής αντίστασης σε βάθος 30 – 110m. Η «ανωμαλία» αυτή του υποβάθρου δεν μπορεί να ερμηνευθεί με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα και προτείνεται συνέχιση της έρευνας στο συγκεκριμένο σημείο της μεγάλης ειδικής αντίστασης.

7 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
- Μιχαλάκης Ιωάννης (2007): ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ "Συμβολή της ηλεκτρικής τομογραφίας στην παρακολούθηση της υφαλμύρισης πριν, κατά την διάρκεια και μετά την δοκιμή άντλησης στον οικισμό Φαράγγι Αποκορώνου" Χαλκίδα