



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

Διπλωματική εργασία με θέμα:

**Διερεύνηση της πηγής Αγίας Παρασκευής Θεσσαλονίκης με τη μέθοδο
της ηλεκτρικής τομογραφίας**

Φοιτητής: Μπαλντούμης Δημήτριος

AEM:4685

Επιβλέποντες καθηγητές: Βαργεμέζης Γεώργιος, Αναπληρωτής

καθηγητής ΑΠΘ,

Τσούρλος Παναγιώτης, Καθηγητής ΑΠΘ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΠΑΛΝΤΟΥΜΗΣ

Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 4685

Διερεύνηση της πηγής Αγίας Παρασκευής Θεσσαλονίκης με τη μέθοδο της
ηλεκτρικής τομογραφίας

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωφυσικής,

Εργαστήριο Εφ. Γεωφυσικής

Επιβλέπων Καθηγητής

Αν. Καθηγητής Βαργεμέζης Γεώργιος

© Δημήτριος Μπαλντούμης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωφυσικής, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Διερεύνηση της πηγής Αγίας Παρασκευής Θεσσαλονίκης με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας– Διπλωματική Εργασία

©Dimitrios Mpalntoumis, School of Geology, Dept. of Geophysics, 2018

All rights reserved.

Geophysical investigation of the Agia Paraskevi spring by the use of electrical resistivity tomography– Bachelor Thesis

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
2 Πηγή Αγίας Παρασκευής.....	7
2.1 Γεωγραφική θέση.....	7
2.2 Γεωλογία της περιοχής.....	12
2.3 Πηγές	16
3 Γεωφυσική έρευνα.....	18
3.1 Περιγραφή των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης.....	18
3.2 Μέθοδος της ειδικής αντίστασης	21
3.3 Μέτρηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.....	26
3.4 Ηλεκτρική Τομογραφία	29
3.5 Εξοπλισμός	31
3.6 Προγραμματισμός γεωφυσικής έρευνας	34
4 Αποτελέσματα και ερμηνεία.....	35

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την εφαρμογή των μεθόδων της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και συγκεκριμένα της ηλεκτρικής τομογραφίας για την απεικόνιση του υπεδάφους στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής Θεσσαλονίκης με σκοπό τη διερεύνηση του μηχανισμού της πηγής της Αγίας Παρασκευής και τον χαρακτηρισμό της.

Αρχικά, περιγράφεται η λιθολογία και η μορφολογία της ευρύτερης περιοχής στην οποία ανήκει το χωριό της Αγίας Παρασκευής και γίνεται λεπτομερής γεωλογική ανάλυση της περιοχής που έλαβε χώρα η έρευνα.

Στη συνέχεια, η εργασία αυτή παρουσιάζει τις γεωφυσικές μεθόδους που λαμβάνουν χώρα σε έρευνες υπόγειου νερού, καθώς και την περιγραφή των ηλεκτρικών μεθόδων. Έπειτα, αναλύεται λεπτομερώς η πραγματοποίηση των μετρήσεων με αναφορά στον εξοπλισμό με τον οποίο έγιναν οι μετρήσεις.

Στη συνέχεια, περιγράφεται η γεωφυσική μέθοδος που επιλέχθηκε σαν η πλέον κατάλληλη για την απεικόνιση του υπεδάφους, η βαθμονόμηση των τιμών των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων για τον μηχανισμό λειτουργίας καθώς και τον χαρακτηρισμό της πηγής, οι μετρήσεις που υλοποιήθηκαν στην περιοχή έρευνας, η ερμηνεία και η αξιολόγησή τους με βάση τον στόχο της μελέτης. Τέλος, περιγράφονται τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η γεωφυσική έρευνα.

ABSTRACT

The present thesis focuses on the application of the resistivity method and particularly the electric tomography for the imaging of the hydrogeological structure in the region of Agia Paraskevi in Thessaloniki with the aim to investigate the mechanism and classify the source of Agia Paraskevi.

First, the lithology and the morphology of the wider area is described, in which the village of Agia Paraskevi is situated and a detailed geological analysis of the region where the investigation takes place is presented.

Subsequently, the geophysical methods that take place to groundwater prospection and the electrical methods applied are described. The equipment used for the measurements, data acquisition procedure and processing are described in the next chapter.

Then, this thesis describes the geophysical method that was chosen as the most suitable for the imaging of subsoil, the calibration of the measured resistivity for the operational mechanism and the classification of the source, the measurements that were implemented in the investigated region and their interpretation and evaluation according to the purpose of this research. Finally, the conclusions of the geophysical investigation are demonstrated.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας του τμήματος Γεωλογίας, τομέα Γεωφυσικής, από τον φοιτητή Μπαλντούμη Δημήτριο υπό την εποπτεία του αναπληρωτή καθηγητή Βαργεμέζη Γεωργίου και του καθηγητή Τσούρλου Παναγιώτη.

Η διπλωματική εργασία έλαβε χώρα στην περιοχή Αγίας Παρασκευής Θεσσαλονίκης με σκοπό τη διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών που σχετίζονται με το μηχανισμό λειτουργίας της Πηγής Αγίας Παρασκευής, με τη χρήση ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις ηλεκτρικής αντίστασης με εφαρμογή της μεθόδου ηλεκτρικής τομογραφίας.

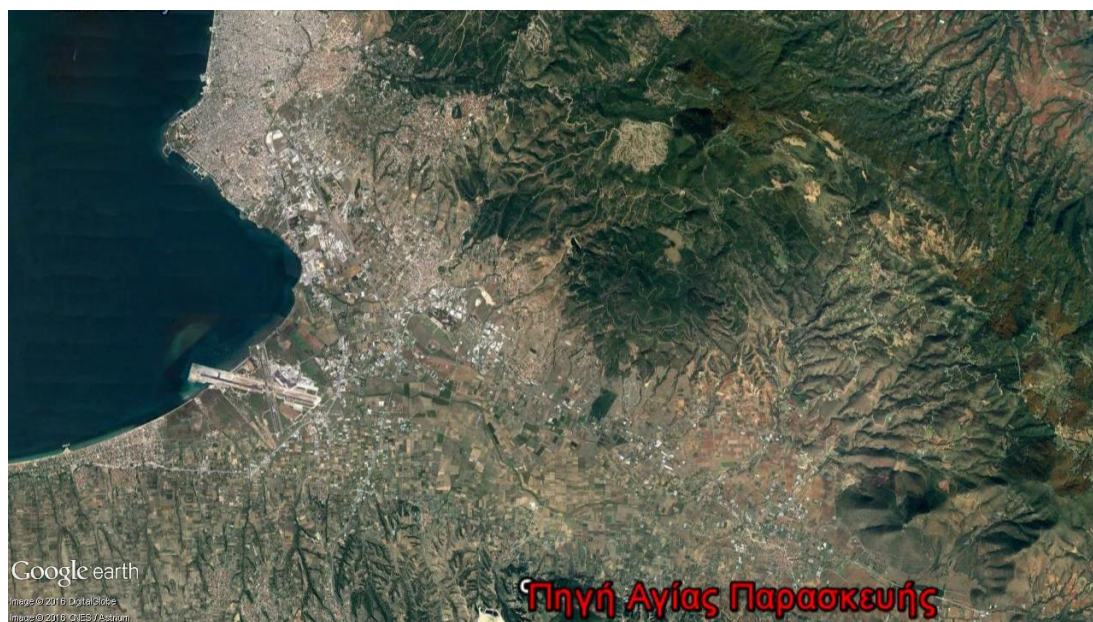
Η πηγή είναι μία συγκεντρωμένη εκροή υπόγειου νερού που εμφανίζεται στην επιφάνεια του εδάφους ως ένα ρεύμα νερού που ρέει ελεύθερα. Οι πηγές και οι αναβλύσεις συνδέονται στενά με τον κύκλο του νερού στη φύση. Τα νερά των βροχών διεισδύουν στο υπέδαφος, συγκεντρώνονται σε υπόγειους ταμιευτήρες και στην συνέχεια βρίσκουν διέξοδο στην επιφάνεια μέσω των πηγών. Η πηγή διαστέλλεται από τη διαρροή νερού που είναι μία πιο αργή κίνηση υπόγειου νερού προς την επιφάνεια του εδάφους συνήθως μη σημειακή, αλλά εκτενής (γραμμικά ή δισδιάστατα). Οι διαρροές νερού μπορούν να σχηματίζουν τοπικά τέλματα ή ροές ή να εξατμίζονται, ανάλογα με την παροχή της διαρροής, την τοπογραφία και το κλίμα. Κατά το ιστορικό παρελθόν η παρουσία τους ήταν σημαντική για τη δημιουργία οικισμών ή την ανάπτυξη στρατιωτικών δυνάμεων.

2 Πηγή Αγίας Παρασκευής

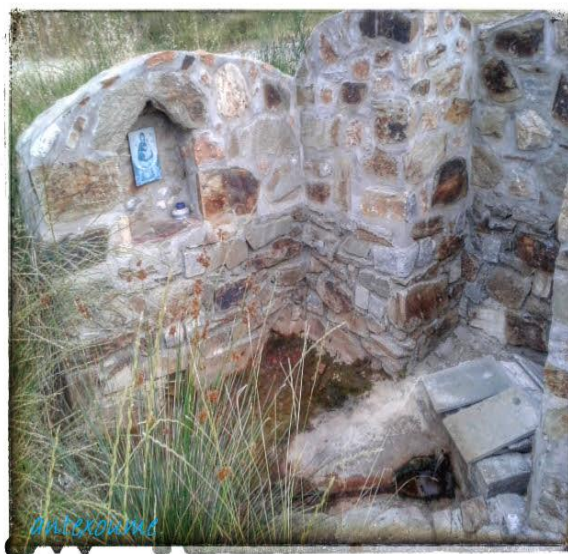
2.1 Γεωγραφική θέση

Η Αγία Παρασκευή είναι κωμόπολη του δήμου Θέρμης, της Περιφερειακής Ενότητας Θεσσαλονίκης και προάστιο της πόλης της Θεσσαλονίκης. Βρίσκεται σε απόσταση 24 χιλιομέτρων νοτιοανατολικά της Θεσσαλονίκης. Το χωριό της Αγίας Παρασκευής έχει υψόμετρο 94 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας.

Η περιοχή που έλαβε χώρο η έρευνα έχει ακριβή θέση $40^{\circ} 28' 23.59''$, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.

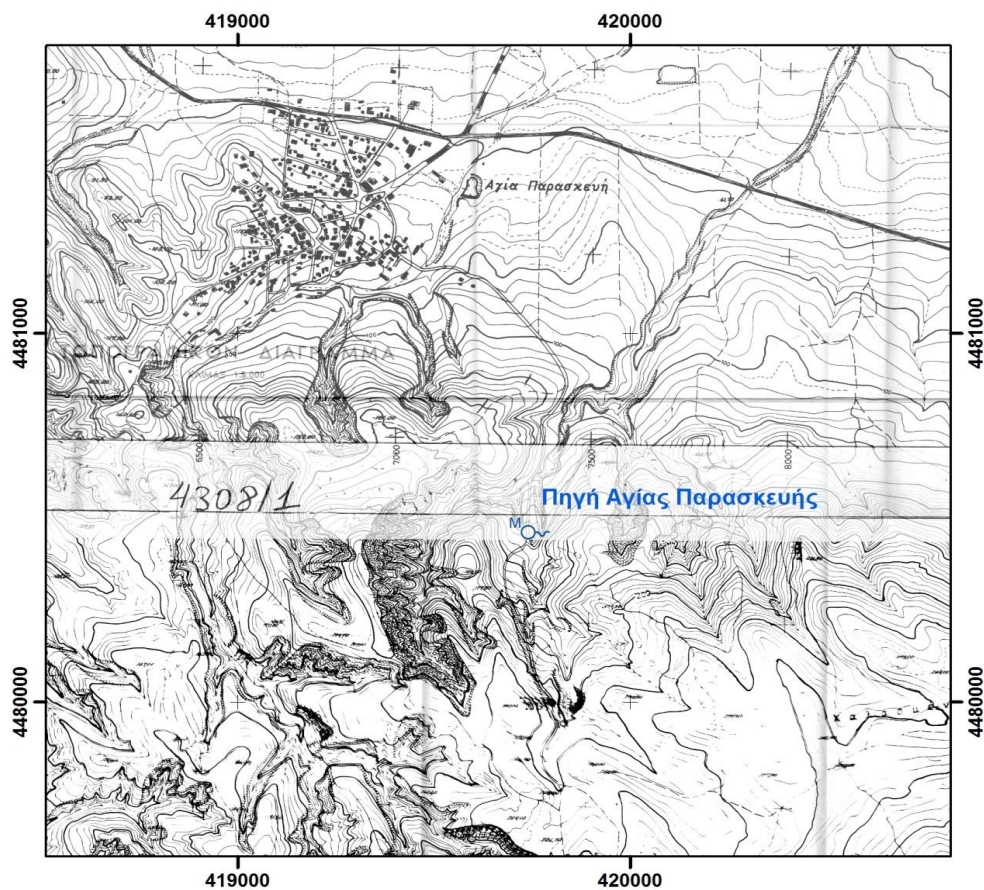


Σχήμα 1. Δορυφορική φωτογραφία που απεικονίζει την ακριβή θέση Πηγής Αγίας Παρασκευής



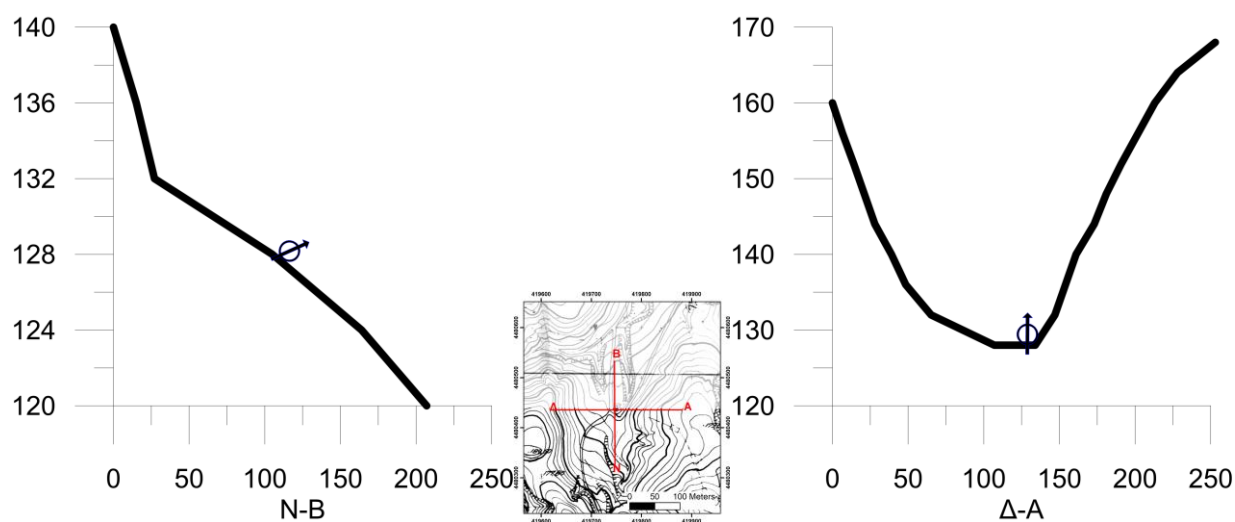
Φωτ. 1. Το εκκλησάκι από όπου αναβλύζει το αγίασμα.

Το χωριό αυτό είναι χτισμένο σε ένα λόφο ενώ μπροστά του απλώνεται η λεκάνη του Ανθεμούντα. Επάνω στο λόφο είναι χτισμένη η εκκλησία της Αγίας Παρασκευής όπου είναι γνωστή για το αγίασμά της. Χιλιάδες πιστοί κάθε χρόνο από κάθε γωνιά της Ελλάδας αλλά και το εξωτερικό την επισκέπτονται για να πουν νερό από το αγίασμα. Το νερό από της πηγές της περιοχής φημίζεται για τις θεραπευτικές του ιδιότητες και στο παρελθόν είχε προγραμματιστεί να γίνουν ιαματικά λουτρά που όμως ακυρώθηκαν για άγνωστους λόγους.

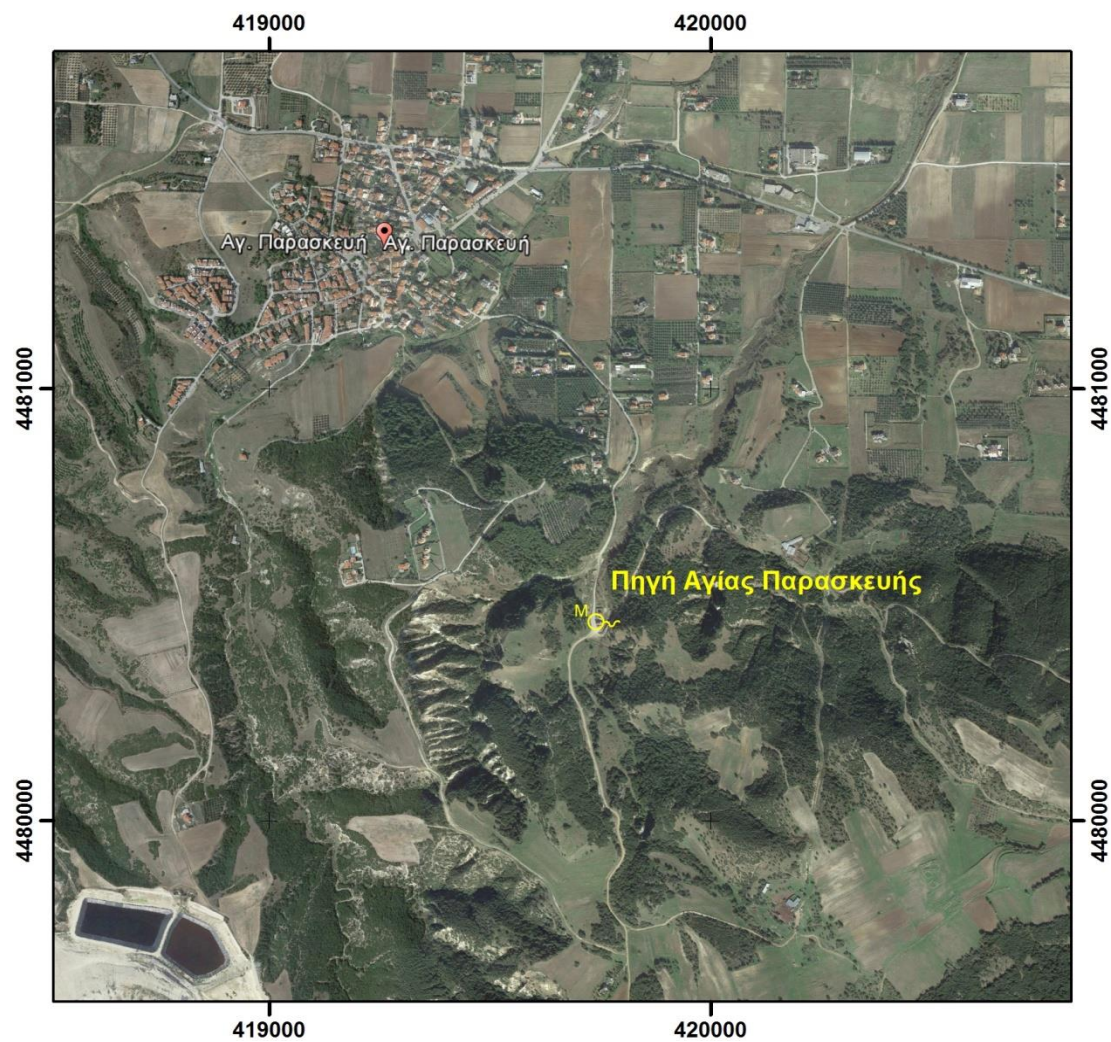


Σχήμα 2. Θέση της πηγής σε τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1:5000.

Η πηγή αναβλύζει σε υψόμετρο 128 μέτρων και βρίσκεται στο κέντρο κοιλάδας με διεύθυνση Βορρά-Νότου.



Σχήμα 3. Μορφολογικές τομές στη πηγή Αγίας Παρασκευής (η θέση της πηγής συμβολίζεται με βέλος).



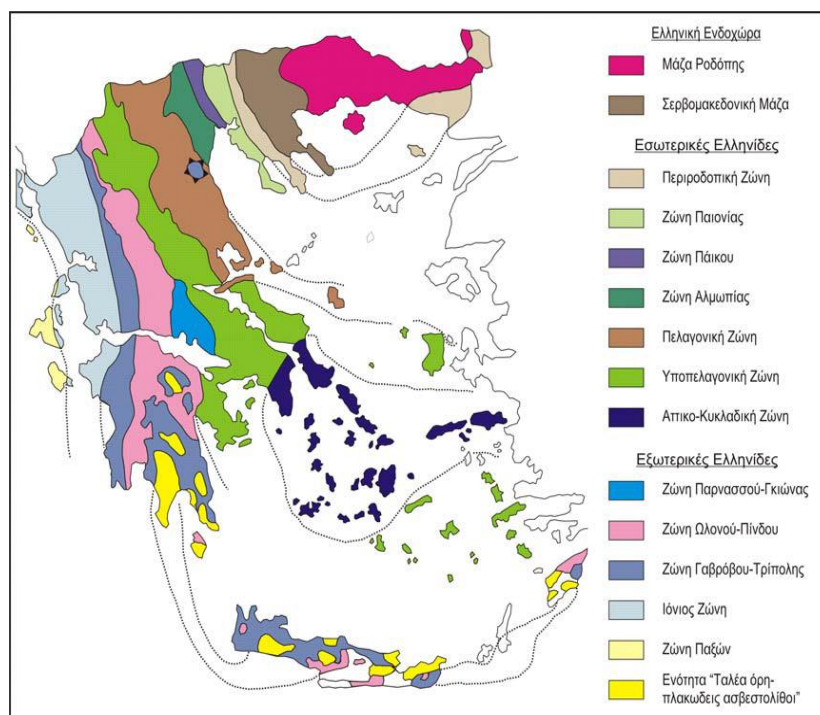
Σχήμα 4: Δορυφορική φωτογραφία που απεικονίζει την ακριβή θέση Πηγής Αγίας Παρασκευής

2.2 Γεωλογία της περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης ανήκει στη γεωτεκτονική ζώνη Αξιού και συγκεκριμένα στην υποζώνη Παιονίας η οποία αποτελείται από Μεσοζωικά πετρώματα κυρίως ασβεστόλιθους. Υπάρχουν εμφανίσεις Μεσοζωικών πετρωμάτων οι οποίες εμφανίζονται μεμονωμένα σε μικρούς λόφους μεταξύ των χωριών Σουρωτή, Ταγαράδες και Σχολάρι, ενώ όλη η υπόλοιπη περιοχή από το Χορτιάτη μέχρι και τον κόλπο του Θερμαϊκού καλύπτεται από νεότερα ιζήματα που αποτέθηκαν κατά το Νεογενές-Τεταρτογενές.

Η ζώνη Αξιού αποτελείται από ανατολικά προς τα δυτικά από τρεις υποζώνες, τη υποζώνη της Παιονίας, του Πάικου και της Αλμωπίας (Μουντράκης, 1985). Ανατολικά συνορεύει με την Περιοδοπική ζώνη, ενώ ανατολικά με την Πελαγονική ζώνη. Σύμφωνα με έρευνες επιστημόνων διαπιστώθηκε ότι η Περιοδοπική ζώνη δε διαφέρει από τη ζώνη Παιονίας.

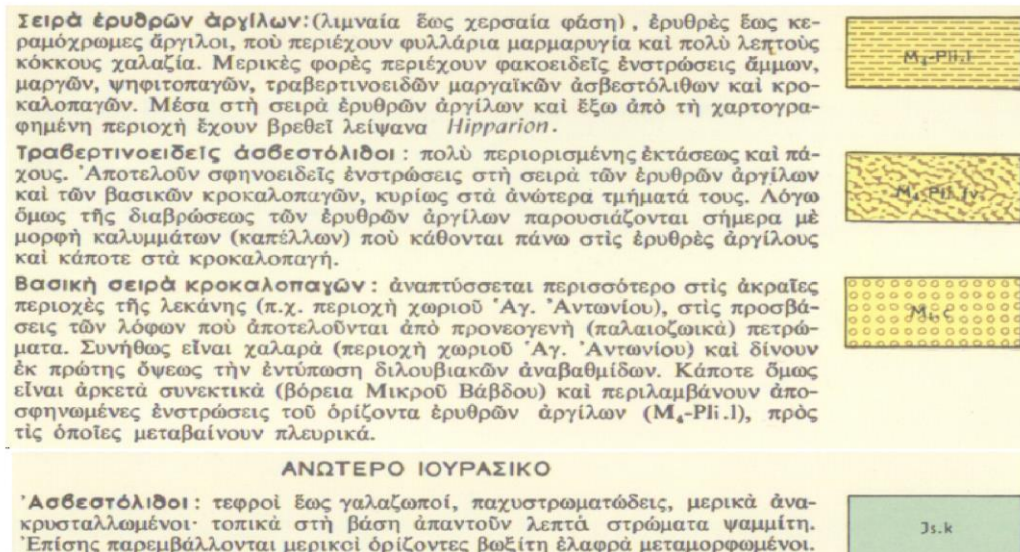
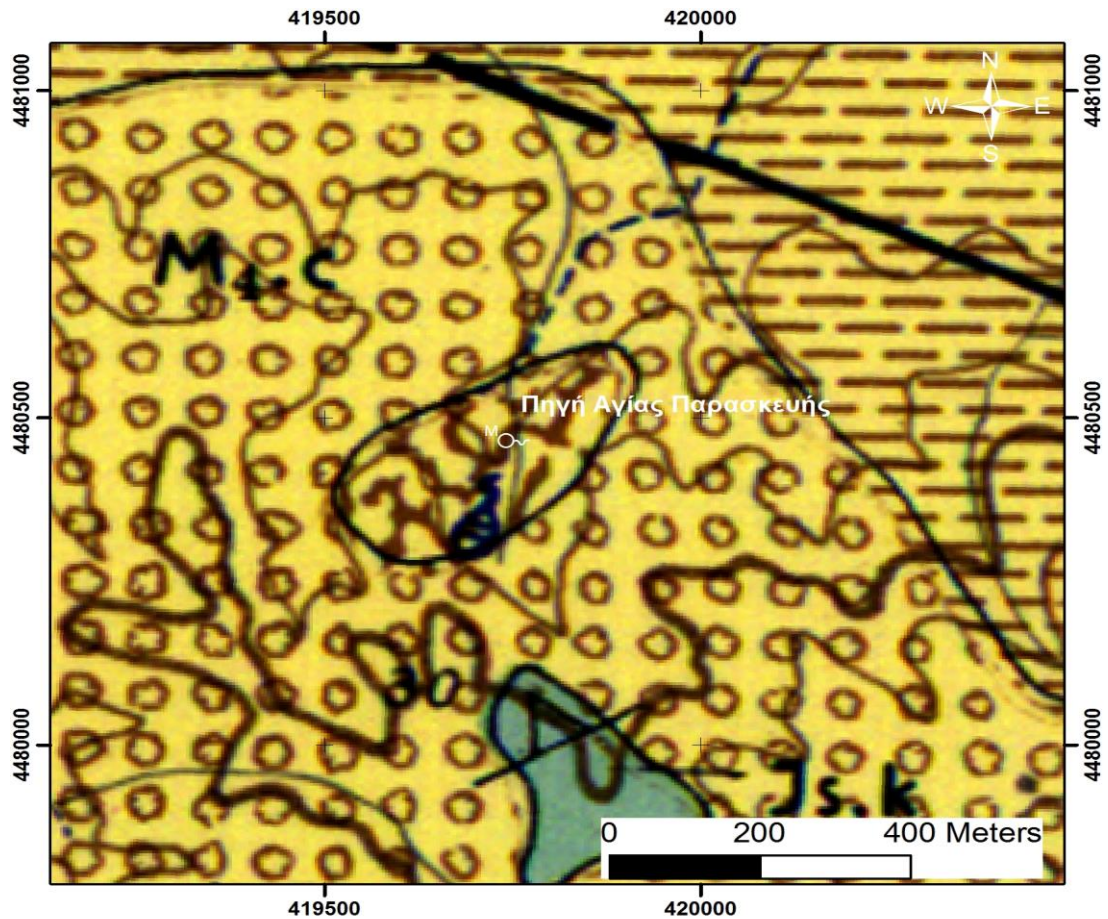
Όσον αφορά το προαλπικό υπόβαθρο της ζώνης Αξιού υπάρχουν αρκετές εμφανίσεις



Σχήμα 5. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. (Mountrakis et al., 1983).

μεταμορφωμένων πετρωμάτων που συχνά είναι συμπτυχωμένα με αλπικά ιζήματα. Τα πετρώματα αυτά είναι μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, χαλαζιακοί και χλωριτικοί σχιστόλιθοι με μικρογρανιτικές και πηγματιτικές παρεμβολές και γνεύσιοι. Σύμφωνα με ραδιοχρονολογήσεις η ηλικία αυτών των πετρωμάτων θεωρείται Παλαιοζωική. Είναι πιθανό οι εμφανίσεις αυτών των πετρωμάτων να προέρχονται από τη Σερβομακεδονική μάζα από όπου αποσπάστηκαν τεκτονικά και συμπτυχώθηκαν με τα αλπικά ιζήματα της ζώνης Αξιού. Πιο συγκεκριμένα για την υποζώνη της Παιονίας ισχύει ότι οι αλπικοί σχηματισμοί της καλύπτονται σήμερα από τα μεταλικά Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη εξάπλωση στην περιοχή της δυτικής Χαλκιδικής και έχουν μεγάλο πάχος (Μουντράκης , 1985).

Βασικό χαρακτηριστικό της υποζώνης Παιονίας είναι η λεπιοειδής τεκτονική, αποτέλεσμα της συμπίεσης του Τριτογενούς. Τα μεγαλέπια που δημιουργήθηκαν διακρίνονται σαν ξεχωριστές ενότητες με κλίσεις προς τα ΒΑ και συνεχείς εφίππευσεις προς τα Δ.



Σχήμα 6. Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη περιοχής (ΙΓΜΕ, Φύλλο Βασιλικά).

Η περιοχή στην οποία βρίσκεται η πηγή είναι στο νότιο τμήμα της λεκάνης του Ανθεμούντα. Συγκεκριμένα η πηγή βρίσκεται στη βασική σειρά κροκαλοπαγών όπου είναι ο κατώτερος και παλαιότερος σχηματισμός των Νεογενών ιζημάτων της περιοχής. Πρόκειται για το σχηματισμό του Αντωνίου. Καλύπτεται από τα ερυθροστρώματα του στρώματος της Τρίγλιας. Αυτή η μετάβαση είναι καλά ορατή στις απότομες χαράδρες της νότιας πλευράς του Ανθεμούντα. Οι τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι τοποθετούνται ως σφήνες στα ιζήματα και έχουν ασβεστούχα πηγαία προέλευση από την προέκταση των ασβεστολίθων της Β. Κασσάνδρας. Έτσι εμφανίζονται σαν μορφολογικά καλύμματα που οφείλεται στη διάβρωση των υπερκείμενων ιζημάτων. Οι γαλάζιοι ασβεστόλιθοι αποτελούν το μεσοζωικό υπόβαθρο και πρόκειται για τους ασβεστόλιθους της ζώνης Παιονίας. Οι εναλλαγές των στρωμάτων με λεπτόκοκκο (άμμος) και χονδρόκοκκο υλικό (κροκάλες) δείχνουν τη δράση ρευμάτων με μεγάλη μεταφορική ικανότητα και εποχιακή ροή (Συρίδης, 1990).

2.3 Πηγές

Πηγή (spring) είναι μια συγκεντρωμένη εκροή υπόγειου νερού που εμφανίζεται στην επιφάνεια του εδάφους ως ένα ρεύμα νερού που ρέει ελεύθερα. Η αντιδιαστολή της πηγής από διαρροή (seepage) η οποία πρόκειται για μια πιο αργή κίνηση υπόγειου νερού προς την επιφάνεια του εδάφους, είναι απαραίτητη. Το νερό στις περιοχές διαρροών μπορεί να σχηματίσει μικρά τέλματα ή ροές ή και να εξατμιστεί, ανάλογα με το μέγεθος της διαρροής, το κλίμα και την τοπογραφία.

Διάφοροι τρόποι ταξινόμησης των πηγών έχουν προταθεί χωρίς να έχει καθιερωθεί κάποιος από αυτούς. Πιο επιτυχημένες κρίνονται οι ταξινομήσεις που έχουν προταθεί στην καρστική υδρογεωλογία. Ο Bryan (1919) διέκρινε τις πηγές στις προερχόμενες: α) από τις δυνάμεις βαρύτητας (βαρυτικές πηγές) και β) από άλλες δυνάμεις εκτός της βαρύτητας (μη βαρυτικές πηγές).

α) Βαρυτικές πηγές (Gravity Springs): προέρχονται από νερό που ρέει κάτω από υδροστατική πίεση. Ο Bryan διέκρινε τους πιο κάτω τύπους :

- Πηγές ταπεινώσεων (Depression Springs): σχηματίζονται εκεί που η επιφάνεια του εδάφους τέμνει την υδροστατική ή πιεζομετρική επιφάνεια.
- Πηγές επαφής (Contact Springs): δημιουργούνται στην επαφή ενός υπερκείμενου υδροφόρου με ένα υποκείμενο, λιγότερο περατό σχηματισμό.
- Αρτεσιανές πηγές (Artesian Springs): προκύπτουν από την απελευθέρωση νερού με πίεση από αρτεσιανούς υδροφόρους, λόγω αποκάλυψης του υδροφόρου στην επιφάνεια ή μέσα από άνοιγμα στην αδιαπέρατη οροφή.
- Πηγές στεγανών πετρωμάτων (Impervious Rock Springs): δημιουργούνται από επίπεδους αγωγούς ή ρωγμές στα στεγανά συμπαγή πετρώματα.
- Ρωγμογενείς πηγές (Tabular or Fracture Springs): προέρχονται από αποστρογγυλωμένους αγωγούς (λάβες) ή από αγωγούς που σχηματίστηκαν από τη διάλυση των πετρωμάτων (καρστικοί αγωγοί) ή από ρωγμές σε στεγανό πέτρωμα που επικοινωνούν με υπόγειο νερό.

β) Μη βαρυτικές πηγές (Nongravity Springs): πρόκειται, κατά κύριο λόγο, για θερμές και μεταλλικές πηγές που το νερό τους προέρχεται από μεγάλο βάθος.

Οι Richter - Wager (in Bentz-Martini, ed., 1969) διέκριναν τους πιο κάτω τύπους πηγών:

- α) Μορφολογικές (Verengungsquellen), οφείλονται στην πλευρική μείωση της διαπερατότητας.
- β) Στρωματογενείς (Schichtquellen, Ueberlaufquellen). Το υδροφόρο στρώμα τελειώνει με φυσικό τρόπο ή λόγω διάβρωσης.
- γ) Πηγές φραγμού (Stauquellen). Το υδροφόρο στρώμα διακόπτεται από την παρουσία στεγανού στρώματος ή ρήγματος.

Οι μόνιμες πηγές (perennial springs) αποστραγγίζουν συνήθως εκτεταμένους υδροφόρους και δίνουν νερό όλο το χρόνο, ενώ οι διαλείπουσες πηγές (intermittent springs) δίνουν νερό μόνο για χρονικά διαστήματα μηνών. Μόνιμες πηγές, σχετικά σταθερής παροχής, δίνουν τα ηφαιστειακά πετρώματα και οι αμμόλοφοι. Οι περιοδικές πηγές παρουσιάζουν κανονικές, κατά το μάλλον ή ήττον, χρονικές διακυμάνσεις της παροχής τους που δεν έχουν σχέση με τις βροχοπτώσεις ή με εποχικά γεγονότα. Τέτοιες διακυμάνσεις μπορεί να προκληθούν από μεταβολές στη διαπνοή, στην ατμοσφαιρική πίεση, από την επίδραση παλλιρροιακών φαινομένων πάνω σε αρτεσιανούς υδροφόρους και από φυσικούς σίφωνες που δρουν σε υπόγειους ταμιευτήρες. Στους παράκτιους καρστικούς σχηματισμούς είναι συχνές οι εμφανίσεις παράκτιων (coastal) κα υποθαλάσσιων (submarine) καρστικών πηγών. Τέτοιες πηγές εμφανίζονται στις Μεσογειακές ακτές και στη Χαβάη (ηφαιστειακά πετρώματα).

3 Γεωφυσική έρευνα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι γεωφυσικές μέθοδοι που λαμβάνουν χώρα σε έρευνες υπόγειου νερού, γίνεται μία γρήγορη ανάλυση βασικών θεωριών που σχετίζονται με τις ηλεκτρικές μετρήσεις και παρουσιάζονται οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται στις γεωηλεκτρικές μεθόδους.

Με τη γεωφυσική έρευνα μελετάμε τη δομή και τις γεωδυναμικές διαδικασίες που λαμβάνουν δράση στο φλοιό και τον ανώτερο μανδύα της γης βάση μετρήσεων γεωφυσικών μεγεθών και την εφαρμογή φυσικών νόμων. Σκοπός της εφαρμοσμένης γεωφυσικής είναι ο εντοπισμός δομών κυρίως οικονομικού ενδιαφέροντος. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των γεωφυσικών μεθόδων διασκόπησης σε σχέση με τις γεωτρήσεις είναι ότι πρόκειται για γρηγορότερες, οικονομικότερες, μη καταστροφικές μεθόδους. Σε σχέση με τις γεωτρήσεις καλύπτουν μεγαλύτερες εκτάσεις και παρέχουν μια γενικότερη εικόνα της ευρύτερης περιοχής.

Συγκεκριμένα, στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας έλαβε χώρα ηλεκτρική τομογραφία διάταξης διπόλου, όπου με τη χρήση της μεθόδου ηλεκτρικής τομογραφίας υπολογίστηκε η ηλεκτρική αγωγιμότητα των γεωλογικών σχηματισμών του υπεδάφους.

3.1 Περιγραφή των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης

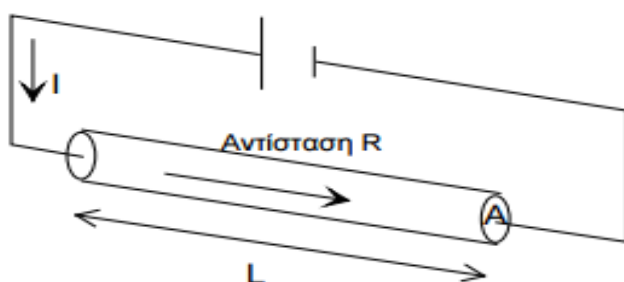
Με τις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης επιδιώκεται ο καθορισμός της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους. Χρησιμοποιείται συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα για την πραγματοποίηση μεθόδων με στόχο την ανίχνευση οριζόντιων ή κατακόρυφων διαφοροποιήσεων των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του υπεδάφους. Αντικείμενο των ηλεκτρικών μεθόδων είναι επομένως ο προσδιορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων της περιοχής έρευνας.

Η ποσότητα που μετριέται είναι η ηλεκτρική τάση, ενώ η ιδιότητα της οποίας οι μεταβολές παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση. Οι ηλεκτρικές μέθοδοι διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, τις παθητικές (Π) και τις ενεργητικές (Ε), ανάλογα με τη χρησιμοποίηση φυσικών ή τεχνητών πεδίων.

Οι κυριότερες ηλεκτρικές μέθοδοι είναι:

- Μέθοδος ειδικής αντίστασης (Ε)
- Μέθοδος ισοδυναμικών γραμμών (Ε)
- Μέθοδος επαγόμενης πολικότητας (Ε)
- Μέθοδος φυσικού δυναμικού (Π)
- Μέθοδος τελλουρικών ρευμάτων (Π)

Η ιδιότητα που μελετάται κατά κύριο λόγο στην ηλεκτρική διασκόπηση είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση, ρ , των πετρωμάτων. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση αποτελεί ένα μέτρο που δείχνει το κατά πόσο ισχυρά αντιστέκεται το υλικό στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος (Παπαζάχος, 1986). Εκφράζεται με τη σχέση: $\rho = RA/I$. Όπου R είναι η ηλεκτρική αντίσταση ενός τμήματος πετρώματος κυλινδρικού σχήματος, διατομής A και μήκους L . Η μονάδα μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο S.I. είναι το Ohm.m .



Σχήμα 7. Σχηματική απεικόνιση αγωγού υπολογισμού ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Είναι μια από τις περισσότερο μεταβαλλόμενες φυσικές ιδιότητες των ορυκτών και πετρωμάτων. Εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής, η χημική σύσταση του νερού, το πορώδες των σχηματισμών, ο τεκτονισμός των σχηματισμών (διακλάσεις, διαρρήξεις, ρήγματα), η θερμοκρασία και η πίεση.

Το αντίστροφο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα, κι εκφράζει την ευκολία ροής του ηλεκτρικού ρεύματος.

Πίνακας 1. Τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε τυπικά ορυκτά και πετρώματα.

ΥΛΙΚΟ	ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ohm·m)
Αέρας	∞
Μαρμαρυγία	$9 \times 10^{12} - 1 \times 10^{14}$
Χαλαζία	$4 \times 10^{10} - 2 \times 10^{14}$
Ασβεστίτης	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
Ορυκτό άλας	$30 - 1 \times 10^{13}$
Σιδηροπυρίτης	3×10^{-1}
Γαληνίτης	2×10^{-3}
Γάββρος	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^6$
Συμπαγής Γρανίτης	$1 \times 10^2 - 1 \times 10^6$
Αποσαθρωμένος Γρανίτης	$1 - 1 \times 10^2$
Ασβεστόλιθος	$50 - 1 \times 10^7$
Βασάλτης	$10 - 1 \times 10^7$
Ψαμμίτης	$1 - 1 \times 10^8$
Σχιστόλιθος	$20 - 2 \times 10^3$
Δολομίτης	$1 \times 10^2 - 1 \times 10^4$
Άμμος	$1 - 1 \times 10^3$
Άργιλος	$1 - 1 \times 10^2$
Εδαφικό Νερό	0,5 - 300
Θαλασσινό Νερό	0,2

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του υπεδάφους είναι ηλεκτρολυτική κυρίως επειδή τα περισσότερα ορυκτά είναι μονωτές. Ως εκ τούτου η αγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται στις ρωγμές αυτών δια μέσω του νερού στους πόρους. Το υπόγειο νερό που περιέχεται στον κενό χώρο αποτελεί φυσικό ηλεκτρολύτη.

Ο νόμος του **Archie** εκφράζει τη σχέση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των σχηματισμών του υπεδάφους με την ειδική ηλεκτρική αντίσταση του νερού και του πορώδους των σχηματισμών:

$$\rho = a \rho_v \phi^{-m}$$

Όπου: ρ_v η ειδική αντίσταση του νερού που περιέχεται στους πόρους του πετρώματος,

ϕ : ο λόγος του όγκου των πόρων προς τον ολικό όγκο του πετρώματος (πορώδες),

a, m : σταθερές : $a=1$ και $m=2$

m : συντελεστής που εκφράζει πόσο συμπαγές είναι το πέτρωμα

Η σταθερά a αντιπροσωπεύει την επίδραση των κόκκων των ορυκτών στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος και παίρνει την τιμή 1 εάν οι κόκκοι είναι τέλειοι μονωτές.

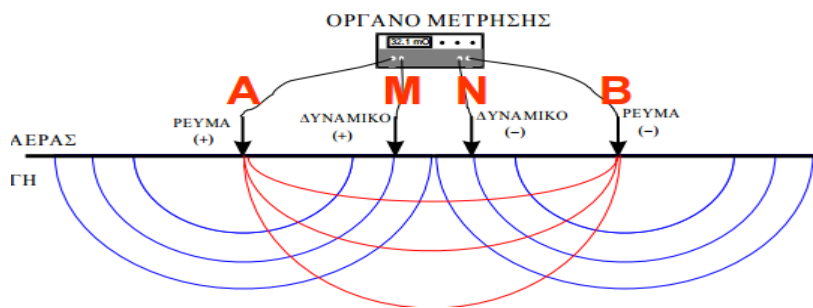
Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των πετρωμάτων και των ορυκτών είναι:

- Το είδος του πετρώματος
- Η περιεκτικότητα σε άλατα
- Η δομή και το πορώδες
- Η λιθολογία
- η θερμοκρασία

3.2 Μέθοδος της ειδικής αντίστασης

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου παράγεται με τεχνητό τρόπο ηλεκτρικό πεδίο στο έδαφος, το οποίο διαμορφώνεται με βάση τη δομή του υπεδάφους. Στόχος της μεθόδου είναι επομένως ο καθορισμός των ιδιοτήτων του τεχνητού αυτού πεδίου.

Ηλεκτρικό ρεύμα διαβιβάζεται στο έδαφος μέσω δυο ηλεκτροδίων ρεύματος A, B. Το δυναμικό ρεύματος που δημιουργείται μετριέται σε διάφορες θέσεις με δυο ηλεκτρόδια δυναμικού M, N. Οι ποσότητες που μετρώνται είναι η ένταση του ρεύματος, I , και η διαφορά δυναμικού, V_{MN} , μεταξύ των ηλεκτροδίων M, N (Σχήμα 8).



Σχήμα 8: Εφαρμογή της μεθόδου ηλεκτρικής αντίστασης με διάταξη τεσσάρων ηλεκτροδίων.

Οι μετρούμενες ποσότητες δεν είναι επαρκείς για το προσδιορισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Σε ένα ομογενές και ισότροπο μέσο η υπολογιζόμενη ειδική αντίσταση είναι σταθερή, ανεξάρτητη των σχετικών θέσεων των τεσσάρων ηλεκτροδίων και ισούται με την πραγματική ειδική αντίσταση του μέσου. Η σχέση με την οποία υπολογίζεται είναι:

$$\rho = V/I * [2\pi / (1/AM - 1/BM - 1/AN + 1/BN)] = V/I * K$$

Λόγω της ανομοιογένειας όμως του εδάφους η ηλεκτρική αντίσταση εξαρτάται εκτός από τη γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους και από το τρόπο διάταξης των ηλεκτροδίων.

Εισάγεται λοιπόν ο όρος της φαινόμενης ειδικής αντίστασης, ρ_a .

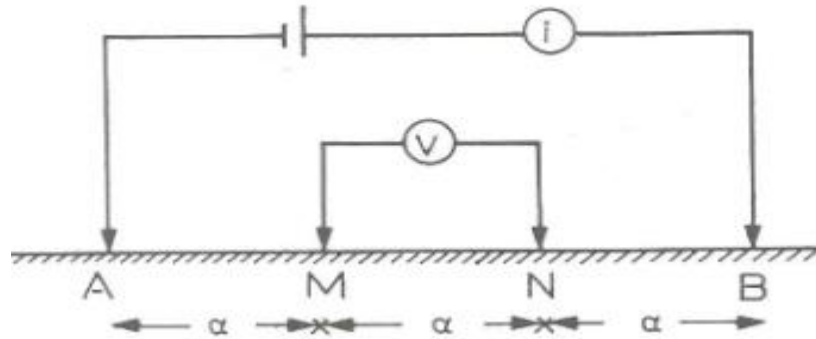
Πρόκειται για μια φυσικώς ανύπαρκτη ποσότητα, η οποία χρησιμοποιείται για το προσδιορισμό της πραγματικής ειδικής αντίστασης των σχηματισμών.

Η φαινόμενη ειδική αντίσταση δίνεται από τη σχέση: $\rho_a = K * V / I$, όπου I η ένταση του ρεύματος και V η μετρούμενη διαφορά δυναμικού. Ο όρος K αποτελεί γεωμετρικό παράγοντα και καθορίζεται από τη διάταξη των ηλεκτροδίων. Η σχέση που περιγράφει το K διαφέρει ανάλογα με τη διάταξη που εφαρμόζεται.

Οι πιο συνήθεις τρόποι διάταξης αναπτύσσονται στη συνέχεια:

Διάταξη Wenner

Κατά την εφαρμογή της διάταξης Wenner τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις σε ορισμένη γραμμή ($AM = MN = NB = a$). Σε εκτέλεση ηλεκτρικής βυθοσκόπησης η απόσταση a αυξάνεται κατά ορισμένη κάθε φορά τιμή, σε σχέση με ορισμένο κέντρο. Στη περίπτωση ηλεκτρικής χαρτογράφησης η απόσταση a παραμένει σταθερή και μετακινούνται όλα τα ηλεκτρόδια κατά μήκος ορισμένης τομής (Σχήμα 9). Η τιμή της φαινόμενης ειδικής αντίστασης χαρτογραφείται στο κέντρο κάθε διάταξης και δίνεται από τη σχέση: $\rho_a = 2\pi a \Delta V / I$.

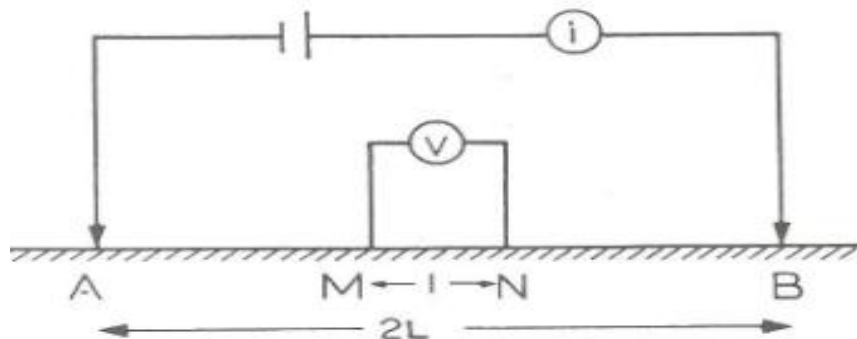


Σχήμα 9: Σχηματική απεικόνιση της διάταξης Wenner. (Παπαζάχος 1986).

➤ Διάταξη Schlumberger

Στη διάταξη αυτή τα ηλεκτρόδια δυναμικού τοποθετούνται σε πολύ μικρή απόσταση ($MN = 2l$) σε σχέση με τα ηλεκτρόδια ρεύματος ($AB = 2L$). Ισχύει δηλαδή $L \gg l$. Όταν πραγματοποιείται ηλεκτρική βυθοσκόπηση τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν σταθερά και αυξάνεται σταδιακά η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος. Η αύξηση της απόστασης γίνεται συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης. Σε γεωηλεκτρική χαρτογράφηση οι αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων παραμένουν σταθερές και μετακινούνται όλα πάνω σε ορισμένη τομή (Σχήμα 10).

Για τη φαινόμενη ειδική αντίσταση ισχύει η σχέση: $\rho_a = 2\pi a \Delta V / I$..



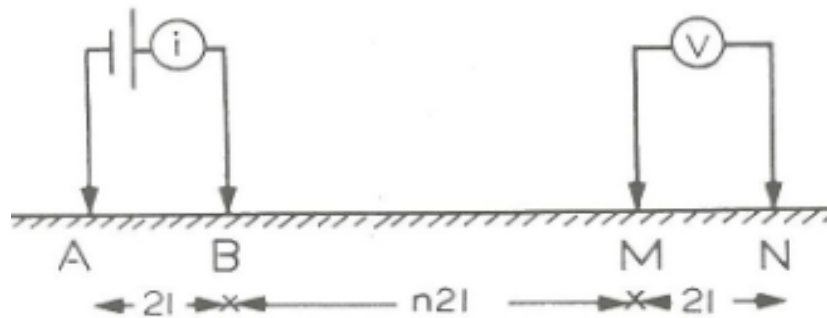
Σχήμα 10: Σχηματική απεικόνιση διάταξης Schlumberger. (Παπαζάχος 1986)

Διάταξη Διπόλου-Διπόλου

Στη περίπτωση αυτή τόσο τα ηλεκτρόδια ρεύματος όσο και τα ηλεκτρόδια δυναμικού βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους ($AB=MN=2l$), αλλά είναι αρκετά απομακρυσμένα το ένα ζεύγος ηλεκτροδίων από το άλλο ($BM=2nl$). Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με αύξηση του n κατά βήματα, όπου $n \gg 1$ (Σχήμα 11).

Η φαινόμενη ειδική αντίσταση δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_a = 2\pi n(n+1)(n+2)l \Delta V / I.$$



Σχήμα 11: Σχηματική απεικόνιση διάταξης διπόλου- διπόλου. (Παπαζάχος 1986)

➤ Διάταξη Πόλου-Διπόλου

Η διάταξη αυτή καλείται και διάταξη τριών σημείων. Πρόκειται για μια γραμμική διάταξη όπου το ένα ηλεκτρόδιο ρεύματος τοποθετείται σε μεγάλη απόσταση από τα υπόλοιπα τρία ηλεκτρόδια (εικόνα 12).

Η φαινόμενη ειδική αντίσταση δίνεται από τη σχέση: $\rho_a = [2\pi n(n+1)a] \Delta V / I.$



Σχήμα 12: Σχηματική απεικόνιση διάταξης πόλου- διπόλου.

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) παρουσιάζονται οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται βάση των αναγκών της έρευνας.

Πίνακας 2 Επιλογή διάταξης βάση του στόχου έρευνας

ΒΑΘΟΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ	MULTI-GRADIENT ΠΟΛΟΥ-ΠΟΛΟΥ
ΛΟΓΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣ ΘΟΡΥΒΟ	WENNER
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΚΑΛΥΨΗ	ΔΙΠΟΛΟΥ-ΔΙΠΟΛΟΥ ΠΟΛΟΥ –ΠΟΛΟΥ ΠΟΛΟΥ-ΔΙΠΟΛΟΥ
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΚΑΛΥΨΗ	WENNER SCHLUMBERGER

Εφαρμογές της μεθόδου ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς διαφορετικούς τομείς όπως:

- Υδρογεωλογικές έρευνες
- Γεωτεχνικές έρευνες (κατασκευή φραγμάτων, εντοπισμός πετρωμάτων, κ.α.)
- Αναζήτηση γεωθερμικών πεδίων
- Αναζήτηση μεταλλευμάτων οικονομικού ενδιαφέροντος
- Εντοπισμός τεκτονικών δομών
- Αρχαιομετρία

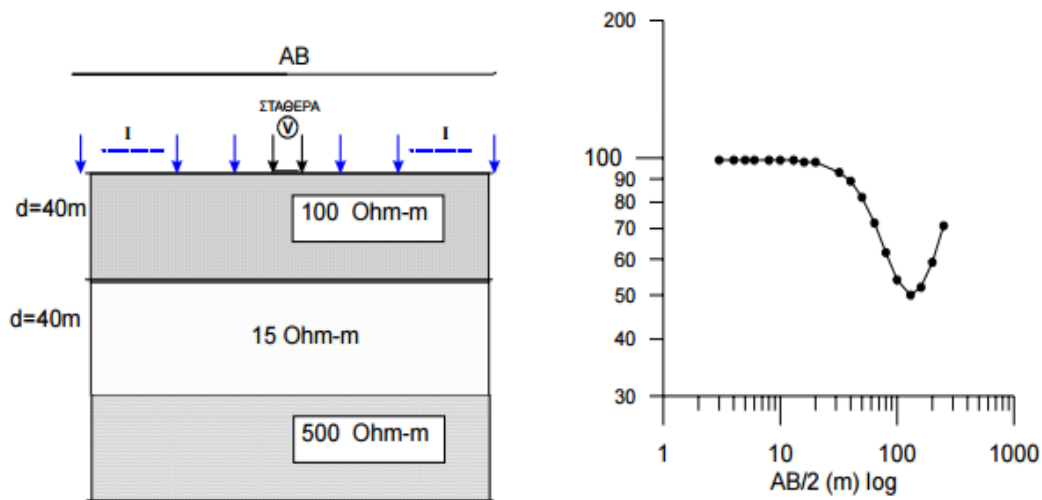
3.3 Μέτρηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

Η εφαρμογή της μεθόδου διακρίνεται σε μονοδιάστατη διασκόπηση με δύο τρόπους μέτρησης, τη βυθοσκόπηση και την όδευση, σε δισδιάστατη διασκόπηση ή και σε τριών διαστάσεων διασκόπηση.

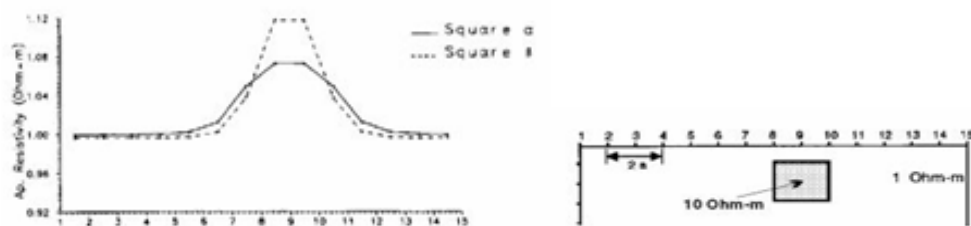
Η **βυθοσκόπηση** αφορά τη μελέτη της κατακόρυφης μεταβολής της αντίστασης. Για την επίτευξη μεγαλύτερου βάθους διασκόπησης αυξάνεται η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης με σταθερά βήματα. Οι γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου διεισδύουν σε μεγαλύτερα βάθη και αποκτάται έτσι εικόνα για τη γεωηλεκτρική δομή και βαθύτερων στρωμάτων. Στις ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις χρησιμοποιείται περισσότερο η διάταξη Schlumberger (Σχήμα 13).

Όταν πρόκειται για μετρήσεις **όδευσης-οριζοντιογραφίας** οι αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων διατηρούνται σταθερές, ενώ μετακινείται όλη η διάταξη κατά μήκος ορισμένων τομών. Επιτυγχάνεται έτσι ο προσδιορισμός της πλευρικής κατανομής της ειδικής αντίστασης, με το βάθος διασκόπησης να παραμένει σταθερό. Στις οριζόντιες ηλεκτρικές χαρτογραφήσεις χρησιμοποιείται συνήθως η διάταξη Wenner (Σχήμα 14 και Σχήμα 15).

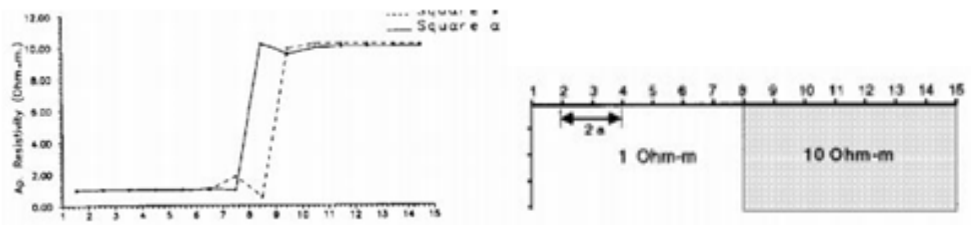
Στη **δισδιάστατη διασκόπηση** πραγματοποιείται ένας συνδυασμός των δύο παραπάνω μεθόδων παρακολουθώντας τόσο την κατακόρυφη όσο και τη πλευρική μεταβολή της αντίστασης. Η αρχική ερμηνεία γίνεται με τη χρήση ψευδοτομής, τη κατασκευή δηλαδή ενός χάρτη των φαινόμενων αντιστάσεων (Σχήμα 16).



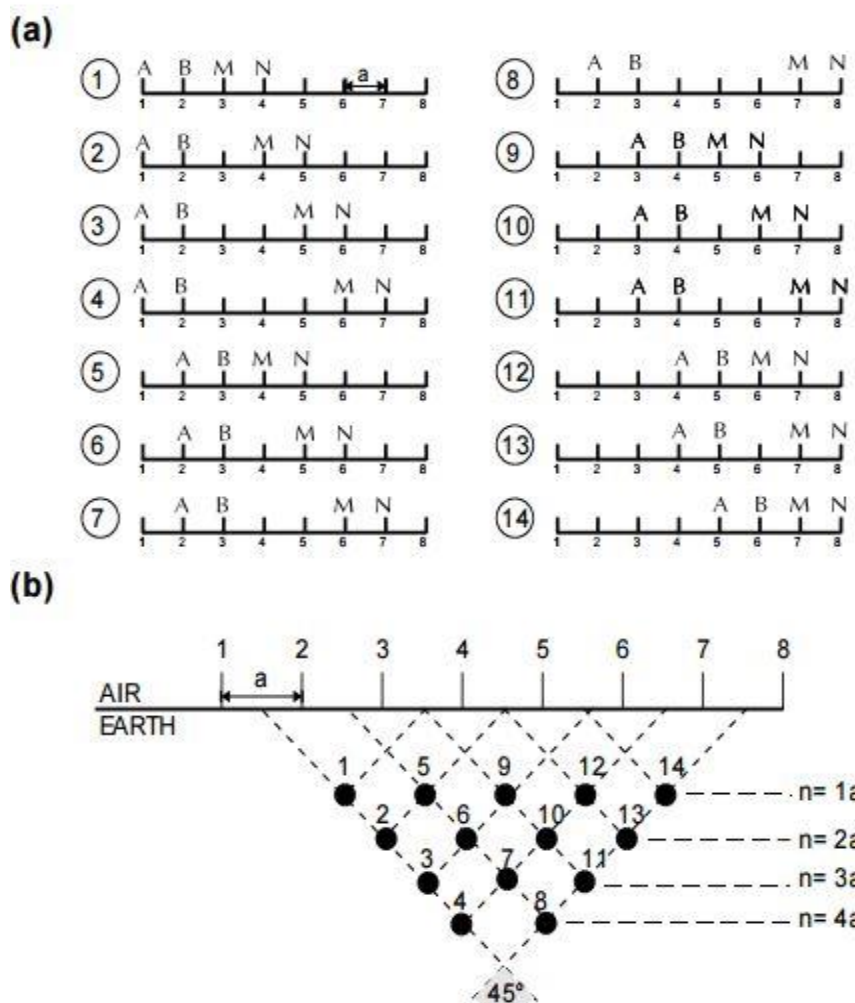
Σχήμα 13: Παραδείγματα μεταβολής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με το βάθος κατά την εκτέλεση βυθοσκόπησης με τα αντίστοιχα εδαφικά μοντέλα.



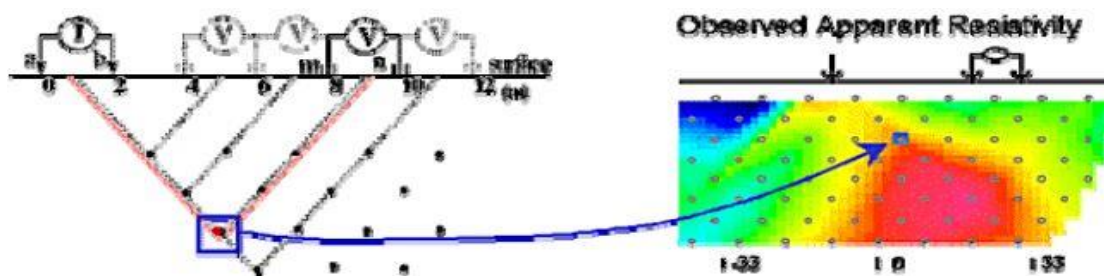
Σχήμα 14: Παράδειγμα μεταβολής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την εκτέλεση της όδευσης σε περίπτωση τοπικής ανωμαλίας



Σχήμα 15: Παράδειγμα μεταβολής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την εκτέλεση της όδευσης σε περίπτωση πλευρικής ασυνέχειας.



Σχήμα 16: Παραδείγματα διδιάστατης διασκόπησης με χρήση ψευδοτομής



Σχήμα 17: Παραδείγματα διδιάστατης διασκόπησης με χρήση ψευδοτομής.

3.4 Ηλεκτρική Τομογραφία

Με την εφαρμογή ηλεκτρικών μεθόδων επιδιώκεται ο καθορισμός της κατανομής των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του υπεδάφους. Η ηλεκτρική τομογραφία, όδευση και η βυθοσκόπηση είναι οι συνηθέστερες μέθοδοι αυτών των μεθόδων. Οι παραπάνω μέθοδοι που εφαρμόζονται ανήκουν στην κατηγορία του τεχνητά παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο διαβιβάζεται στο έδαφος δια μέσου ενός ζεύγους ηλεκτροδίων. Με ένα δεύτερο ζεύγος ηλεκτροδίων μετράται η πτώση που προκαλείται στην τάση. Η ωμική αντίσταση που υπολογίζεται από το πηλίκο των δύο αυτών μεγεθών χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με τη χρήση της οποίας προκύπτει ο υπολογισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Στην συγκεκριμένη έρευνα αξιοποιούνται οι διατάξεις τομογραφίας που μας επιτρέπουν τη μελέτη της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε δύο διαστάσεις δηλαδή οριζόντια και κατακόρυφη.

Η ηλεκτρική τομογραφία μπορεί να θεωρηθεί συνδυασμός της όδευσης και της βυθοσκόπησης. Με την ηλεκτρική τομογραφία παίρνουμε πληροφορίες για την μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης πλευρικά και σε βάθος, είναι λοιπόν μια τεχνική απεικόνισης της ηλεκτρικής δομής του υπεδάφους με τη χρήση ρευμάτων αγωγιμότητας, και πρόκειται για μέθοδο υψηλής διακριτικής ικανότητας. Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων όπως δίπολου-δίπολου, Wenner και πόλου-δίπολου). Η ύπαρξη πυκνής χωρικής κάλυψης για τη λήψη δεδομένων αποτελεί σημαντική παράμετρο για την εφαρμογή της μεθόδου. Καθίσταται απαραίτητη η χρήση ενός αυτοματοποιημένου πολύ-ηλεκτροδιακού συστήματος λήψης δεδομένων. Στόχος είναι η όσο το δυνατό περισσότερο επιτυχής ανίχνευση των πολύπλοκων δομών του υπεδάφους. Ο πολύ μεγάλος όγκος δεδομένων που προέρχεται από αυτά τα συστήματα καθιστά αναγκαία τη χρήση μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας. Χρησιμοποιούνται αυτόματες αριθμητικές τεχνικές αντιστροφής και δημιουργίας μοντέλων, βασισμένα στη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών ή των πεπερασμένων στοιχείων για ευθείς υπολογισμούς. Η διαδικασία αυτή

συντελείται με τον χωρισμό του εδάφους σε κελιά σταθερών διαστάσεων που αυξάνει όσο αυξάνει και το βάθος. Μέσω συνεχών επαναλήψεων γίνεται προσαρμογή των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων, έτσι ώστε τα δεδομένα εισόδου και το παραγόμενο μοντέλο να έρθουν σε αποδεκτή συμφωνία. Η επίδραση της τοπογραφίας αντιμετωπίζεται με την απευθείας εισαγωγή της στο πλέγμα. Έτσι, η ηλεκτρική τομογραφία χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση περιοχών με περίπλοκη γεωλογική δομή.

Βασικές αρχές της εφαρμογής

Οι έρευνες τέτοιου είδους λαμβάνουν χώρα χρησιμοποιώντας ένα μεγάλο αριθμό ηλεκτροδίων, περισσότερων από 25, τα οποία συνδέονται με ένα πολυκάναλο καλώδιο. Στη συνέχεια με φορητό υπολογιστή και με μια ηλεκτρονική μονάδα εναλλαγής συλλέγονται αυτόματα οι μετρήσεις από τα σχετιζόμενα ηλεκτρόδια. Η απόσταση των ηλεκτροδίων συνήθως είναι σταθερή.

Διαβιβάζεται στο έδαφος δια μέσου ενός ζεύγους ηλεκτροδίων A και B τεχνητά παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Έπειτα, σε ένα άλλο ζεύγος ηλεκτροδίων, M και N, υπολογίζεται η διαφορά δυναμικού που προκαλείται. Τέλος, υπολογίζεται η ηλεκτρική αντίσταση ως το πηλίκο των δύο αυτών μεγεθών και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Το βάθος διασκόπησης εξαρτάται από την απόσταση των ηλεκτροδίων: το βάθος αυξάνεται καθώς αυξάνεται και η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων. Έτσι, με βάση τις αρχές αυτές, λαμβάνεται η μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους της περιοχής μελέτης τόσο στην κατακόρυφη διεύθυνση όσο και πλευρικά.

Διάταξη ηλεκτροδίων

Η επιλογή της διάταξης μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την ακρίβεια των μετρήσεων.

Μερικοί από τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η επιλογή διάταξης που θα χρησιμοποιηθεί είναι οι εξής:

- Η γεωλογία της περιοχής μελέτης
- Το αντικείμενο της έρευνας
- Το βάθος διασκόπησης
- Η ένταση του σήματος
- Η οριζόντια κάλυψη των δεδομένων
- Η ευκολία με την οποία κάθε διάταξη μπορεί να εφαρμοστεί

3.5 Εξοπλισμός

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το όργανο SYSCAL PRO (Φωτ. 2: Το γεωηλεκτρικό όργανο SYSCAL-Pro που χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη των μετρήσεων) και δύο πολυκάναλα καλώδια 500 μέτρων. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε GPS για την ακριβή θέση των τομογραφιών και την ορθή τοποθέτηση των ηλεκτροδίων.



Φωτ. 2: Το γεωηλεκτρικό όργανο SYSCAL-Pro που χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη των μετρήσεων

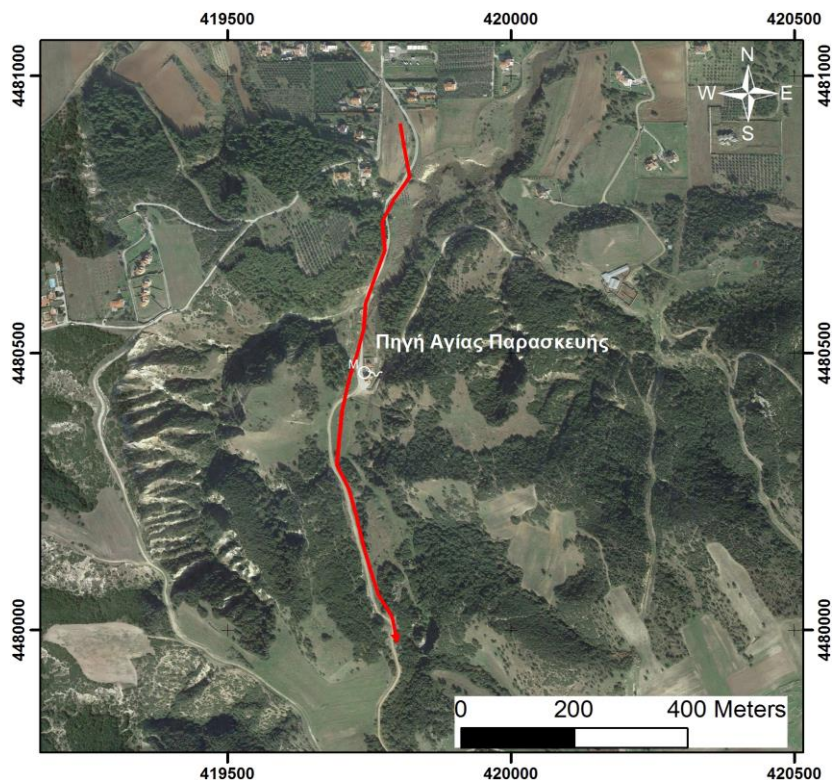
Η διεξαγωγή των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε ως εξής:

Το όργανο SYSCAL PRO, το οποίο συνδέεται με δύο πολυκάναλα καλώδια (υψηλής μηχανικής αντοχής και υψηλής αγωγιμότητας) τοποθετείται σε μέση απόσταση μαζί με το κεντρικό ηλεκτρόδιο. Τα δύο αυτά καλώδια απλώνονται σε αντίθετες κατευθύνσεις σε ευθεία διαδρομή. Κάθε 50 μέτρα τοποθετείται στο έδαφος ένα ηλεκτρόδιο. Συνολικά τοποθετούνται στο έδαφος 21 ηλεκτρόδια με τη βοήθεια μεταλλικών πασσάλων. Το κάθε ηλεκτρόδιο συνδέεται με ένα πάσσαλο με τη βοήθεια μονωτικής ταινίας έτσι ώστε να επιτευχθεί η αγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος στο έδαφος. Αφού τοποθετηθούν τα ηλεκτρόδια ελέγχεται αν είναι επιτυχής η σύνδεσή τους. Στη συνέχεια γίνεται έλεγχος για σφάλματα και ξεκινά η παροχή ρεύματος και η λήψη των μετρήσεων.

Αρχικά, εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού, ώστε να σταλεί ηλεκτρικό ρεύμα σε δύο ηλεκτρόδια ρεύματος και μετράται η διαφορά δυναμικού σε κάποιο άλλο ζεύγος ηλεκτροδίων, στα ηλεκτρόδια δυναμικού. Στη συνέχεια, μεταφέρεται ρεύμα σε δύο άλλα ηλεκτρόδια και μετράται η διαφορά δυναμικού σε κάποιο άλλο ζεύγος ηλεκτροδίων. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται σε όλους τους δυνατούς συνδυασμούς ηλεκτροδίων. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η απεικόνιση των φαινομένων ηλεκτρικών αντιστάσεων του υπεδάφους. Τέλος, γίνεται η διαδικασία της αντιστροφής για τη λήψη της πραγματικής εικόνας της ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους.

3.6 Προγραμματισμός γεωφυσικής έρευνας

Πραγματοποιήθηκε ηλεκτρική τομογραφία των 1000m με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής Θεσσαλονίκης το Δεκέμβριο του 2016.

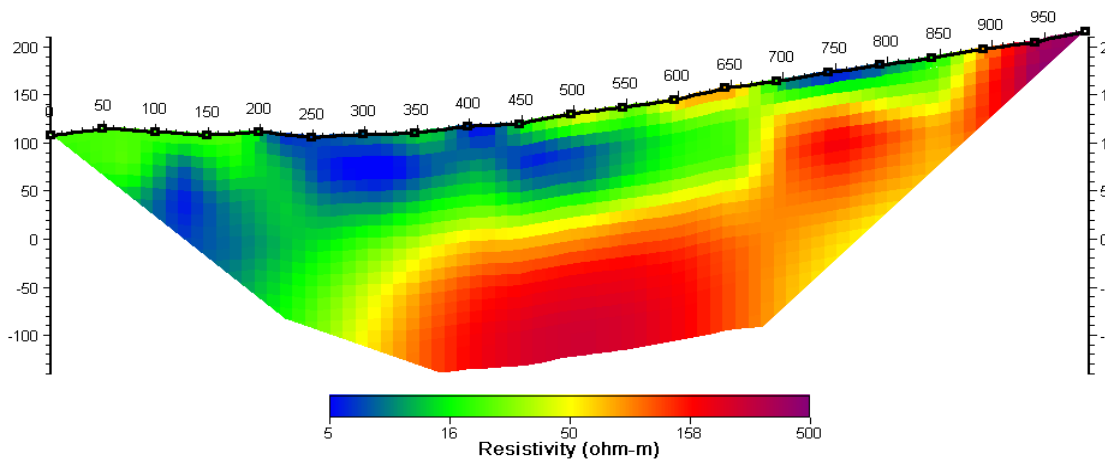


Σχήμα 18: Κόκκινη γραμμή κατά την οποία έγιναν οι μετρήσεις

Το κεντρικό ηλεκτρόδιο τοποθετήθηκε δίπλα στην πηγή και με διεύθυνση Βορρά-Νότου τοποθετήθηκαν με διάταξη διπόλου-διπόλου τα υπόλοιπα ηλεκτρόδια.

4 Αποτελέσματα και ερμηνεία

Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν και με την χρήση του προγράμματος αντιστροφής DC2dPRO και προέκυψε η παρακάτω γεωηλεκτρική εικόνα του υπεδάφους.



Σχήμα 19. Γεωηλεκτρικό μοντέλο της τομογραφίας.

Το βάθος της έρευνας είναι 200 έως 300 μέτρα.

Οι χαμηλές αντιστάσεις 5 έως 12 Ohm.m με μπλε χρώμα που παρατηρούνται ερμηνεύονται με την ύπαρξη αργιλικών σχηματισμών.

Με πράσινο χρώμα και αντιστάσεις 16-45 Ohm.m παρατηρούνται χαλικώδεις σχηματισμοί και κροκάλες οι οποίοι υδροφορούν γλυκό νερό.

Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι υψηλές τιμές αντίστασης 150-450 Ohm.m και πρόκειται για ασβεστόλιθο.

Σύμφωνα με την τομή παρατηρείται μία σειρά μεταπτωτικών ρηγμάτων στον ασβεστόλιθο οποίος βυθίζεται κλιμακωτά προς τη λεκάνη. Με βάση αυτό το μοντέλο το νερό ανέρχεται από τα ρήγματα και τροφοδοτεί τους αδρόκοκκους σχηματισμούς. Στη συνέχεια, οι αδιαπέρατοι αργιλικοί σχηματισμοί εμποδίζουν τη δίοδο του νερού σε αυτά με αποτέλεσμα να εκρέει στην επιφάνεια συνήθως με φαινόμενα υπερχειλίσης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία η πηγή μπορεί να χαρακτηριστεί ρωγμογενής, αφού οφείλεται σε τεκτονικές διεργασίες και συγκεκριμένα στα μεταπτωτικά ρήγματα στον ασβεστόλιθο. Τέλος, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως πηγή υπερχείλισης αφού το νερό δε μπορεί να εισχωρήσει στα αδιαπέρατα αργιλικά υλικά και εκρέει στην επιφάνεια.

Βιβλιογραφία

Μουντράκης, Δ.Μ.: *Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας*, UNIVERSITY STUDIO PRESS, Θεσσαλονίκη

Παπαζάχος, Β.Κ.: *Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική*, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη

Καλλέργης Γ.Α.: *Εφαρμοσμένη-Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία*, Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος Δεύτερος Τόμος, Αθήνα

Συρίδης Ε. Γεώργιος.: *Λιθοστρωματογραφική βιοστρωματογραφική και παλαιογραφική μελέτη των Νεογενών Τεταρτογενών ιζηματογενών σχηματισμών της χερσονήσου Χαλκιδικής* Διδακτορική διατριβή του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης 1990