Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΤΖΗΜΑ ΕΛΕΝΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

ΕΡΕΥΝΑ ΥΦΑΛΜΥΡΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2020

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΤΖΗΜΑ ΕΛΕΝΗ
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5552

ΕΡΕΥΝΑ ΥΦΑΛΜΥΡΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωφυσικής,
Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής

Επιβλέπων:
Βαργεμέζης Γεώργιος

Συνεπιβλέποντες:
Τσούρλος Παναγιώτης
Βουδούρης Κωνσταντίνος

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

© Τζήμα Ελένη, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωφυσικής, 2020
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
ΕΡΕΥΝΑ ΥΦΑΛΜΥΡΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ– *Διπλωματική Εργασία*

© Tzima Eleni, School of Geology, Dept. of Geophysics, 2020
All rights reserved.
Saline aquifers prospection using the resistivity tomography method– *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.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ 7
2.1. ΓΕΝΙΚΑ 7
2.2. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ 8
2.2.1. ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ 8
2.2.2. ΕΠΑΓΩΜΕΝΗ ΠΟΛΩΣΗ 10
2.3. ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΕ ΟΜΟΓΕΝΗ ΓΗ 12
2.4. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ 14
2.5. ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ 16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΒΑΣΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ 18
3.1. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΙΣΗΣ 20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 22
4.1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 23
4.2. ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΜΕΛΕΤΗ 26
4.2.1. ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ 26
4.2.2. ΔΙΑΓΡΑΦΙΕΣ (WELL-LOGGING) 27
4.3. ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ 32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εφαρμογή μεθόδων 33
5.1. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ 33
5.2. ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ-ΑΝΑΛΥΣΗ 35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 38
ΠΕΡΙΛΗΨΗ 39
ABSTRACT 39
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 40

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Γεωφυσική είναι ο κλάδος της Γεωλογίας που ασχολείται με την διερεύνηση του εσωτερικού της Γης βασιζόμενη στους νόμους της Φυσικής. Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμοσμένη Γεωφυσική, μέσω διασκοπήσεων που πραγματοποιεί, επικεντρώνεται στην μελέτη των επιφανειακών στρωμάτων της Γης, με στόχο την ανίχνευση δομών (π.χ. δόμοι άλατος) που πιθανόν θα μπορούσαν να φιλοξενούν κοιτάσματα (π.χ. πετρέλαιο, φυσικό αέριο), τον εντοπισμό υδροφόρων στρωμάτων κ.α. Οι διασκοπήσεις αυτές χωρίζονται σε μεθόδους, οι οποίες είναι οι σεισμικές, οι μαγνητικές, οι βαρυτικές, οι ηλεκτρικές, οι ηλεκτρομαγνητικές κ.α. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που προκύπτουν παρέχουν πληροφορίες για μια συγκεκριμένη ιδιότητα του υπεδάφους και με κατάλληλες τροποποιήσεις και αναλύσεις εξάγονται συμπεράσματα για την δομή του. (Παπαζάχος, 1996)

Η Υδρογεωλογία είναι η επιστήμη που πραγματεύεται τον κύκλο του νερού στην Γη, από την στιγμή που πέφτει σαν κατακρημνίσματα στην επιφάνειά της, ρέει επιφανειακά ή κατεισδύει και καταλήγει να εξατμίζεται και να ‘’επιστρέφει’’ στην ατμόσφαιρα, με αυτή την επαναλαμβανόμενη διαδικασία (Βουδούρης, 2015). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το υπόγειο νερό, η εκμετάλλευση του οποίου ολοένα και αυξάνεται. Γεωλογικές και υδρογεωλογικές μελέτες εντοπίζουν πιθανές θέσεις υδροφόρων στρωμάτων κατάλληλων για την απόληψη ποσοτήτων νερού, τέτοιων, ώστε να ικανοποιήσουν τις ανάγκες του ανθρώπου και ταυτόχρονα να μην επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα.

Στην παρούσα εργασία ερευνάται η πιθανότητα ύπαρξης υφάλμυρων υδροφορέων στην περιοχή έρευνας, με τον ακριβή προσδιορισμό της ηλεκτρικής αντίστασης των εμφανιζόμενων σχηματισμών. Ο κάθε σχηματισμός έχει ένα εύρος τιμών αντίστασης και έτσι είναι δυνατό να αναγνωριστεί μέσω αυτής. Η μέθοδος της ηλεκτρικής αυτής διασκόπησης είναι κατάλληλη για να προσεγγίσει την «εικόνα» του υπεδάφους και να διαχωρίσει τα τμήματα του υδροφόρου που πιθανόν έχουν υφαλμυρίσει.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Οι μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης έχουν ευρεία χρήση και εντοπίζουν ανωμαλίες σε μια ιδιότητα του στόχου μελέτης, σε σχέση με το περιβάλλον του. Σε περιοχές με εύκολη πρόσβαση, είναι ο οικονομικότερος τρόπος εκτίμησης της κατάστασης του υπεδάφους. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των γεωφυσικών μεθόδων είναι ότι διαταράσσουν ελάχιστα ή καθόλου την επιφάνεια του εδάφους και επίσης μπορούν να δώσουν πληροφορίες για εκτεταμένη περιοχή έρευνας. Ένα μειονέκτημα είναι ότι δεν είναι πάντα εύκολη η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της διασκόπησης και για αυτό τις περισσότερες φορές πέρα από την μελέτη γεωλογικών χαρτών απαιτείται και η αξιοποίηση όσο το δυνατόν περισσότερων δεδομένων υπάρχουν για την περιοχή (π.χ. δειγματοληπτικές γεωτρήσεις) για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων.

Παρακάτω, σύμφωνα με τον Παπαζάχο (1996) αναφέρονται περιληπτικά οι κυριότεροι μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης. Παρουσιάζονται οι παράμετροι που μετρούνται και πως αυτές αξιοποιούνται, ώστε να ληφθούν συμπεράσματα για την δομή του υπεδάφους.

Στις σεισμικές μεθόδους παράγονται τεχνητά σεισμικά κύματα από μια πηγή (π.χ. χτύπημα σφυριού σε μεταλλική πλάκα) και μετράται ο χρόνος διαδρομής τους σε καθορισμένες θέσεις που έχουν τοποθετηθεί τα γεώφωνα. Με χρήση τύπων υπολογίζεται η ταχύτητα των κυμάτων και εκτιμάται, βάση αυτής, η δομή του υπεδάφους, με τον διαχωρισμό του σε διαφορετικά στρώματα και την προσέγγιση του πάχους τους.

Στις βαρυτικές μετρούνται οι μεταβολές της έντασης του πεδίου βαρύτητας της Γης, ώστε να εντοπιστούν οι διαφορές πυκνότητας των σχηματισμών του υπεδάφους και να προσδιοριστεί η σύστασή του (ιζηματογενές, πυριγενές, μεταμορφωμένο πέτρωμα).

Αντίστοιχα, στις μαγνητικές μετρούνται οι ανωμαλίες της έντασης του μαγνητικού πεδίου της Γης για να εντοπιστούν μαγνητικά ορυκτά, που για παράδειγμα περιέχονται σε μεταλλεύματα ή συνυπάρχουν με εκμεταλλεύσιμα μη μαγνητικά ορυκτά.

Στις ηλεκτρικές επιδιώκεται η μέτρηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και στις ηλεκτρομαγνητικές η κατανομή της ειδικής αγωγιμότητας με σκοπό τον διαχωρισμό

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

των τμημάτων που είναι καλοί ή κακοί αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος και την κατά προσέγγιση εκτίμηση της σύστασής τους.

2.2. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην παρούσα εργασία θα εφαρμοστούν οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης, διότι είναι οι πιο κατάλληλες να ξεχωρίσουν τους υφάλμυρους υδροφορείς. Η σύσταση του υφάλμυρου υδροφορέα ευνοεί την διάδοση του ηλεκτρικού ρεύματος, με αποτέλεσμα η ειδική ηλεκτρική αντίσταση να εμφανίζει χαμηλότερες τιμές σε σχέση με του γλυκού νερού.

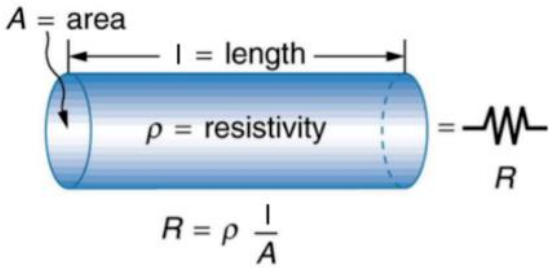
Οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης χωρίζονται στις μεθόδους της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, της επαγόμενης πόλωσης, του φυσικού δυναμικού και των τελλουρικών ρευμάτων. Εφαρμογή στην υδρογεωλογία έχουν κυρίως οι δύο πρώτες μέθοδοι και γι' αυτό το λόγο θα αναλυθούν περαιτέρω. Οι μέθοδοι αυτές πραγματοποιούνται με την χρήση τεχνητά παραγόμενων ηλεκτρικών ρευμάτων, τα οποία εισάγονται στο έδαφος μέσω δύο ηλεκτροδίων (A, B) και με την τοποθέτηση δύο ακόμα ηλεκτροδίων (M, N), ώστε να μετρηθεί η διαφορά δυναμικού σε αυτά (Ellis, 1999 από Martins et al, 2016). Στόχος είναι να καθοριστεί η ειδική ηλεκτρική αντίσταση και η φορτιστικότητα, αντίστοιχα, των σχηματισμών του υπεδάφους.

2.2.1. ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση (resistivity), ρ, εκφράζει την δυσκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει τα επιφανειακά στρώματα του φλοιού. Για ένα κυλινδρικό τμήμα ενός πετρώματος, η ειδική αντίσταση προκύπτει από τη σχέση:

$$\rho = \frac{R \cdot A}{L} \qquad (1)$$

όπου, R είναι η ηλεκτρική αντίσταση του πετρώματος, A η διατομή του (area) και L το μήκος του (length). Η μονάδα μέτρησης της ειδικής αντίστασης είναι το 1Ωm.



Εικόνα 1: Ειδική ηλεκτρική αντίσταση κυλινδρικού σώματος.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Η ειδική αγωγιμότητα, σ, είναι το αντίστροφο της ειδικής αντίστασης και μετράται σε Siemens/m:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση εξαρτάται από κάποιους παράγοντες όπως το πορώδες, και τη θερμοκρασία του σχηματισμού που μελετάται. Το πορώδες παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, καθώς όσο πιο μεγάλο είναι, τόσο αυξάνεται και ο όγκος του νερού που παρεμβάλλεται μεταξύ των κόκκων, με συνέπεια να μειώνεται σημαντικά η ειδική ηλεκτρική αντίσταση. Αυτό εκφράζεται ποσοτικά με τον νόμο του Archie (Archie, 1942 από Glover, 2016) από την σχέση (3):

$$\rho_a = \rho_w \cdot a \cdot \phi^{-m} \quad (3)$$

όπου, ρ_a είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση, ρ_w είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του νερού που εμπεριέχεται στους πόρους, φ είναι το πορώδες (όγκος πόρων προς ολικό όγκο πετρώματος) και α και m, παράμετροι που σχετίζονται με τη φύση και τη συνεκτικότητα του γεωλογικού σχηματισμού. Οι συνήθεις τιμές που δίδονται στις παραμέτρους αυτές είναι a=1 και m=2.

Όσον αφορά την θερμοκρασία, επηρεάζει και αυτή την τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Η σχέση που συνδέει την ειδική ηλεκτρική αντίσταση κάποιου ηλεκτρικά αγώγιμου πετρώματος με την θερμοκρασία είναι η σχέση (4):

$$\rho_\theta = \frac{\rho_{18}}{1 + a_\theta \cdot (\theta - 18^0)} \quad (4)$$

όπου, ρ_θ και ρ_{18} είναι η αντίσταση σε θ°C και 18°C, αντίστοιχα και α_θ είναι ο θερμικός παράγοντας ειδικής αντίστασης που ισούται περίπου με 0,025/°C (Παπαζάχος, 1996).

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται κάποιες ενδεικτικές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τον αέρα, το νερό (θαλασσινό και γλυκό), μερικά ορυκτά και πετρώματα. Η αντίσταση του αέρα είναι άπειρη, των πυριγενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων αρκετά μεγάλη και των ιζηματογενών πετρωμάτων σημαντικά μικρότερη.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

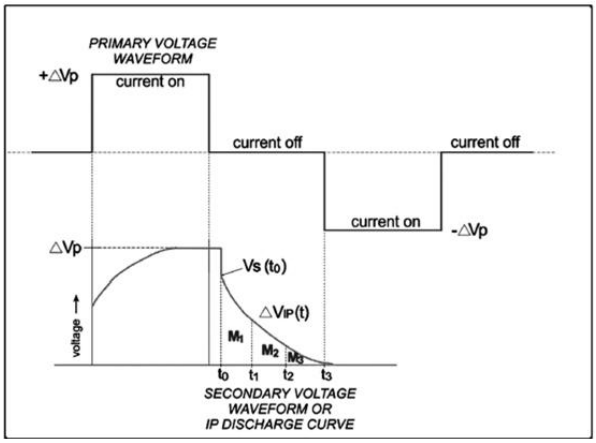
Material	Resistivity (Ωm)
Air	
Pyrite	0,01 - 100
Quartz	500 – 800.000
Calcite	1×10^{12}- 1×10^{13}
Rock Salt	30 - 1×10^{13}
Granite	200 – 100.000
Andesite	$1,7 \times 10^{2}$ – 45×10^{4}
Basalt	200- 100.000
Limestones	500 – 10.000
Sandstones	200 – 8.000
Shales	20 – 2.000
Sand	1 – 1.000
Clay	1 – 100
Ground Water	0,5 – 300
Sea Water	0,2
Magnetite	0,01 – 1.000
Dry Gravel	600 – 10.000
Alluvium	10 – 800
Gravel	100 – 600

Πίνακας 1: Ενδεικτικές τιμές της ειδικής αντίστασης. (Jamaluddin και Umar, 2018)

2.2.2. ΕΠΑΓΟΜΕΝΗ ΠΟΛΩΣΗ

Στην μέθοδο της επαγόμενης πόλωσης αρχικά εισάγεται ρεύμα (συνεχές ή εναλλασσόμενο) στο έδαφος από τα ηλεκτρόδια ρεύματος και στην συνέχεια διακόπτεται η παροχή του. Υπό κανονικές συνθήκες το δυναμικό μηδενίζεται ακαριαία, ωστόσο παρατηρούνται κάποιες θέσεις στις οποίες στα ηλεκτρόδια δυναμικού συνεχίζουν να μετρούνται τιμές μη μηδενικές, που όμως μειώνονται εκθετικά με τον χρόνο (Παπαζάχος, 1996). Στόχος της διασκόπησης αυτής είναι ο προσδιορισμός της ύπαρξης αυτών των θέσεων, γεγονός που θα συνεπάγεται και την εμφάνιση χαρακτηριστικών γεωλογικών σχηματισμών.

Σχηματικά η διαφορά δυναμικού παρουσιάζεται στην εικόνα 2 ,όπου από την αρχική τάση Vp που είχε πριν την διακοπή, μεταπίπτει απότομα στην Vs μετά την



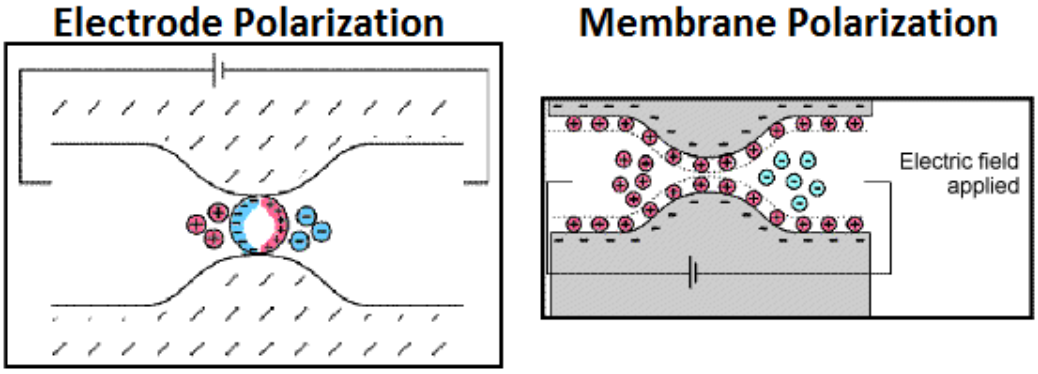
Εικόνα 2: Διάγραμμα ΔV-t κατά την μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (πάνω) και της επαγόμενης πόλωσης (κάτω). (Martins et al, 2016)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

διακοπή και συνεχίζει να μειώνεται εκθετικά με τον χρόνο, μέχρις ότου μηδενιστεί. Αυτό συμβαίνει, γιατί κάποια μεταλλικά ορυκτά (μαγνητίτης, σιδηροπυρίτης, γαληνίτης) ή και αργιλικά ορυκτά έχουν την τάση να δρουν ως πυκνωτές και να πολώνουν τα ηλεκτρικά φορτία.

Οι δύο τρόποι πόλωσης του υπεδάφους (εικόνα 3) είναι η πόλωση ηλεκτροδίων (electrode polarization), που συμβαίνει στους κόκκους μεταλλικών ορυκτών και η πόλωση μεμβράνης (membrane polarization), που εμφανίζεται στα πετρώματα που έρχονται σε επαφή με ηλεκτρολύτες. Κατά την εισαγωγή του ρεύματος στο υπέδαφος, στις θέσεις αυτές τα θετικά και αρνητικά φορτία τείνουν να προσανατολιστούν και να διαταχθούν αντιδιαμετρικά του μεταλλικού κόκκου ή της επιφάνειας επαφής του πετρώματος με τον πορώδη σχηματισμό (ηλεκτρολύτη). Όταν, όμως, σταματάει η τάση του ρεύματος, τα ιόντα που έχουν δημιουργηθεί, επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση και στην διάρκεια αυτού του χρόνου οι θέσεις αυτές δρουν ως ηλεκτρικές πηγές. (Παπαζάχος, 1996)



Εικόνα 3: Τρόποι πόλωσης του εδάφους.

Οι ποσότητες που μετριούνται και έχουν ενδιαφέρον για τους γεωφυσικούς είναι η πολικότητα (P) και η φορτιστικότητα (M) που δίνονται από τις σχέσεις (5) και (6):

$$P = \frac{V_{(t1)}}{V_P} \qquad (5)$$

όπου, V_{t1} είναι η τάση σε χρόνο t1 (εικόνα 2) και Vp είναι η αρχική τάση πριν την διακοπή του ρεύματος.

$$M = \frac{M_2}{V_p} = \frac{1}{V_p} \cdot \int_{t1}^{t2} V(t)\, dt \qquad (6)$$

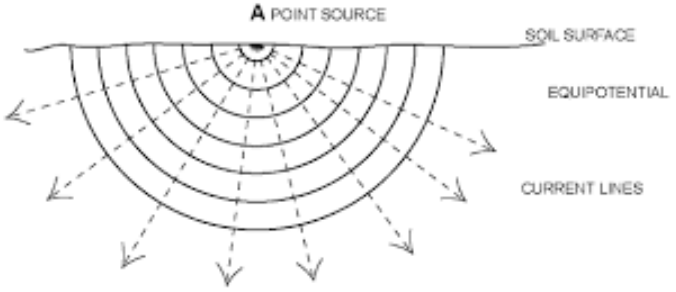
όπου, M_2 το εμβαδόν που σχηματίζεται από την εκθετική καμπύλη και τον άξονα των χρόνων μεταξύ t_1 και t_2 (εικόνα 2) και V_p η αρχική τάση.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

2.3. ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΕ ΟΜΟΓΕΝΗ ΓΗ

Αν θεωρηθεί ότι η Γη είναι ομογενής και τοποθετηθεί ένα ηλεκτρόδιο Α (point source) στην επιφάνειά της (soil surface), από το οποίο εισάγεται ηλεκτρικό ρεύμα σε αυτήν, τότε η κατανομή του ρεύματος θα είναι σαν αυτή της εικόνας 4. Όπως φαίνεται, το ρεύμα από το ηλεκτρόδιο Α διαδίδεται σφαιρικά του σημείου προς όλες τις κατευθύνσεις (current lines) μόνο μέσα στο έδαφος, σχηματίζοντας νοητά ημισφαίρια διαφόρων ακτινών. Ωστόσο, δεν διαδίδεται προς την ατμόσφαιρα, καθώς ο αέρας έχει μεγαλύτερη αντίσταση και προτιμάται η κίνηση προς το πιο αγώγιμο μέσο.



Εικόνα 4: Διάδοση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στην Γη. (Samouëlian et al, 2006)

Από τον γενικευμένο νόμο του Ohm προκύπτει ότι το δυναμικό σε μια ορισμένη απόσταση r από έναν θετικό πόλο που βρίσκεται πάνω στην επιφάνειάς της δίνεται από την σχέση (7):

$$V = \frac{\rho i}{2\pi r} \quad (7)$$

όπου, ρ η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων της, i η ένταση του ρεύματος και 2πr είναι το αποτέλεσμα της ολοκλήρωσης του εμβαδού του ημισφαιρίου ($S_{ημ}=2\pi r^2$). Αν ο πόλος είναι αρνητικός, τότε το δεύτερο μέλος της σχέσης (7) είναι αρνητικό.

Στην περίπτωση που ο θετικός πόλος βρίσκεται θαμμένος σε κάποιο βάθος μέσα στην επιφάνεια της Γης, τότε η κίνηση του ρεύματος σχηματίζει νοητές σφαίρες με κέντρο το ηλεκτρόδιο και αυτή τη φορά το δυναμικό δίνεται από τον τύπο:

$$V = \frac{\rho i}{4\pi r} \quad (8)$$

Για αρνητικό πόλο, το δεύτερο μέλος της εξίσωσης είναι αρνητικό.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

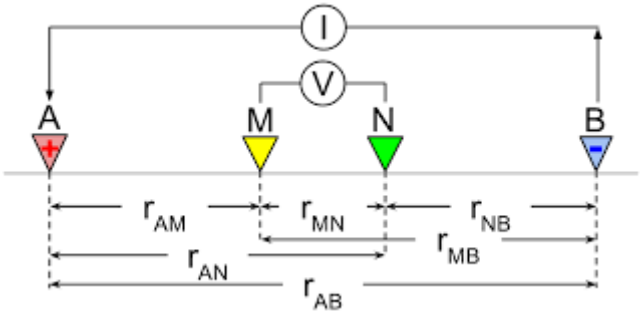
Στην γεωφυσική απαιτείται παραπάνω από ένα ηλεκτρόδιο για να γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί, οπότε κρίνεται αναγκαίο να προσδιοριστεί η διαφορά δυναμικού σε ένα ηλεκτρόδιο λόγω της ύπαρξης δύο πηγών ρεύματος. Έστω, μια διάταξη τεσσάρων ηλεκτροδίων, εκ των οποίων τα δύο είναι ρεύματος (A,B) και τα άλλα δυναμικού (M,N). Το δυναμικό που δημιουργείται στο ηλεκτρόδιο Μ λόγω της ύπαρξης του θετικού πόλου Α και του αρνητικού πόλου Β υπολογίζεται από τον τύπο:

$$V_M = \frac{\rho i}{2\pi}\left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{MB}}\right) \quad (9)$$

Ομοίως, για το σημείο Ν:

$$V_N = \frac{\rho i}{2\pi}\left(\frac{1}{r_{AN}} - \frac{1}{r_{NB}}\right) \quad (10)$$

όπου, ρ η ειδική ηλεκτρική αντίσταση, i η ένταση το ρεύματος που εισάγεται από τα ηλεκτρόδια ρεύματος και r_{AM} , r_{MB} , r_{AN} , r_{NB} οι αποστάσεις των αντίστοιχων ηλεκτροδίων.



Εικόνα 5: Σχηματική αναπαράσταση των αποστάσεων τεσσάρων ηλεκτροδίων κατά την μέτρηση της διαφοράς δυναμικού.

Άρα, η διαφορά δυναμικού των σημείων Μ, Ν που οφείλεται στα ηλεκτρόδια ρεύματος Α,Β δίνεται από την σχέση:

$$V_{MN} = V_M - V_N = \frac{\rho i}{2\pi}\left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{MB}} - \frac{1}{r_{AN}} + \frac{1}{r_{NB}}\right) \quad (11)$$

Λύνοντας την εξίσωση ως προς «ρ» προκύπτει σύμφωνα με τους Scollar et al, (1990) από Samouëlian et al, (2003) ο τύπος 12:

$$\rho = \frac{V_{MN}}{i}\left(\frac{2\pi}{\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{MB}} - \frac{1}{r_{AN}} + \frac{1}{r_{NB}}}\right) \quad (12)$$

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Όπου, ο παρονομαστής του κλάσματος της παρένθεσης ονομάζεται γεωμετρικός παράγοντας, συμβολίζεται με K ($K=\frac{1}{r_{AM}}-\frac{1}{r_{MB}}-\frac{1}{r_{AN}}+\frac{1}{r_{NB}}$) και εξαρτάται από την διάταξη των ηλεκτροδίων. Αυτό σημαίνει ότι οι αποστάσεις στις οποίες τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια κατά την διασκόπηση επηρεάζουν το αποτέλεσμα και γι' αυτό είναι αναγκαία η ύπαρξη συγκεκριμένων διατάξεων για την βέλτιστη συνεννόηση των επιστημόνων όσον αφορά την σύγκριση των αποτελεσμάτων.

2.4. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ

Η Γη, όμως, ως γνωστόν δεν είναι ομογενής σε όλη την έκταση της, αντιθέτως παρουσιάζει σημαντική ανομοιογένεια και στις τρεις διαστάσεις. Έτσι, είναι δύσκολη η μέτρηση της πραγματικής ειδικής αντίστασης, ρ, των επιμέρους στρωμάτων αυτής αφού διαφοροποιείται στο χώρο. Γι' αυτό τον λόγο στην διασκόπηση, μετράται η φαινόμενη αντίσταση, ρ_a, που είναι συνάρτηση των πραγματικών αντιστάσεων των διάφορων στρωμάτων της, των ορίων τους και της θέσης των ηλεκτροδίων (Frohlish et al, 1994). Από την φαινόμενη αντίσταση, μέσω τροποποιήσεων και επεξεργασίας των δεδομένων, προσεγγίζεται η πραγματική αντίσταση. Για ομογενείς σχηματισμούς η φαινόμενη αντίσταση ταυτίζεται με την πραγματική (Loke, 2012 από Garofalo, 2014).

Η φαινόμενη αντίσταση υπολογίζεται από την εξίσωση (12) και εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος του εισάγεται στην Γη, το δυναμικό που μετράται και τον γεωμετρικό παράγοντα (K), δηλαδή από τις αποστάσεις των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού αφού λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό της. Γι' αυτό, ανάλογα με την κάθε διάταξη, ο γεωμετρικός παράγοντας παίρνει διαφορετική τιμή.

Έτσι, χρησιμοποιούνται ευρέως κάποιες συγκεκριμένες διατάξεις για να είναι εύκολοι οι υπολογισμοί των αποτελεσμάτων, αλλά και για πρακτικούς σκοπούς (π.χ. ελάχιστο απαιτούμενο μήκος καλωδίων). Οι πιο γνωστές διατάξεις είναι οι Wenner, Schlumberger και διπόλου-διπόλου που φαίνονται στην εικόνα 6 και περιγράφονται στην συνέχεια.

- Διάταξη Wenner:

  Τα ηλεκτρόδια διατάσσονται σε μια ευθεία σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, έστω «α». Εξωτερικά βρίσκονται τα ηλεκτρόδια ρεύματος και εσωτερικά τους τα ηλεκτρόδια δυναμικού. Η φαινόμενη αντίσταση αυτής της διάταξης υπολογίζεται από τον τύπο:

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{i} \quad (13)$$

με γεωμετρικό παράγοντα K=2πα.

- Διάταξη Schlumberger:

Στην διάταξη αυτή τα ηλεκτρόδια ρεύματος βρίσκονται σε πολύ μεγαλύτερη απόσταση από ότι τα ηλεκτρόδια δυναμικού. Έστω, «2L» η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος και «2l» η απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού. Η φαινόμενη αντίσταση είναι:

$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2l} \frac{\Delta V}{i} \quad (14)$$

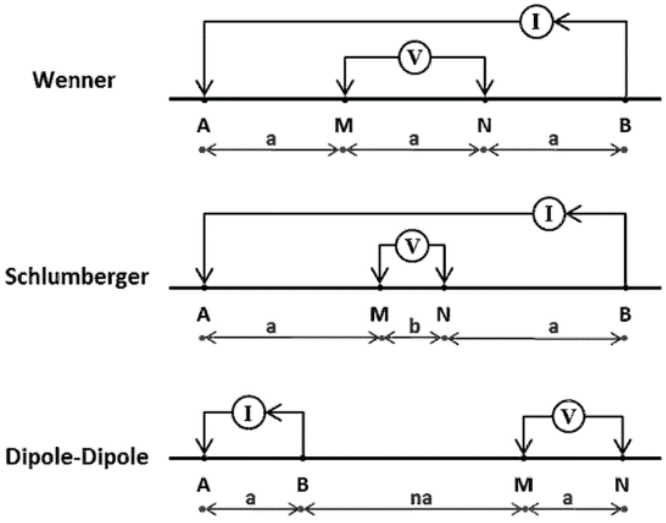
με γεωμετρικό παράγοντα $K = \frac{\pi L^2}{2l}$.

- Διπόλου-διπόλου:

Στην διάταξη αυτή, τα ηλεκτρόδια ρεύματος και τα ηλεκτρόδια δυναμικού βρίσκονται σε πολύ μεγάλη απόσταση μεταξύ τους, έστω «n2l». Η απόσταση των δύο ηλεκτροδίων ρεύματος, «2l», είναι ίδια με την απόσταση των δύο άλλων ηλεκτροδίων. Η φαινόμενη αντίσταση δίνεται από την σχέση:

$$\rho_a = [2\pi n(n+1)(n+2)] \frac{\Delta V}{i} \quad (15)$$

με γεωμετρικό παράγοντα, $k = 2\pi n(n+1)(n+2)$.



Εικόνα 6: Σχηματική αναπαράσταση διατάξεων ηλεκτροδίων. (Garofalo, 2014.)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

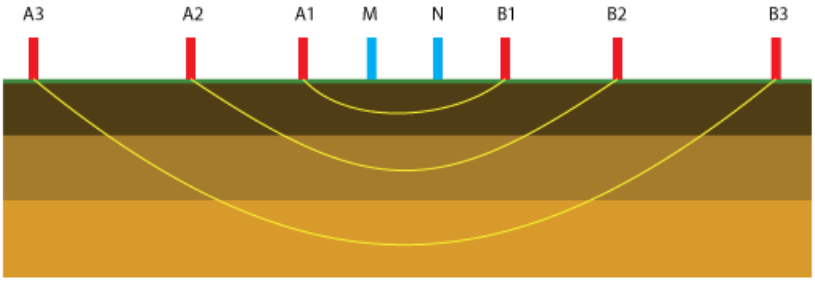
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

2.5. ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Οι τρόποι με τους οποίους λαμβάνονται οι μετρήσεις κατά την εφαρμογή των ηλεκτρικών διασκοπήσεων διαφέρουν ανάλογα με τον σκοπό της κάθε έρευνας. Υπάρχουν τρείς τρόποι απεικόνισης του υπεδάφους, η βυθοσκόπηση, η όδευση και η δισδιάστατη διασκόπηση (τομογραφία).

Η βυθοσκόπηση χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που επιδιώκεται η συλλογή πληροφοριών κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, δηλαδή προσδιορίζεται η στρωματογραφία της περιοχής έρευνας. Κατά την διαδικασία της βυθοσκόπησης, αρχικά τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια ρεύματος, έτσι ώστε το επιφανειακό σημείο της κατακόρυφης στήλης για την οποία θα ληφθούν δεδομένα, να βρίσκεται στο μέσο της απόστασής τους. Ομοίως, τοποθετούνται και τα ηλεκτρόδια δυναμικού συμμετρικά από το σημείο ενδιαφέροντος και εσωτερικά των ηλεκτροδίων ρεύματος.

Στη συνέχεια, απομακρύνονται από την αρχική τους θέση τα ηλεκτρόδια (είτε του ρεύματος, είτε και τα τέσσερα ανάλογα με την διάταξη που χρησιμοποιείται), κατά ίσες πάντα αποστάσεις και λαμβάνονται σταδιακά πληροφορίες κατά βάθος. Εμπειρικά, το βάθος της διασκόπησης είναι περίπου το 1/3 της απόστασης του αναπτύγματος των ηλεκτροδίων. Η διαδικασία αυτή φαίνεται σχηματικά στην εικόνα 7, όπου χρησιμοποιείται η διάταξη του Schlumberger.



Εικόνα 7: Διαδικασία βυθοσκόπησης με την διάταξη του Schlumberger.

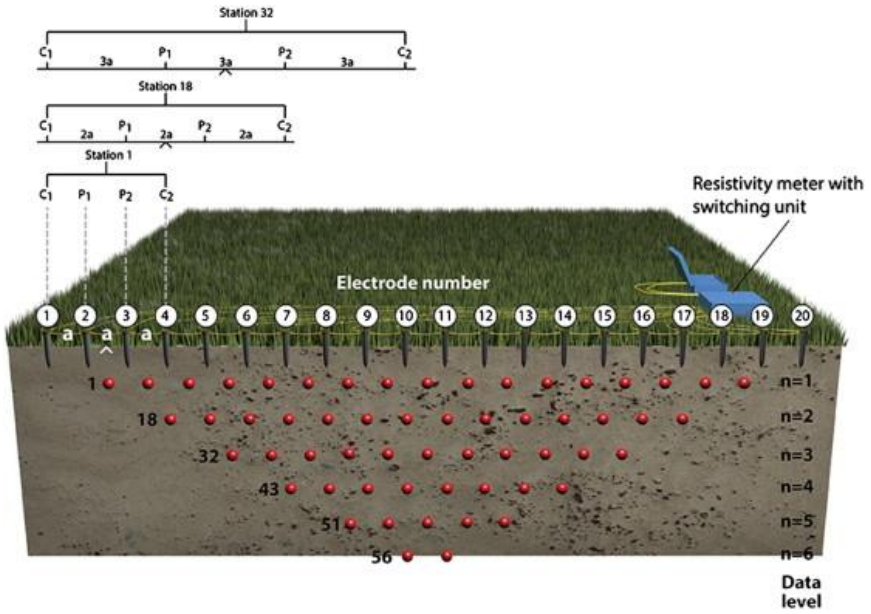
Η όδευση, από την άλλη, προτιμάται όταν το ενδιαφέρον της έρευνας επικεντρώνεται σε μεταβολές στην οριζόντια διεύθυνση, δηλαδή πλευρικές διαφοροποιήσεις. Κατά την όδευση, τα τέσσερα ηλεκτρόδια μετακινούνται πλευρικά με σταθερό βήμα, διατηρώντας την αρχική μεταξύ τους απόσταση. Η απόσταση αυτή ορίζεται κάθε φορά από την διάταξη που χρησιμοποιείται. Η κάθε μέτρηση, πραγματοποιείται στο μέσο της διάταξης των τεσσάρων ηλεκτροδίων και η διαδικασία της μετακίνησης των ηλεκτροδίων επαναλαμβάνεται μέχρι να ληφθούν οι απαραίτητες μετρήσεις για όλο το μήκος της όδευσης.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Η δισδιάστατη διασκόπηση αποτελεί συνδυασμό των δύο προηγούμενων τρόπων λήψης μετρήσεων, με αποτέλεσμα την απεικόνιση του εδάφους τόσο κατά την κατακόρυφη όσο και κατά την οριζόντια διεύθυνση. Στην εικόνα 8, φαίνονται σχηματικά τα σημεία μέτρησης μιας δισδιάστατης διασκόπησης με την μέθοδο του Wenner.

Τα ηλεκτρόδια που θα χρησιμοποιηθούν (π.χ. 20 ηλεκτρόδια) τοποθετούνται σε σταθερή μεταξύ τους απόσταση, «α», σε όλο το μήκος της περιοχής ενδιαφέροντος. Ο χειριστής του οργάνου ορίζει το πρόγραμμα που θα εκτελεστεί και τα ηλεκτρόδια αυτόματα παίρνουν τις θέσεις είτε των ηλεκτροδίων ρεύματος είτε του δυναμικού ανάλογα και με την διάταξη που θα εφαρμοστεί. Το ίδιο ηλεκτρόδιο μπορεί κατά την πρώτη μέτρηση να είναι ηλεκτρόδιο δυναμικού, αλλά στην δεύτερη μέτρηση να είναι ηλεκτρόδιο ρεύματος, διότι ουσιαστικά πραγματοποιείται όδευση και η διάταξη μετακινείται κατά μήκος.



Εικόνα 8: Σχηματική αναπαράσταση των μετρήσεων μιας δισδιάστατης διασκόπησης. (Loke et al, 2013)

Οι Samouëlian et al, 2003 περιγράφουν την διαδικασία της εικόνας 8 ως εξής:

Η πρώτη μέτρηση γίνεται με τα ηλεκτρόδια 1, 2, 3, 4 από τα οποία το 1 και 4 είναι ηλεκτρόδια ρεύματος, το 2 και 3 δυναμικού και η σημειακή πληροφορία που λαμβάνεται είναι στο μέσο της διάταξης στην πρώτη κόκκινη βούλα. Η δεύτερη μέτρηση θα πραγματοποιηθεί από τα ηλεκτρόδια 2, 3, 4, 5 και αυτή την φορά το 2 και 5 θα είναι ηλεκτρόδια ρεύματος και το 3 και 4 δυναμικού. Η μετατόπιση αυτή των

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ηλεκτροδίων συνεχίζεται μέχρι και τον τελευταίο δυνατό συνδυασμό και παίρνονται οι μετρήσεις της πρώτης σειράς (n=1).

Έπειτα, διπλασιάζεται η αρχική απόσταση των ηλεκτροδίων, «2α», οπότε αυξάνεται και το βάθος της διασκόπησης, με αποτέλεσμα η πρώτη μέτρηση της δεύτερης όδευσης να γίνει στις θέσεις 1, 3, 5, 7 και να παραλειφθούν τα ηλεκτρόδια στις θέσεις 2, 4, 6. Η μέτρηση αυτή αντιστοιχεί στην πρώτη κόκκινη βούλα της δεύτερης σειράς (n=2). Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να πραγματοποιηθούν όλες οι μετρήσεις της δεύτερης σειράς και έπειτα τριπλασιάζεται, τετραπλασιάζεται κ.ο.κ η αρχική απόσταση των ηλεκτροδίων, οπότε λαμβάνονται οι μετρήσεις της $3^{ης}$, $4^{ης}$ κ.ο.κ σειράς.

Στην εικόνα παρατηρείται ότι οι μετρήσεις δημιουργούν ένα ανεστραμμένο τραπέζιο. Αυτή η μείωση των μετρήσεων με την αύξηση του βάθους οφείλεται στις αποστάσεις των ηλεκτροδίων. Όσο αυξάνεται η απόσταση, τόσο μειώνονται οι πιθανοί συνδυασμοί ηλεκτροδίων και για την περαιτέρω πληροφόρηση απαιτούνται επιπλέον ηλεκτρόδια. Γι' αυτό κάθε διασκόπηση μπορεί να φτάσει μέχρι ένα συγκεκριμένο μέγιστο βάθος που εξαρτάται από το ανάπτυγμα των ηλεκτροδίων (όσο μεγαλύτερο το ανάπτυγμα, τόσο μεγαλύτερο το βάθος). Εμπειρικά το βάθος της διασκόπησης ισούται με το 1/3 του αναπτύγματος των ηλεκτροδίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΒΑΣΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Το υπόγειο νερό με την κίνηση στο υπέδαφος, πληροί τα διάκενα μεταξύ των κόκκων του εδάφους και συγκεντρώνεται σε ευνοϊκές ζώνες, σχηματίζοντας υπόγειους υδροφορείς. Οι ζώνες αυτές αποτελούνται από υδροπερατούς σχηματισμούς, που επιτρέπουν την διέλευση και κυκλοφορία του νερού, σε αντίθεση με τους αδιαπέρατους σχηματισμούς που επιτρέπουν ελάχιστη ή καθόλου μετακίνηση του νερού διαμέσου αυτών. (Βουδούρης, 2013)

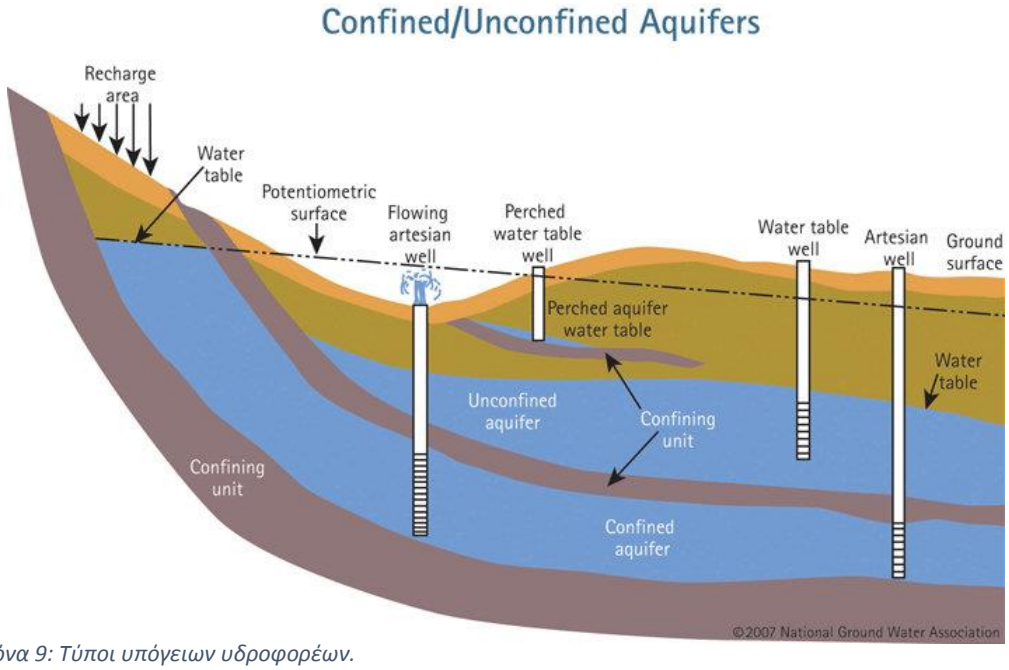
Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά ενός υδροφορέα είναι η υδροπερατότητα. Η υδροπερατότητα (k) είναι μία παράμετρος, που στην ουσία εκφράζει το πόσο εύκολη ή δύσκολη είναι η ροή του υπόγειου νερού διαμέσου ενός πετρώματος (Βουδούρης, 2013). Για τα κοκκώδη πετρώματα, εξαρτάται από το πορώδες, το οποίο όσο μεγαλύτερο είναι, τόσο πιο εύκολη είναι η κίνηση του νερού και άρα τόσο μεγαλύτερη υδροπερατότητα έχει ο υδροφορέας. Δηλαδή τα χαλαρά

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

υλικά, που δεν έχουν συμπαγοποιηθεί και έχουν μεγαλύτερα διάκενα από ένα συνεκτικό υλικό, έχουν και μεγαλύτερη υδροπερατότητα.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι υδροφορέων, ανάλογα με την δομή τους, οι κυριότεροι εκ των οποίων είναι οι ελεύθεροι και οι υπό πίεση υδροφορείς. Οι ελεύθεροι υδροφορείς ή φρεάτιοι (unconfined), βρίσκονται στα ανώτερα στρώματα του εδάφους, έχουν ως κατώτερο όριο ένα στεγανό πέτρωμα και δεν καλύπτονται από αδιαπέρατο πέτρωμα. Αντίθετα, οι υπό πίεση (confined) υδροφορείς παρεμβάλλονται μεταξύ δύο αδιαπέρατων γεωλογικών σχηματισμών και τροφοδοτούνται πλευρικά. (Βουδούρης, 2013)



Εικόνα 9: Τύποι υπόγειων υδροφορέων.

Όσον αφορά την ποιότητα του νερού που περιέχεται στους υδροφορείς, εξαρτάται, εκτός των άλλων, από το είδος των πετρωμάτων που έχει βρεθεί σε επαφή. Με άλλα λόγια, το υπόγειο νερό αλληλοεπιδρά με τα περιβάλλοντα πετρώματα, με αποτέλεσμα πολλά χημικά στοιχεία τους να διαλύονται στο νερό και να απομακρύνονται μέσω αυτού. Γι' αυτό το λόγο είναι αναγκαία η χημική ανάλυση του νερού που αντλείται από μια γεώτρηση, ώστε να προσδιοριστεί αν πληροί τις προδιαγραφές για κατανάλωση ή για οποιαδήποτε άλλη χρήση.

Η ποιότητα του νερού μπορεί να υποβιβαστεί και να φτάσει σε σημείο να θεωρείται ρυπασμένο, τόσο από ανθρωπογενείς, όσο και από φυσικούς παράγοντες. Ένας φυσικός τρόπος ρύπανσης του υπεδάφους είναι αυτός της υφαλμύρισης που θα αναλυθεί με πιο πολλές λεπτομέρειες στο επόμενο υποκεφάλαιο (3.1). (Bachmat, 2005)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

3.1. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΙΣΗΣ

Σύμφωνα με τον Βουδούρη, (2015) η υφαλμύριση είναι μια διαδικασία κατά την οποία η σύσταση του υπόγειου νερού μεταβάλλεται, λόγω διαφόρων παραγόντων και καταλήγει να περιέχει μεγάλες ποσότητες ιόντων Na^+ και Cl^-. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται πιο συχνά σε παράκτιες περιοχές. Η στάθμη του υπόγειου νερού ταπεινώνεται, κυρίως λόγω ανθρωπογενών παραγόντων (υπεράντληση νερού σε γεώτρηση), με συνέπεια την εισχώρηση του θαλασσινού νερού στον υδροφόρο ορίζοντα. Έτσι, υποβαθμίζεται η ποιότητά του και δημιουργούνται προβλήματα κατά την άντληση και εκμετάλλευση του. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλες παράμετροι που ευνοούν την υφαλμύριση, όπως η παρουσία αλατούχων δόμων που έχουν ανέλθει, τεκτονικά, στα πιο επιφανειακά στρώματα της γης, ο εγκλωβισμός παλιών αλμυρών νερών σε υπόγειους υδροφορείς, κ.ά.

Στην Ελλάδα, ο πιο συχνά εμφανιζόμενος είναι ο πρώτος τρόπος υφαλμύρισης, που αναφέρθηκε, αφού υπάρχουν πολλές παραθαλάσσιες περιοχές και πολλά νησιά και γι' αυτό το λόγο θα αναλυθεί περαιτέρω. Στον χάρτη της εικόνας 10, με πιο σκούρο χρώμα φαίνονται οι περιοχές που έχουν επηρεασθεί από την διείσδυση του θαλασσινού νερού, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν φαινόμενα υφαλμύρισης του νερού των υπόγειων υδροφορέων.

Εικόνα 10: Περιοχές υφαλμύρισης στην Ελλάδα. (Stefopoulou et al, 2008)

Στις παράκτιες περιοχές, όπου αναπτύσσονται σε σημαντικό βαθμό οι αγροτικές δραστηριότητες και στα νησιά, που οι απαιτήσεις σε πόσιμο νερό είναι αυξημένες, εμφανίζεται η ανάγκη για αξιοποίηση υπόγειων νερών, μέσω πολυάριθμων γεωτρήσεων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

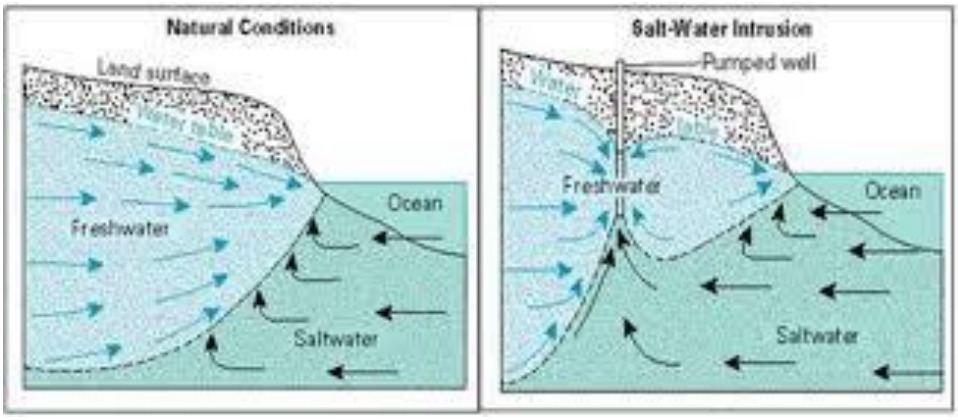
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Κατά την κατασκευή μιας υδρογεώτρησης προσδιορίζεται η κρίσιμη παροχή της, δηλαδή η μέγιστη παροχή με την οποία μπορεί να αντληθεί το υπόγειο νερό χωρίς να μεταβληθούν σημαντικά οι υδραυλικές ιδιότητες του υδροφορέα. Όταν λοιπόν, η εκμετάλλευση υπερβεί αυτή την τιμή, ταπεινώνεται η στάθμη του υπόγειου υδροφορέα και δεν επανέρχεται στην αρχική της θέση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αναστροφή της υδραυλικής και την προέλαση του θαλασσινού νερού στην ενδοχώρα. Η πτώση στάθμης του υδροφορέα οφείλεται και σε άλλους παράγοντες, π.χ. μειωμένο φυσικό εμπλουτισμό, λόγω έλλειψης βροχοπτώσεων κατά τους θερινούς μήνες, ωστόσο η στάθμη επανέρχεται κατά τους υγρούς χειμερινούς μήνες. (Βουδούρης, 2015)

Το γλυκό και το θαλασσινό νερό έχουν διαφορετικές πυκνότητες, με αποτέλεσμα να μην αναμειγνύονται, αλλά να έρχονται απλά σε επαφή μέσω μιας νοητής γραμμής (πρακτικά είναι μια ζώνη) που ονομάζεται διεπιφάνεια (το γλυκό νερό επιπλέει στο θαλασσινό). Το σχήμα της είναι συνήθως παραβολικό και φαίνεται με διακεκομμένη γραμμή στο πάνω μέρος της εικόνας 11. Το κάτω μέρος της εικόνας δείχνει την επίδραση της υπεράντλησης στη διεπιφάνεια, στη μεταβολή του σχήματός της και τελικά στην άντληση θαλασσινού νερού. Το βάθος της διεπιφάνειας υπολογίζεται από τον τύπο 16 που προκύπτει από τον νόμο των Ghyben-Herzberg:

$$z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f \qquad (16)$$

όπου, z το βάθος της διεπιφάνειας, ρ_f και ρ_s η πυκνότητα (gr/cm^3 ή kg/l) του γλυκού και αλμυρού νερού, αντίστοιχα και h_f το ύψος της στήλης του γλυκού νερού πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας. (Βουδούρης, 2015)



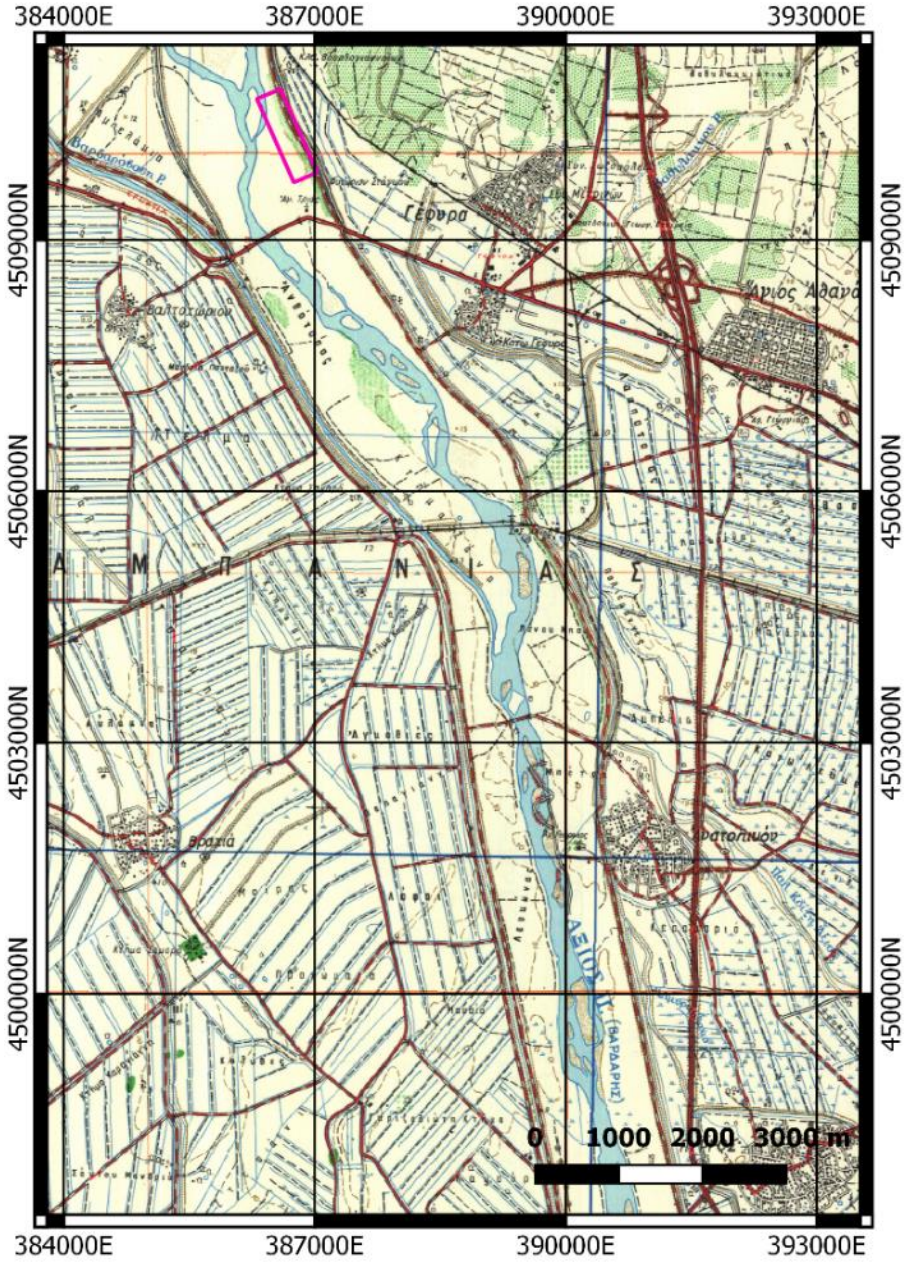
Εικόνα 11: Σχηματική αναπαράσταση της υφαλμύρισης ενός γλυκού παράκτιου υδροφορέα. (Todd, 1980)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε δυτικά της Γέφυρας, κωμόπολη της Θεσσαλονίκης και ανατολικά του Αξιού ποταμού. Η περιοχή που λήφθηκαν οι μετρήσεις οριοθετείται από το ροζ ορθογώνιο σχήμα, στα ΒΔ του χάρτη 1. Σε απόσταση περίπου 5 χιλιομέτρων ανατολικά, στην περιοχή του Αγίου Αθανασίου είχε πραγματοποιηθεί έρευνα στα πλαίσια μεταπτυχιακής εργασίας (Μενδρινού, 2015) και είχαν εντοπιστεί υφάλμυρες περιοχές. Παρουσιάζεται τμήμα του τοπογραφικού χάρτη (χάρτης 1) του φύλλου Πλατύ της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ), μεγαλύτερο από αυτό που απαιτείται για την ένδειξη της περιοχής, για καλύτερη εποπτική εικόνα της ευρύτερης περιοχής.



Χάρτης 1: Τοπογραφικός χάρτης με επισήμανση της περιοχής έρευνας (Φύλλο Πλατύ, ΓΥΣ).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

4.1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή μελέτης ανήκει στην ζώνη Αξιού, των εσωτερικών Ελληνίδων. Η ζώνη αυτή έχει παράταξη ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης και διαιρείται σε τρεις επιμέρους υποζώνες που από τα δυτικά προς τα ανατολικά είναι η αύλακα της Αλμωπίας, το ύβωμα του Πάικου και η αύλακα της Παιονίας (Mercier, 1966 από Μουντράκη, 2010).

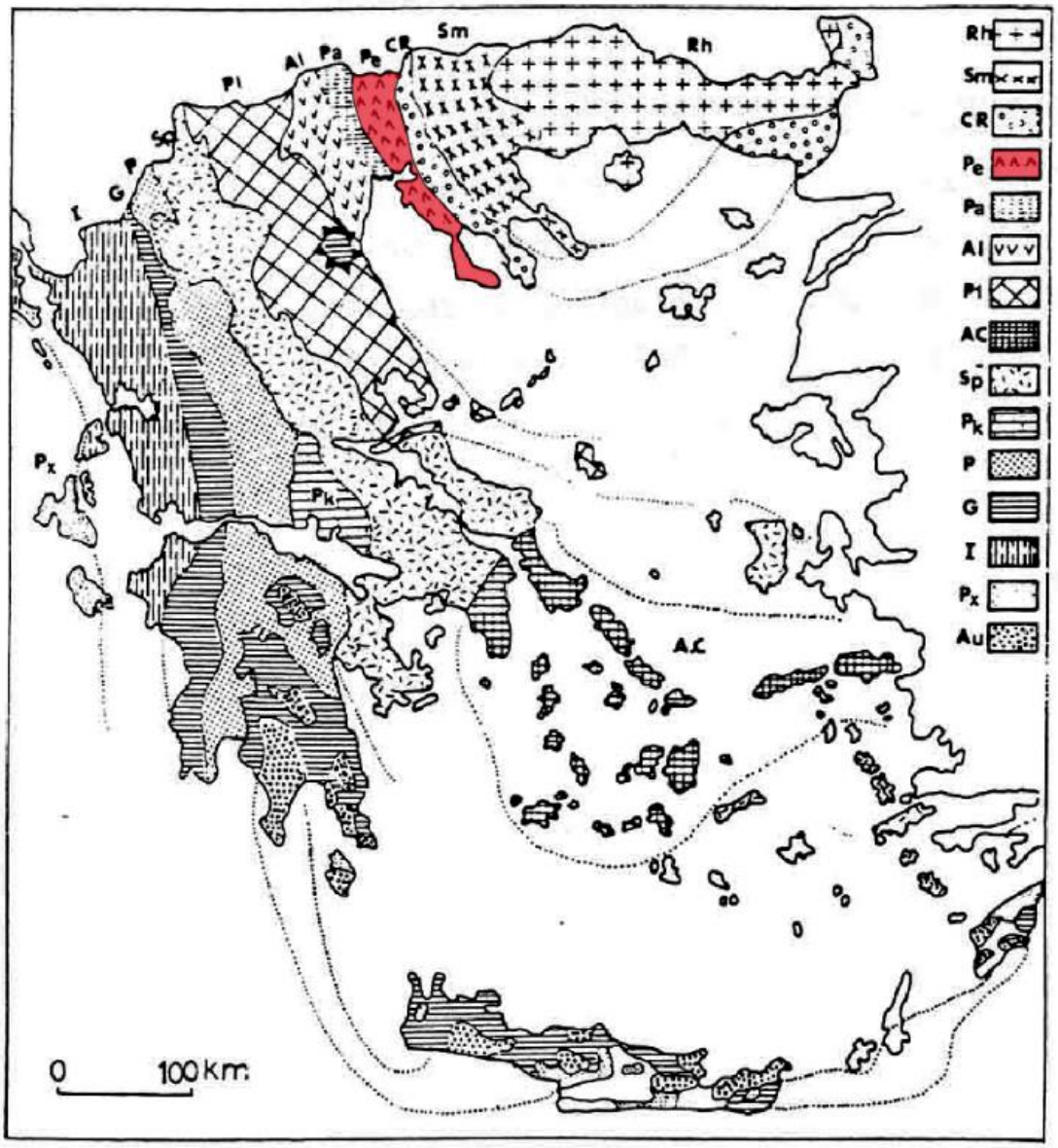
Στο Μεσοζωικό η ζώνη αυτή λειτουργούσε ως ωκεάνιος χώρος, ο οποίος όμως άρχισε να κλείνει το Άνω Ιουρασικό και σύμφωνα με τις επικρατέστερες απόψεις, ξεκίνησε να υποβυθίζεται προς τα βόρεια κάτω από την ηπειρωτική πλάκα της Ευρασίας (Σερβομακεδονική) (Μουντράκης, 1994 από Μουντράκη, 2010). Αυτή η διαδικασία είχε σαν αποτέλεσμα την έντονη συμπίεση των σχηματισμών που βρίσκονταν στην ζώνη της υποβύθισης και δεν συμπαρασύρθηκαν μαζί με την υποβυθιζόμενη πλάκα. Αυτοί οι σχηματισμοί αποτελούν μέρος των οφειολίθων και των συνοδών τους ιζημάτων βαθιάς θάλασσας. Η επώθησή τους προς τα δυτικά δημιούργησε μεγαπτυχές και μικρότερες πτυχές ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης.

Υπερκείμενα αυτών των σχηματισμών εμφανίζονται μεταλπικά ιζήματα που αποτέθηκαν κατά το Τριτογενές και συνιστούν την μολασσική αύλακα του Αξιού. Αυτή αποτελείται από ψαμμίτες, μάργες, κροκαλοπαγή, λατυποπαγή και ασβεστόλιθους (Α. Ηώκαινο-Α. Μειόκαινο), γεγονός που δείχνει ότι η ιζηματογένεση είχε πολλές φάσεις (θαλάσσια, λιμναία, χερσαία). Πάνω στους σχηματισμούς αυτούς αποτέθηκαν, επίσης, Νεογενή-Τεταρτογενή ιζήματα της λεκάνης του Αξιού που σχετίζονται και με την δράση του ποταμού. Στην σημερινή εποχή, το υπόβαθρο της περιοχής δεν διακρίνεται, εξαιτίας της κάλυψής του από αυτά τα ιζήματα μεγάλου πάχους που αποτέθηκαν. (Μουντράκης, 2010)

Η περιοχή μελέτης υπάγεται στην υποζώνη Παιονίας , η οποία φαίνεται με κόκκινο χρώμα στον χάρτη της εικόνας 12, κατόπιν επεξεργασίας σε περιβάλλον GIS. Η υποζώνη αυτή χωρίστηκε με την σειρά της σε επιμέρους ενότητες στις οποίες συγκεντρώνονται παρόμοιοι σχηματισμοί. Οι ενότητες αυτές που συνιστούν ένα μεγαλέπι η καθεμία, είναι οι παρακάτω: α) Ενότητα Γευγελής, β) Ενότητα Ωραιοκάστρου, γ) Ενότητα Βαφειοχωρίου, δ) Ενότητα Άρτζαν, ε) Ενότητα Άσπρης Βρύσης, στ) Ενότητα Μεταλλικού, ζ) Ενότητα Λεβεντοχωρίου (Mercier, 1966 από Μουντράκη, 2010).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

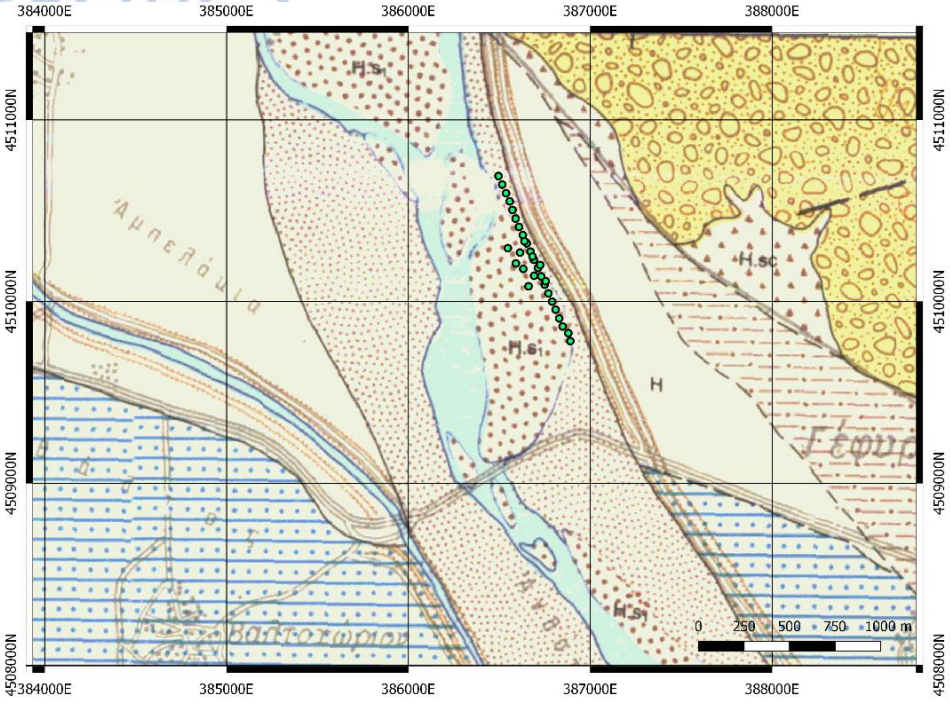


Εικόνα 12: Διαίρεση της Ελλάδας σε γεωτεκτονικές ζώνες. (Mountrakis et al, 1983)

Στην ευρύτερη περιοχή της έρευνας, σύμφωνα με το υπόμνημα (εικόνα 13) του γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ (φύλλο Πλατύ), εμφανίζονται άμμοι και χαλαρά κροκαλοπαγή ηλικίας Α. Μειοκαίνου- Κ. Πλειοκαίνου με σημαντικό ορατό πάχος, αποθέσεις λόγω πλημμυρών του Αξιού, καθώς επίσης και λεπτόκοκκοι άμμοι, πηλοί, πηλούχοι άμμοι, προσχωματικά υλικά χειμάρρων, πλευρικά κορήματα και συσσωρεύσεις άμμων και πηλών ηλικία Ολοκαίνου. Στον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (χάρτης 2), που επεξεργάστηκε σε περιβάλλον GIS, φαίνονται τα σημεία των μετρήσεων (ευθεία γραμμή με πράσινους κύκλους).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα



Χάρτης 2: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας (Φύλλο Πλατύ, ΙΓΜΕ).

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΟΛΟΚΑΙΝΟ

Συσσωρεύσεις άμμων: κατά μήκος της κοίτης των ποταμών Αλιάκμονα και Αξιού.

Λεπτόκοκκοι άμμοι, πηλοί και πηλούχοι άμμοι: εκατέρωθεν της κοίτης των ποταμών, μεταξύ των προστατευτικών αναχωμάτων.

Πλευρικά κορήματα από κροκάλες και πηλούς που προέρχονται από την αποσάθρωση και εξαλλοίωση των νεογενών σχηματισμών, γενικά ασύνδετα.

Προσχωματικά υλικά χειμάρρων: ασύνδετα υλικά από άμμους, κροκάλες, λεπτομερή αργιλοαμμώδη και πηλοαμμώδη υλικά. Το πάχος των αποθέσεων αυτών φθάνει τα 15-20μ.

Νεότερες αποθέσεις που προέρχονται από τις πλημμύρες των ποταμών Αξιού και Αλιάκμονα: καλύπτουν περίπου τα 4/5 του φύλλου (Η). Αποτελούνται από λεπτόκοκκους άμμους, πηλούς, αμμούχους πηλούς και αμμούχους-αργιλούχους άμμους, καθώς επίσης και ιζήματα από μικρά και εφήμερα έλη. Σύμφωνα με την μελέτη που έγινε από την «NEDECO» (1968) για την λεκάνη της Θεσσαλονίκης, κάτω από τις παραπάνω αποθέσεις και μέχρι βάθους 100m έχουμε:

Α. **Θαλάσσιες αποθέσεις** (H.s,lm): εναλλαγές λεπτόκοκκων, αργιλούχων πηλών, πηλούχων αργίλων και ενστρώσεων αδρομερών υλικών. Μέσα στα ιζήματα αυτά απαντούν αρτίγονα θαλάσσια κελύφη. Τα αδρομερή υλικά προέρχονται από την προοδευτική προέκταση της ακτής και των δέλτα των ποταμών Αξιού και Αλιάκμονα.

Β. **Εναλλαγές θαλάσσιων, ποτάμιων και υφάλμυρων αποθέσεων** (H.s,l): αποτελούνται από αργίλους, λεπτόκοκκους άμμους, αμμούχους πηλούς και αμμούχους αργίλους. Το χρώμα των αποθέσεων αυτών ποικίλει ανάλογα με το είδος και την στρωματογραφική θέση του.

Α. ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ-Κ. ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ

Άμμοι και χαλαρά κροκαλοπαγή: μεγάλου πάχους σε εναλλαγές με συνεκτικά κροκαλοπαγή και ψαμμίτες υπό μορφή πάγκων, που το πάχος τους κυμαίνεται από 0,1-1,5μ, και διαστρώσεις ασβεστιτικών ψαμμιτών και άμμων (ΒΑκό τμήμα του φύλλου). Τα ανώτερα μέλη των σχηματισμών αυτών αποτελούνται από χαλαρά κροκαλοπαγή και άμμους, που έχουν χρώμα καστανό εξαιτίας των ελουβιακών υλικών που καλύπτουν την περιοχή.

Ορατό πάχος: 300μ περίπου

Εικόνα 13: Τροποποιημένο υπόμνημα τμήμα του φύλλου Πλατύ, γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

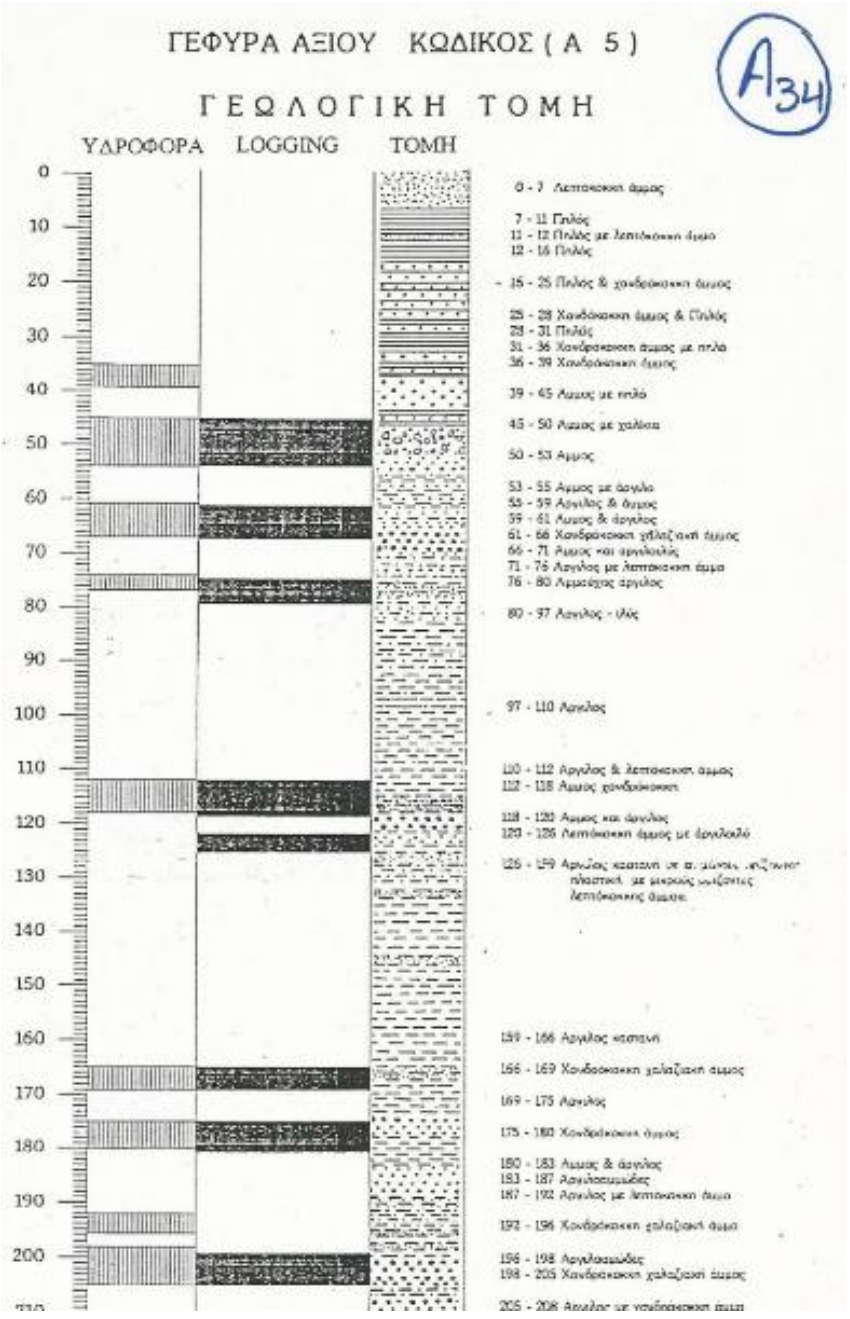
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

4.2. ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΜΕΛΕΤΗ

Εκτός από την γεωλογία της περιοχής μελέτης υπάρχουν και επιπλέον στοιχεία. Λίγα μέτρα δυτικά από την τομογραφία που πραγματοποιήθηκε, υπάρχει μια μη λειτουργική πλέον γεώτρηση της Εταιρείας Ύδρευσης και Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης (ΕΥΑΘ), της οποίας η στρωματογραφία έχει προσδιοριστεί από προηγούμενη μελέτη. Στην ίδια γεώτρηση είχαν πραγματοποιηθεί τριών ειδών διαγραφίες.

4.2.1. ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

Η λιθοστρωματογραφία φαίνεται στην εικόνα 14:



Εικόνα 14: Στρωματογραφική στήλη της γεώτρησης της ΕΥΑΘ. Αρχείο από ΕΥΑΘ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Αναφέρονται οι σχηματισμοί που εμφανίζονται από το βάθος των 0m έως αυτό των 200m, που είναι και το μέγιστο βάθος που φτάνει η τομογραφία:

- 0m-36m: εναλλαγές άμμου (κυρίως χονδρόκοκκης) με πηλό χωρίς παρουσία υδροφόρου στρώματος
- 36m-39m: χονδρόκοκκη άμμος με υδροφορία
- 39m-53m: άμμος με παρεμβολές πηλού και χαλικιών, παρουσία υδροφορίας στις περιοχές επικράτησης των χαλικιών (45m-53m)
- 53m-80m: άργιλος και άμμος με παρεμβολή ενός στρώματος χονδρόκοκκης χαλαζιακής άμμου (61m-66m) και ενός στρώματος άμμου (74-77m) που παρουσιάζουν υδροφορία
- 80m-112m: κυριαρχία αργίλου με κάποιες εμφανίσεις ιλύος και λεπτόκοκκης άμμου
- 112m-126m: άμμος με άργιλο και αργιλοϊλύ, ύπαρξη υδροφόρου (112-118m)
- 126m-166m: άργιλος καστανή με μικρούς ορίζοντες λεπτόκοκκης άμμου
- 166m-200m: άργιλος με ενστρώσεις χονδρόκοκκης άμμου με υδροφορία μεταξύ των 166-169m, 175-180m, 192-196m, 198-200m.

4.2.2. ΔΙΑΓΡΑΦΙΕΣ (WELL-LOGGING)

Οι διαγραφίες είναι ένα είδος γεωφυσικής διασκόπησης που πραγματοποιείται μέσα σε γεωτρήσεις μετά την ανόρυξή τους και συνήθως πριν την σωλήνωσή τους. Σύμφωνα με τους Τσελέντη και Παρασκευόπουλο (2013), οι κυριότερες διαγραφίες είναι οι:

- Διαγραφίες φυσικού δυναμικού (Self-Potential, SP)
- Caliper
- Μέτρησης ταχύτητας ρευστών
- Επαγόμενης πόλωσης
- Ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης
- Ραδιενέργειας
- Ακουστικές και
- Τηλεοπτικές

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

που δίνουν ακριβή αποτελέσματα για μια συγκεκριμένη ιδιότητα των πετρωμάτων που περιβάλλουν την γεώτρηση, όπως π.χ. την εκτίμηση του πορώδους των γεωλογικών σχηματισμών που διατρυπά η γεώτρηση, της ποιότητας τους, της υδραυλικής αγωγιμότητάς τους, της ύπαρξης μεταλλοφορίας κλπ. Η ιδιότητα που θα προσδιοριστεί εξαρτάται από την επιλογή της διαγραφίας που θα εφαρμοστεί.

Οι μετρήσεις των διαγραφιών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, που παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην συγκεκριμένη έρευνα, λαμβάνονται με τον ίδιο τρόπο, όπως και στις προηγούμενες μεθόδους, με την χρήση είτε τεσσάρων, είτε και τριών ηλεκτροδίων (A, B και M, N). Η μόνη διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι μερικά από τα ηλεκτρόδια εισάγονται με ειδικό εξοπλισμό μέσα στην οπή της γεώτρησης. Το όργανο μέτρησης είναι κυλινδρικό όπως αυτό της εικόνας 15.

Εικόνα 15: Όργανο διαγραφιών.

Με τις διαγραφίες επιδιώκεται η ακριβέστερη προσέγγιση της εικόνας του υπεδάφους σε μερικά εκατοστά περιμετρικά της γεώτρησης, δηλαδή στην οριζόντια διεύθυνση, στο ύψος του οργάνου. Όσο αυτό μετακινείται πιο βαθιά στην γεώτρηση κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, τόσο περισσότερες πληροφορίες λαμβάνονται για την θέση της γεώτρησης και του χώρου γύρω από αυτήν.

Στην εν λόγω γεώτρηση της ΕΥΑΘ, όπως έχει ήδη αναφερθεί πραγματοποιήθηκαν τριών ειδών διαγραφίες, που ξεκινούν από το βάθος των 30m. Από την διασκόπηση προκύπτουν τρία διαφορετικά διαγράμματα, στα οποία ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στο βάθος που βρισκόταν κάθε φορά το όργανο και ο οριζόντιος στην ποσότητα που μετράται κάθε φορά. Για να έχουν όσο το δυνατόν κατάλληλη η ανάλυση για την ανάγνωση των αποτελεσμάτων, η κάθε διαγραφία χωρίστηκε σε δύο στήλες που η μία είναι συνέχεια της άλλης. Η πρώτη στήλη ξεκινάει από τα 30m και φτάνει, ανά 10m, στα 120m, ενώ η δεύτερη συνεχίζει από τα 120m στα 200m, όσο και το βάθος της τομογραφίας.

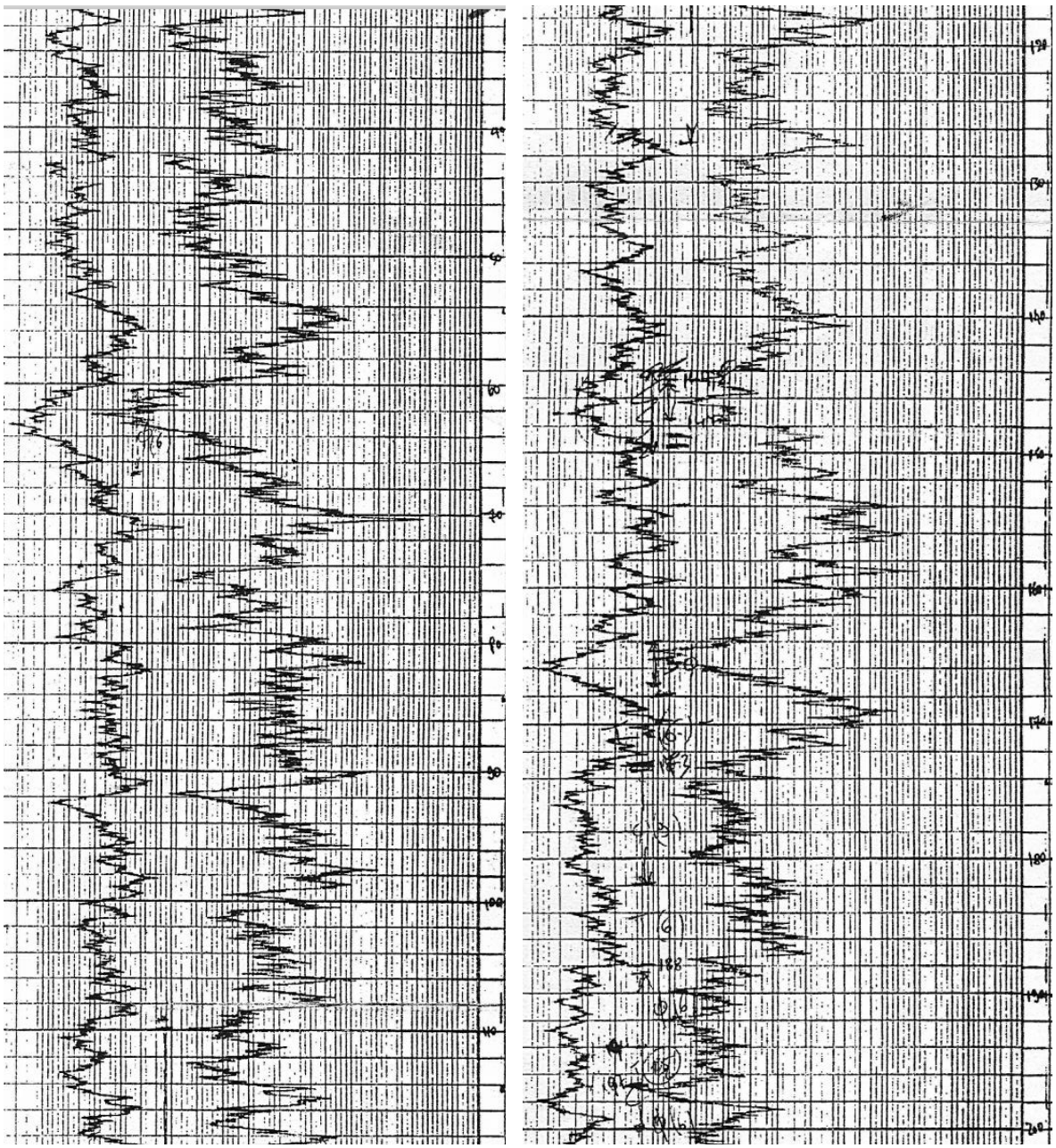
Λόγω έλλειψης βασικών στοιχείων, δεν μπορεί να προσδιοριστεί με βεβαιότητα το είδος της κάθε διαγραφίας. Ωστόσο, με βάση και την λιθοστρωματογραφική στήλη,

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

εκτιμάται ότι πραγματοποιήθηκαν διαγραφίες ακτινών γάμμα, ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και φυσικού δυναμικού.

Πιο αναλυτικά, οι διαγραφίες των ακτίνων γάμμα φαίνονται στην εικόνα 16. Σε αυτές, προσδιορίζονται κυρίως οι εναλλαγές αργιλικών με άλλου είδους σχηματισμό (π.χ. άμμος). Αυτό συμβαίνει διότι η άργιλος, λόγω των ορυκτών από τα οποία αποτελείται έχει μεγαλύτερες τιμές ραδιενέργειας σε σχέση με την άμμο (Τσελέντης και Παρασκευόπουλος, 2013). Έτσι, σε περιοχές που εμφανίζεται ένα σημαντικού πάχους στρώμα με αργίλους η τιμή της ραδιενέργειας αυξάνεται και η καμπύλη



Εικόνα 16: Διαγραφίες ακτίνων γάμμα από αρχείο της ΕΥΑΘ.

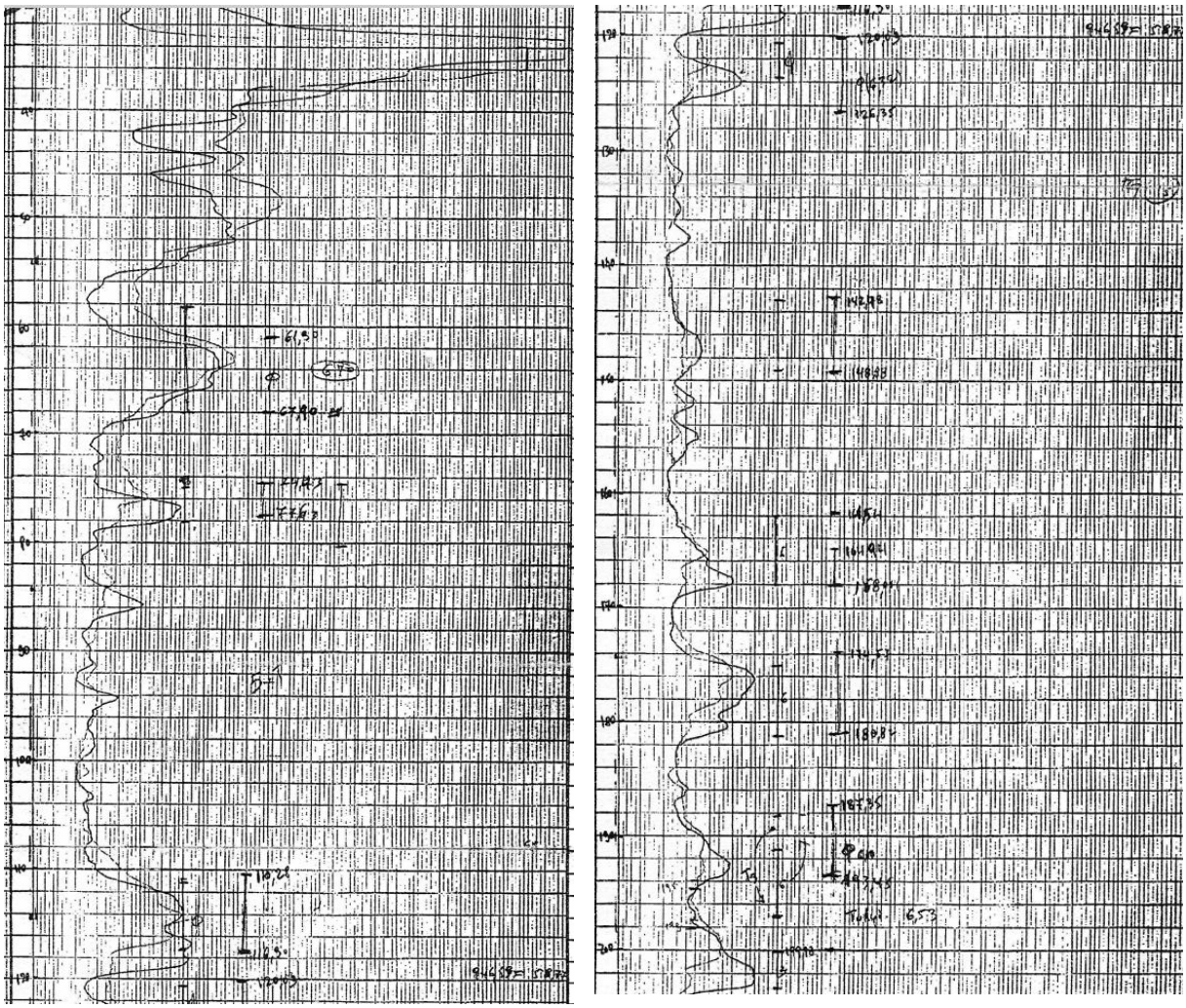
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

αποκλίνει προς τα δεξιά, ενώ σε περιοχές επικράτησης των άμμων αποκλίνει προς τα αριστερά.

Για παράδειγμα, στην θέση 53-60m η καμπύλη κορυφώνεται προς τα δεξιά λόγω ύπαρξης αργίλων μαζί με άμμους, ενώ στην συνέχεια που μεταβαίνει σε χονδρόκοκκη χαλαζιακή άμμο συμβαίνει το αντίθετο. Γενικά, υπάρχουν και άλλες θέσεις που η καμπύλη συμπεριφέρεται με αυτό τον τρόπο και διαχωρίζονται τα στρώματα αργίλου από αυτά της άμμου.

Στις διαγραφίες ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης προσδιορίζονται τα στρώματα χαμηλής ή υψηλής αντίστασης. Όταν το όργανο φτάσει σε σημείο όπου κυριαρχούν οι άργιλοι ή κάποιο στρώμα χαμηλής αντίστασης (υφάλμυρος υδροφορέας), η καμπύλη κινείται προς τις μικρότερες τιμές (αριστερά) και όταν εμφανίζεται στρώμα υψηλής αντίστασης μεταβαίνει προς τις μεγαλύτερες (δεξιά). Στην εικόνα 17 παρουσιάζονται τα δεδομένα της διαγραφίας.



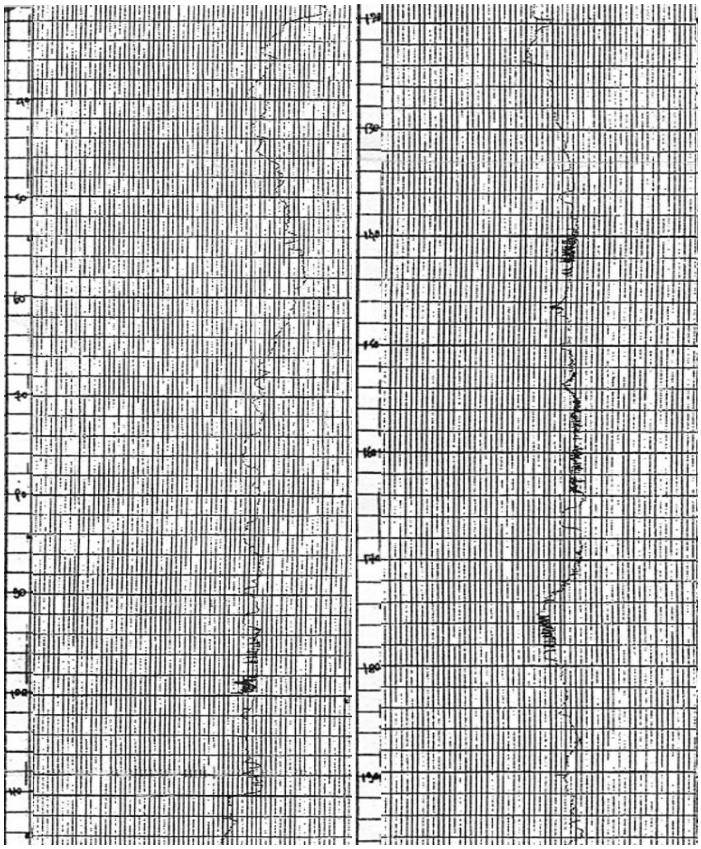
Εικόνα 17: Διαγραφίες ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από αρχείο της ΕΥΑΘ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Στα 30-40m επικρατεί χονδρόκοκκη άμμος και η αντίσταση είναι ιδιαίτερα αυξημένη και με το πρόσθετο γεγονός ότι παρατηρείται υδροφορία (35-39m). Έπειτα, στα 55-61m η αντίσταση μειώνεται σημαντικά λόγω μεταβολής της λιθολογίας σε αργίλους και αμέσως μετά (61-66m) αυξάνεται από την εμφάνιση χαλαζιακή άμμου. Στο βάθος 68-110m δεν μεταβάλλεται ιδιαίτερα (εκτός μερικών σημείων), αφού κυριαρχεί η άργιλος και οι τιμές της αντίστασης παραμένουν μειωμένες. Στα 110-126m η αντίσταση αυξάνεται καθώς στις υπερκείμενες αργίλους, παρεμβάλλεται ένα στρώμα με άμμους, που έχει πάλι ως υποκείμενο ένα στρώμα αργίλου (126-166m). Στα 166-200m υπάρχουν εναλλαγές άμμων και αργίλων που αυξάνουν ή μειώνουν την αντίσταση, αντίστοιχα.

Τέλος, στην εικόνα 18 φαίνεται η διαγραφία του φυσικού δυναμικού, που δεν έχει πολύ καλή ευκρίνεια. Στις διαγραφίες φυσικού δυναμικού καταγράφεται η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, που το ένα βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους και το άλλο κατέρχεται στην γεώτρηση. Οι μετρήσεις που λαμβάνονται συγκρίνονται με βάση της απόκλισή τους από την λεγόμενη «γραμμή αργίλου», η οποία αντιστοιχεί στους σχηματισμούς με την ελάχιστη υδραυλική αγωγιμότητα. (Τσελέντης και Παρασκευόπουλος, 2013)



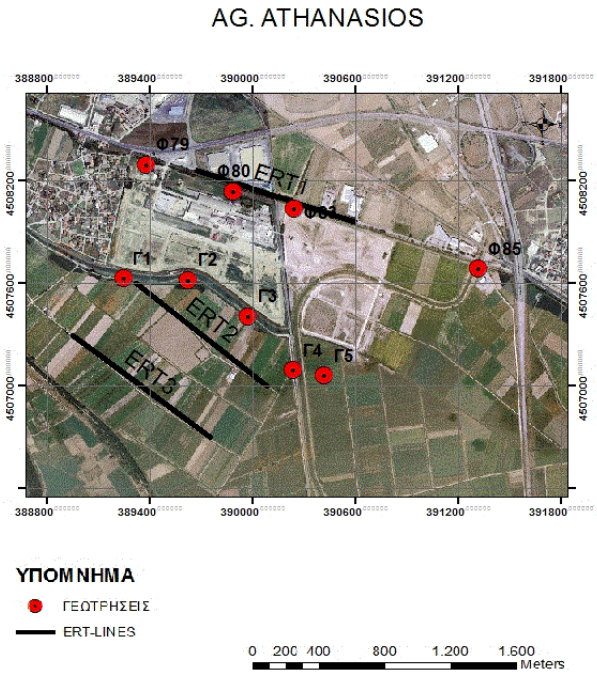
Εικόνα 18: Διαγραφία φυσικού δυναμικού από αρχείο της ΕΥΑΘ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

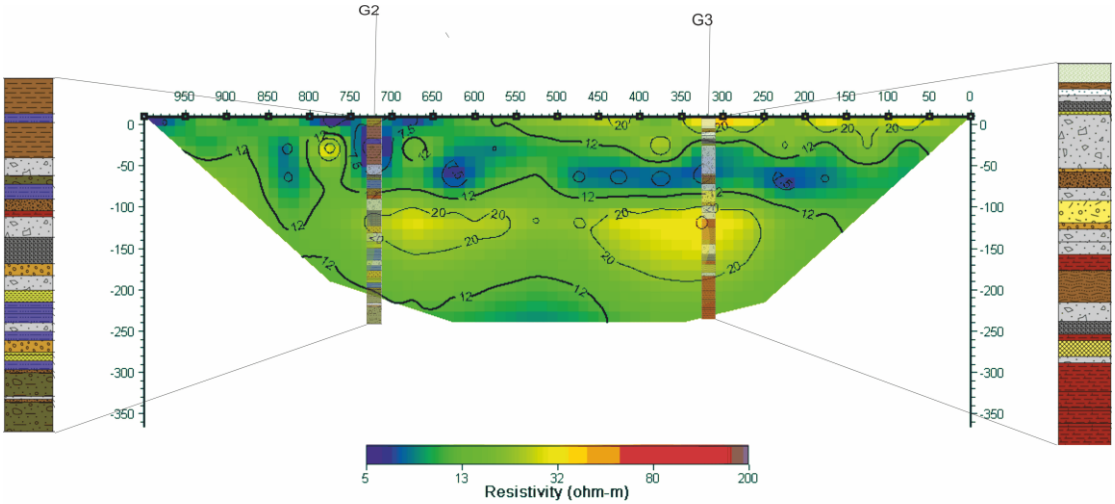
4.3. ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

Όπως έχει προαναφερθεί, σε απόσταση μικρότερη των 5 χλμ., είχε πραγματοποιηθεί κατά το έτος 2015 σε περιοχή κοντά στον Άγιο Αθανάσιο της Θεσσαλονίκης, έρευνα στα πλαίσια μεταπτυχιακής εργασίας από την Μενδρινού Μαριάννα. Η έρευνα περιλάμβανε 3 τομογραφίες, ερμηνεία δεδομένων διαγραφιών από 4 γεωτρήσεις (Γ1, Γ3, Γ4, Γ5) και μία βυθοσκόπηση σε κοντινή γεώτρηση.



Χάρτης 3:Θέσεις τομογραφιών και υπό μελέτη γεωτρήσεων (Μενδρινού, 2015).

Από τις τομογραφίες, σε συνδυασμό με τις λιθοστρωματογραφικές στήλες των γεωτρήσεων (όπου υπήρχαν), προέκυψαν περιοχές με υφαλμύριση λόγω παραμένουσας αλατότητας ύστερα από την απόσυρση της θάλασσας. Για παράδειγμα, στην τομογραφία 2 που φαίνεται και στην εικόνα 19 παρατηρούνται θέσεις, όπου ενώ



Εικόνα 19: Τομογραφία (ERT2). (Μενδρινού, 2015)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

οι αντιστάσεις είναι χαμηλές (50-70m βάθος), οι σχηματισμοί αντιστοιχούν σε χαλικώδεις και αμμώδεις, γεγονός που εξηγείται με την ύπαρξη υφάλμυρων υδροφορέων. Οι χαμηλές αντιστάσεις στα επιφανειακά μέτρα του εδάφους, στο ύψος της γεώτρησης Γ2, οφείλονται στην ύπαρξη αργιλικών. Στην υπόλοιπη περιοχή κυριαρχούν κυρίως μέσες αντιστάσεις με άμμους, χαλίκια και ψηφίδες. (Μενδρινού, 2015)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Εφαρμογή μεθόδων

Για την κάθε έρευνα, ανάλογα και με τον σκοπό της, επιλέγεται η μέθοδος που θεωρείται ότι θα απεικονίσει με τον πιο αξιόπιστο τρόπο την «εικόνα» του υπεδάφους. Η επιλογή αυτή εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως την γεωλογία της περιοχής, το είδος των «στόχων» που επιδιώκεται να ανιχνευτούν (π.χ. ρήγματα, μεταλλεύματα), την ετερογένεια του εδάφους και το μέγεθος του θορύβου από εξωγενείς παράγοντες (Leucci, 2020). Κυρίως, όμως, εξαρτάται από το απαιτούμενο βάθος διασκόπησης και την ισχύ του σήματος που χρειάζεται, ώστε να είναι εμφανής ο στόχος (Leucci, 2019).

Οι διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν για την λήψη των μετρήσεων είναι η διπόλου-διπόλου και multi-gradient (Wenner-Schlumberger) και εφαρμόστηκε, επίσης, η μέθοδος της επαγόμενης πόλωσης. Η διπόλου-διπόλου έχει καλύτερο βάθος διασκόπησης ότι οι Wenner-Schlumberger και προκύπτουν πολύ καλά συμπεράσματα για μεταβολές στην οριζόντια διεύθυνση (άρα οριοθέτηση κάθετων στόχων) σε σχέση με την δεύτερη που αποκρίνεται καλύτερα σε κάθετες διαφοροποιήσεις του υπεδάφους (Barker, 1979). Πραγματοποιήθηκε ακόμα και η μέθοδος της επαγόμενης πόλωσης, ωστόσο τα αποτελέσματα της δεν ήταν αντιπροσωπευτικά για να προκύψουν ασφαλή συμπεράσματα και γι’ αυτό τον λόγο παραλείπονται από την εργασία.

5.1. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Για την λήψη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το όργανο Syscal Pro, από το οποίο απλώθηκαν 2 πολυκάναλα καλώδια 500m, ένα προς τα ΒΒΔ και ένα προς τα ΝΝΑ. Το καθένα από αυτά τα επιμέρους καλώδια συνδέθηκε με ένα ηλεκτρόδιο. Η σύνδεση πραγματοποιήθηκε με την επαφή των ινών του καλωδίου απευθείας με το ηλεκτρόδιο και την απομόνωσή του με μονωτική ταινία, με σκοπό να εφάπτεται καλά με το ηλεκτρόδιο. Τα 21 ηλεκτρόδια που χρησιμοποιήθηκαν, τοποθετήθηκαν ανά 50m από

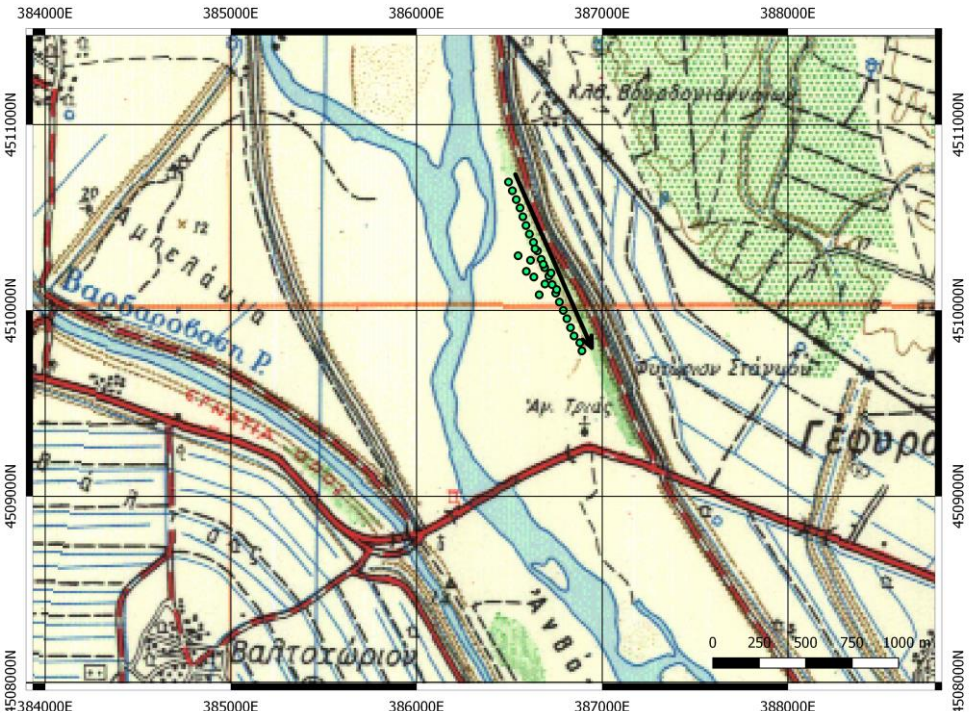
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογί
Α.Π.Θ

Εικόνα 20: Όργανο μέτρησης. Φωτογραφία από προσωπικό αρχείο.

ένα ηλεκτρόδιο που βρισκόταν στο κέντρο της διάταξης μαζί με το όργανο μέτρησης (εικόνα 20). Συνεπώς, το συνολικό ανάπτυγμα της δισδιάστατης διασκόπησης ήταν 1000m και η λήψη των μετρήσεων έγινε από τα ΒΒΔ προς τα ΝΝΑ.

Η θέση της γεωηλεκτρικής τομογραφίας φαίνεται στον μεγεθυμένο χάρτη (χάρτης 4). Οι πράσινες κουκίδες που βρίσκονται σε ευθεία αντιπροσωπεύουν τις συντεταγμένες των ηλεκτροδίων, ενώ οι υπόλοιπες (δυτικά) είναι μετρήσεις εκατέρωθεν της γεώτρησης της ΕΥΑΘ, που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από την τομογραφία και της οποίας η λιθοστρωματογραφία παρουσιάστηκε προηγουμένως. Το βέλος δείχνει την φορά με την οποία λήφθηκαν οι μετρήσεις, δηλαδή από ΒΒΔ προς ΝΝΑ.



Χάρτης 4: Θέση τομογραφίας (Φύλλο Πλατύ, ΓΥΣ).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

5.2. ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ-ΑΝΑΛΥΣΗ

Εφόσον, τα διαθέσιμα στοιχεία των διαγραφιών δεν παρείχαν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τον χαρακτηρισμό των υδροφορέων της περιοχής, αποφασίστηκε να γίνει μια τομογραφία, ώστε να μπορέσουν να προσδιοριστούν οι ακριβείς τιμές των ηλεκτρικών αντιστάσεων για τους σχηματισμούς που την αποτελούν και άρα να χαρτογραφηθούν οι θέσεις των γλυκών υδροφορέων και να διερευνηθεί η πιθανότητα ύπαρξης υφάλμυρων.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, κατά την λήψη των μετρήσεων μιας δισδιάστατης διασκόπησης, η διαδικασία γίνεται με αυτοματοποιημένο τρόπο. Αφού πραγματοποιηθεί η διασκόπηση, ένας φορητός υπολογιστής συνδέεται με το όργανο μέτρησης που χρησιμοποιείται, «φορτώνονται» τα δεδομένα της τομογραφίας και δημιουργείται μια ψευδοτομή. Η ψευδοτομή είναι ένα διάγραμμα, όπου προβάλλεται η φαινόμενη ηλεκτρική αντίσταση του υπεδάφους.

Ωστόσο, επιδιώκεται η εκτίμηση της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και γι’ αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η επεξεργασία των δεδομένων με ειδικά προγράμματα που πραγματοποιούν αντιστροφή της τομογραφίας και εξομαλύνουν την «εικόνα» του υπεδάφους. Για την αντιστροφή της τομογραφίας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα DC_2DPRO (Kim 2009).

Τα αποτελέσματα της αντιστροφής παρουσιάζονται σε επόμενα διαγράμματα. Ο οριζόντιος άξονας αντιπροσωπεύει τις θέσεις των ηλεκτροδίων με το πρώτο ηλεκτρόδιο στα ΒΒΔ να έχει την θέση 0m και το τελευταίο στα ΝΝΑ στην θέση 1000m. Η γεώτρηση της ΕΥΑΘ βρίσκεται κάθετα στο μέσο της τομής 500-550m και σε απόσταση ~100m προς τα δυτικά της τομογραφίας. Ο κατακόρυφος άξονας δείχνει το βάθος (σε m) της διασκόπησης σε κάθε θέση.

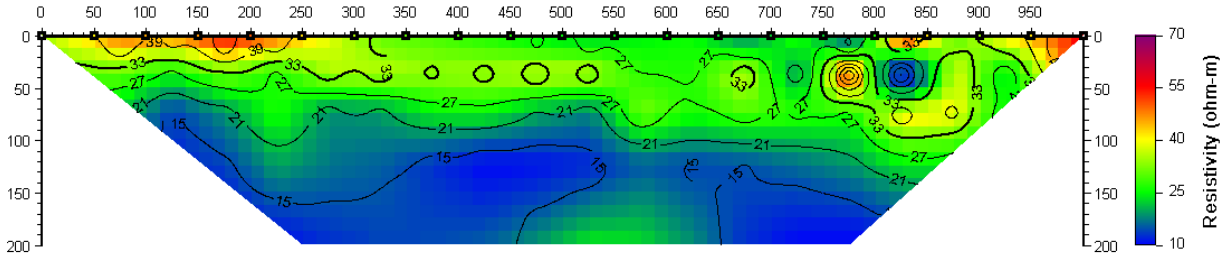
Οι τιμές των αντιστάσεων της περιοχής παρουσιάζονται με χρωματική κλίμακα στα δεξιά της κάθε τομογραφίας (διαγράμματα 1,2,3). Οι μικρές αντιστάσεις έχουν μπλε χρώμα, οι μεσαίες πράσινο-κίτρινο και οι μεγαλύτερες κόκκινο-μοβ. Στην συγκεκριμένη περιοχή κυμαίνονται από 10 έως 70 (Ohm-m). Οι ισοϋψείς γραμμές με τα αντίστοιχα νούμερα, ενώνουν τις περιοχές όμοιων αντιστάσεων και βοηθούν στην εκτίμηση των ενδιάμεσων τιμών.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Διάταξη διπόλου- διπόλου:

Στο διάγραμμα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αντιστροφής της διάταξης διπόλου-διπόλου. Στα δυτικά σε βάθος 20-50m και στα ανατολικά σε βάθος 0-100m, εμφανίζεται ένα σχετικά οριζόντιο στρώμα με αντιστάσεις 20-40 Ohm-m που σύμφωνα και με το υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη της περιοχής, θα μπορούσε να αντιστοιχεί στις άμμους, στους πηλούς και στις πηλούχους άμμους με πιθανή υδροφορία. Σε κάποια σημεία ενδιάμεσα αυτού του στρώματος, εντοπίζονται αυξημένες τιμές της αντίστασης (40-55 Ohm-m) πράγμα που σημαίνει ότι οι ίδιοι σχηματισμοί έχουν μεγαλύτερη συνεκτικότητα και συγκόλληση μεταξύ των κόκκων. Εμφανίζονται επίσης μικρές περιοχές με χαμηλές αντιστάσεις (π.χ. θέση 800-850m) που πιθανόν έχουν μεγάλη συγκέντρωση σε αργίλους.



Διάγραμμα 1: Αντιστροφή δεδομένων διάταξης Διπόλου-διπόλου.

Από το βάθος των 100m μέχρι το βάθος των 200m (μπλε περιοχή) οι αντιστάσεις είναι χαμηλές, γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη στρώματος αργίλων, που είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ παρεμβάλλονται και μερικές ενστρώσεις χονδρόκοκκης άμμου, με μέσες αντιστάσεις (βάθος 170-200m και στις θέσεις 500-600m περίπου). Οι τιμές των χαμηλότερων αντιστάσεων είναι της τάξης των 10-20 Ohm-m, τιμές που κατά μέσο όρο αντιστοιχούν σε αργιλικούς σχηματισμούς και άρα δεν υπάρχει πλέον υπόνοια για ύπαρξη υφάλμυρων υδροφορέων που συνήθως έχουν ακόμα χαμηλότερες αντιστάσεις.

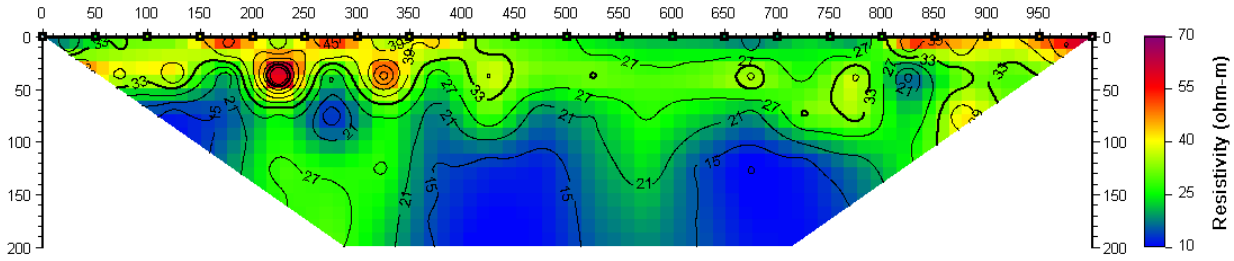
Διάταξη Multi-gradient:

Με την διάταξη αυτή (διάγραμμα 2) λαμβάνονται παρόμοια αποτελέσματα αν και εμφανίζονται κάποιες μικρές διαφοροποιήσεις σε σχέση με την προηγούμενη διάταξη. Πάλι σε βάθος 100-200m οι αντιστάσεις είναι χαμηλές, ωστόσο αξιοσημείωτη είναι η ύπαρξη μιας κατακόρυφης στήλης μέσων τιμών αντίστασης στις θέσεις 200-350m και

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

550- 600m. Η εικόνα αυτή μπορεί να σχετίζεται με την εφαρμογή της συγκεκριμένης διάταξης (καλύτερη απόκριση σε κατακόρυφες διαφοροποιήσεις).

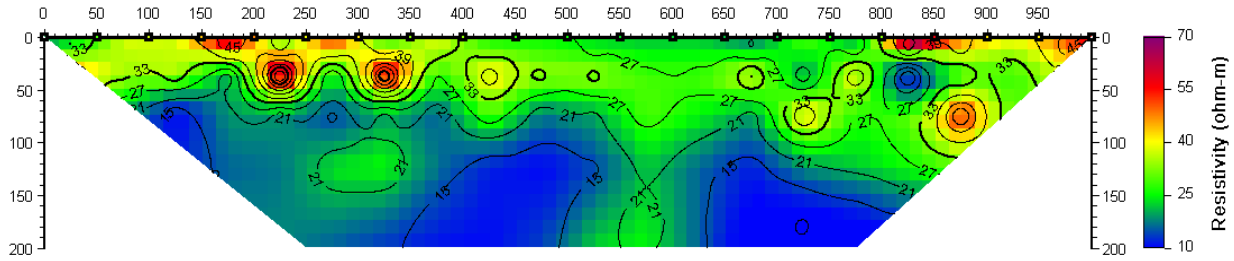


Διάγραμμα 2: Αντιστροφή διάταξης multi- gradient.

Τα υπόλοιπα στοιχεία φαίνεται να παραμένουν σχεδόν ίδια αλλά πιο 'μεγεθυμένα'. Η περιοχή με χαμηλές αντιστάσεις βρίσκεται στην ίδια θέση (αν εξαιρεθούν οι κατακόρυφες στήλες που σχολιάστηκαν). Οι περιοχές με πιο μεγάλες τιμές αντιστάσεων είναι πιο ευκρινείς και 'απλωμένες' από ότι στο προηγούμενο διάγραμμα.

Συνδυασμός των δύο διατάξεων:

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τον συνδυασμό και των δύο προηγούμενων διατάξεων (διάγραμμα 3) δείχνουν μια πιο ακριβή εικόνα του υπεδάφους, η οποία ωστόσο ταυτίζεται σε μεγάλο βαθμό με τις δυο τομογραφίες. Η κατακόρυφη στήλη μέσων αντιστάσεων στην θέση 550-600m, φαίνεται να έχει μεγαλύτερο πάχος υδροφόρων στρωμάτων σε σχέση με τις υπόλοιπες θέσεις της τομογραφίας, πράγμα που επιβεβαιώνεται από την γεώτρηση της ΕΥΑΘ και δικαιολογεί την ανόρυξή της στην συγκεκριμένη θέση. Από την άλλη, η στήλη στην θέση 200-350m που παρατηρούνταν στην προηγούμενη τομογραφία, σε αυτήν φαίνεται με πιο χαμηλές αντιστάσεις με εξαίρεση την ύπαρξη ενός μικρού στρώματος μέσων αντιστάσεων. Τα υπόλοιπα στοιχεία παραμένουν ίδια.



Διάγραμμα 3: Αντιστροφή της τομογραφίας των δύο διατάξεων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Λαμβάνοντας όλα αυτά τα δεδομένα υπόψιν, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι στην περιοχή της Γέφυρας, Θεσσαλονίκης δεν υπάρχουν υδροφορείς που έχουν υφαλμυρίσει. Στην περιοχή επικρατούν κυρίως υδροφορείς γλυκού νερού με μικρό γενικά βάθος (<100m), που αποτελούνται κατά βάση από άμμους. Οι αντιστάσεις στην περιοχή κυμαίνονται από 10-70 Ohm-m, με τους αργιλικούς ορίζοντες να παρουσιάζουν τις χαμηλότερες τιμές.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά την έρευνα για την διαπίστωση ύπαρξης ή μη υφάλμυρων υδροφορέων σε περιοχή κοντά στην Γέφυρα, δυτικά της Θεσσαλονίκης. Παρουσιάζονται οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης και πιο συγκεκριμένα αυτή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της επαγόμενης πόλωσης. Αναφέρονται, επίσης, μερικές από τις κυριότερες διατάξεις ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται κατά την εφαρμογή των μεθόδων και οι σχέσεις υπολογισμού της φαινόμενης αντίστασης που σχετίζεται με την κάθε διάταξη, καθώς και οι τρόποι (βυθοσκόπηση, όδευση, δισδιάστατη τομογραφία) με τους οποίους μπορούν να ληφθούν οι μετρήσεις, ανάλογα με τον σκοπό της κάθε έρευνας. Στην συνέχεια, προσδιορίζεται η περιοχή μελέτης και τα γεωλογικά της στοιχεία με παρουσίαση χαρτών και επιπλέον παρουσιάζονται οι διαγραφίες που είχαν εφαρμοστεί κατά την ανόρυξη γεώτρησης της ΕΥΑΘ σε κοντινή απόσταση. Τέλος, παραθέτονται και ερμηνεύονται τα δεδομένα από την τομογραφία που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή έρευνας.

Στην περιοχή μελέτης δεν ανιχνεύθηκαν υφάλμυροι υδροφορείς. Οι τιμές τις αντίστασης έδειξαν την ύπαρξη μόνο γλυκών υδροφορέων.

ABSTRACT

The thesis aims to contribute whether or not salinated aquifers exist in a specific area of Gefyra, which is west of Thessaloniki. Electrical geophysical methods are presented and especially those of electrical resistivity and induced polarization. Basic electrode configurations that are used during the field survey are presented along with the calculations of the apparent resistivity. In addition, the measuring methods (vertical electrical sounding, lateral profiling, 2D profiling), that are used to determine the measurements taken at the field, depending each time from the purpose of the research, are presented. The area of interest and its geological formations are shown in geological maps included in this thesis. Furthermore, the loggings applied in a drilling of EATH nearby are presented. Finally, the information from the tomography taken in the area of interest is cited and analyzed.

In the study area, no saline aquifers are detected. Resistivity values of the geological units show the presence of aquifers with only fresh water present.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Βουδούρης, Κ., (2013). 'Τεχνική Υδρογεωλογία '. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Βουδούρης, Κ., (2015). 'Εκμετάλλευση & Διαχείριση Υπόγειου Νερού'. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Μενδρινού, Μ., (2015). 'Εντοπισμός υφάλμυρων υδροφορέων στην περιοχή του Αγ. Αθανασίου Θεσσαλονίκης με την εφαρμογή γεωφυσικών μεθόδων', Μεταπτυχιακή εργασία.

Μουντράκης, Δ.Μ., (2010). 'Γεωλογία Ελλάδας και γεωτεκτονική εξέλιξη του Ελληνικού χώρου'. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Παπαζάχος, Β.Κ., (1996). 'Εισαγωγή στην εφαρμοσμένη Γεωφυσική '. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Τσελέντης, Α., Παρασκευόπουλος, Π., (2013). 'Εφαρμοσμένη γεωφυσική'. Εκδόσεις Liberal books, Αθήνα.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Bachmat, Y., (2005). 'Groundwater and aquifers. Encyclopedia of Soils in the Environment', p.153–168.

Barker, R. D., (1979). 'Signal contributions sections and their use in resistivity studies'. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 59(1), 123-129.

Frohlich, R.K., Urish, D.W., Fuller, J., O' Reilly, M., (1994). 'Use of geoelectrical methods in groundwater pollution surveys in a coastal environment'. Journal of Applied Geophysics, Vol. 32 p. 139-154.

Garofalo, F., (2014). 'Physically constrained joint inversion of seismic and electrical data for near-surface application'.

Glover, P.W.J, (2016). 'Archie's law – a reappraisal'. Solid earth, Vol.7, p.1157-1169.

Jamaluddin, Umar, E., P., (2018). 'Identification of subsurface layer with Wenner-Schlumberger arrays configuration geoelectrical method'.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Kim, J. H., (2009). 'DC2DPro-2D interpretation system of DC resistivity tomography. User's Manual and Theory KIGAM'.

Leucci, G., (2019). 'Nondestructive testing for archaeology and cultural heritage a practical guide and new perspectives'. Springer International Publishing.

Leucci, G., (2020). 'Advances in Geophysical Methods Applied to Forensic Investigations', Springer Nature, p.30-48.

Loke, M. H., (2012). 'Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys'.

Loke, M. H., Chambers, J. E., Rucker, D. F., Kuras, O., Wilkinson, P. B., (2013). 'Recent developments in the direct-current geoelectrical imaging method', Journal of Applied Geophysics, Vol.95, p.135-156.

Martins, A.C, Elis, V.R, Tomi, G.D, Bettencourt, J.S., Marin, T., (2016). 'Resistivity and induced polarization to support morphological modeling in limestone mining', vol.55 no.4.

Mountrakis, D., Sapountzis, E., Kilias, A., Eleftheriadis, G., & Christofides, G., (1983). 'Paleogeographic conditions in the western Pelagonian margin in Greece during the initial rifting of the continental area'. Canadian Journal of Earth Sciences, Vol.20, p. 1673–1681.

Samouëlian, A., Cousin, I., Richard, G., Tabbagh, A., & Bruand, A., (2003). 'Electrical Resistivity Imaging for Detecting Soil Cracking at the Centimetric Scale'. Soil Science Society of America Journal, Vol.67, No (5).

Samouëlian, A., Cousin, I., Tabbagh, A., Bruand, A., Richard, G., (2006). 'Electrical resistivity survey in soil science: a review'.

Stefopoulou, A., Soulis, K., Papapetrou, M., Kyritis, S. and Epp, C., (2008). 'Institutional and policy framework analysis in relation to the application of autonomous desalination systems - Greece' Desalination', Vol. 220, pp. 455-467.

Todd, D.K., (1980). 'Groundwater Hydrology', John Wiley & Sons

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Διαδικτυακές πηγές:

Εικόνα 1:
https://openstax.org/books/college-physics-ap-courses/pages/20-3-resistance-and-resistivity

Εικόνα 3:
https://em.geosci.xyz/content/physical_properties/electrical_conductivity/index.html#electrical-conductivity-index

Εικόνα 5:
https://em.geosci.xyz/content/geophysical_surveys/dcr/survey.html

Εικόνα 7:
http://www.geofizika.bg/Vertical_electrical_sounding

Εικόνα 9:
https://www.ngwa.org/what-is-groundwater/About-groundwater/confined-or-artesian-groundwater

Εικόνα 15:
https://informedwell.com/e-logging

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης