

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

«ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ»

ΤΟΜΕΑΣ «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Εντοπισμός υφάλμυρων υδροφορέων στην περιοχή του Αγ. Αθανασίου
Θεσσαλονίκης με την εφαρμογή γεωφυσικών μεθόδων»

ΜΕΝΔΡΙΝΟΥ ΜΑΡΙΑΝΝΑ
ΦΥΣΙΚΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2015

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :

- 1) Γιώργος Βαργεμέζης,** Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ,
Επιβλέπων,
- 2) Κωνσταντίνος Βουδούρης,** Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ,
Συνεπιβλέπων,
- 3) Παναγιώτης Τσούρλος,** Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ,
Μέλος

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του ΜΠΣ «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία» στον κλάδο ειδίκευσης «Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία», του τμήματος Γεωλογίας, του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης κατά το ακαδημαϊκό έτος 2014-2015.

Για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς:

Τον επιβλέποντά μου, Αναπληρωτή Καθηγητή Γιώργο Βαργεμέζη του Τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ, Τομέας Γεωφυσικής, τόσο για την ουσιαστική βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, την καθοδήγησή του στο επιστημονικό κομμάτι, την υπομονή του όσο και για την ηθική του στήριξη.

Τον Αναπληρωτή Καθηγητή Κωνσταντίνο Βουδούρη (Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ, Τομέας Υδρογεωλογίας) για την επιστημονική του συμβολή.

Τον Δρ. Ηλία Φίκο, ΕΔΙΠ Εργαστηρίου Εφ. Γεωφυσικής, για την πολύτιμη βοήθεια του κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Τους διδάκτορες Χρήστο Μάττα και Τριαντάφυλλο Κακλή για τις πολύτιμες υποδείξεις τους σε υδρογεωλογικά θέματα στο επιστημονικό κομμάτι.

Τους μεταπτυχιακούς φοιτητές Γεωργία Γρηγοριάδου, Θράσο Στυλιανού και Κώστα Τσακιρμπαλόγλου για τη συμμετοχή τους στις μετρήσεις.

Την ΕΥΑΘ για τη διάθεση των πληροφοριών και των δεδομένων από τις γεωτρήσεις ύδρευσης της περιοχής μελέτης.

Τον Γεωλόγο Θωμά Σπάχο για την βοήθεια του σχετικά με τα δεδομένα των γεωτρήσεων ύδρευση της περιοχής μελέτης καθώς και για την καθοδήγηση που μου παρείχε για τον τρόπο επεξεργασίας των πληροφοριών.

Τους φίλους μου για την ψυχολογική στήριξη που μου παρείχαν.

Τους γονείς μου που είναι πάντα δίπλα μου και με στηρίζουν σε κάθε μου προσπάθεια.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1 Κεφάλαιο πρώτο	10
1.1 Γεωμορφολογική εξέλιξη του κόλπου του Θερμαϊκού.....	10
1.2 Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής.....	12
1.3 Υδρογεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής μελέτης	13
1.3.1 Υδρογεωλογία της λεκάνης του Αξιού	16
1.3.2 Επιφανειακά ύδατα	17
1.4 Περιοχή μελέτης.....	18
1.5 Χρήσεις γης.....	19
1.6 Γεωλογία της περιοχής μελέτης	27
1.7 Κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης.....	29
1.8 Υδρογεωλογία της περιοχής μελέτης	31
1.9 Το πρόβλημα της υφαλμύρισης	36
2 Κεφάλαιο δεύτερο	38
2.1 Γεωφυσικές μέθοδοι.....	38
2.1.1 Ειδική ηλεκτρική αντίσταση	45
2.1.2 Φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση	51
2.2 Ηλεκτρική Τομογραφία.....	52
2.2.1 Βασικές αρχές της εφαρμογής.....	53
2.2.2 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ.....	53
2.2.3 Διάταξη ηλεκτροδίων	54
3 Κεφάλαιο τρίτο	58
3.1 Εξοπλισμός	58
3.2 Θέσεις τομογραφιών	59
3.3 Αποτελέσματα και Ερμηνεία.....	60
3.3.1 Ηλεκτρική Τομογραφία 1	60
3.3.2 Ηλεκτρική Τομογραφία 2	62
3.3.3 Ηλεκτρική Τομογραφία 3	64
4 Κεφάλαιο τέταρτο	67
4.1 Μέθοδος γεωφυσικής διαγραφίας	67
4.2 Αποτελέσματα γεωφυσικών διαγραφιών.....	70
4.2.1 Γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση	75
4.2.2 Μέθοδος γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης	75
4.2.3 Αποτελέσματα βυθοσκόπησης.....	76
5 Κεφάλαιο πέμπτο	78
5.1 Συμπεράσματα – προτάσεις.....	78
6 Βιβλιογραφία	80

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επιτακτική ανάγκη για υψηλής ποιότητας γλυκό νερό έχει οδηγήσει στην ολοένα μεγαλύτερη εκμετάλλευση των υπόγειων υδροφορέων, προκαλώντας υποβάθμιση των υπόγειων υδάτων τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Όσον αφορά στην ποιοτική υποβάθμιση, μεγαλύτερο πρόβλημα αποτελεί το φαινόμενο της υφαλμύρισης. Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό τον εντοπισμό υφάλμυρων υδροφορέων στην ευρύτερη περιοχή του Αγίου Αθανασίου με τη εφαρμογή γεωφυσικών μεθόδων.

Ο Άγιος Αθανάσιος βρίσκεται 20χλμ δυτικά από την πόλη της Θεσσαλονίκης, ανήκει στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας και τοποθετείται στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης-Γιαννιτών. Στο σύνολο της η περιοχή έχει χαμηλό τοπογραφικό ανάγλυφο με μέγιστο υψόμετρο τα 4μ. Από γεωτεκτονικής άποψης ανήκει στη ζώνη του Αξιού, συγκεκριμένα στην ζώνη Παιονίας. Ολόκληρη η περιοχή καλύπτεται από ιζήματα του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς. Η λιθολογία της περιοχής η οποία αποτελεί ένδειξη για ύπαρξη υφάλμυρων υδάτων, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι στην περιοχή εξελίσσονται τόσο γεωργικές όσο και βιομηχανικές δραστηριότητες, καθιστά την περιοχή ιδιαίτερου ενδιαφέροντος που οδήγησε στην πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας.

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή γεωηλεκτρικών τομογραφιών, σε περιοχή κοντά στο βιομηχανικό πάρκο της Θεσσαλονίκης, στη Κάτω Γέφυρα. Επίσης, εξετάστηκαν δεδομένα που υπήρχαν από γεωφυσικές διαγραφίες σε γεωτρήσεις πλησίον των θέσεων των ηλεκτρικών τομογραφιών καθώς επίσης και δεδομένα από μια βυθοσκόπηση σε κοντινή περιοχή (περίπου 5χλμ).

Με την εφαρμογή των ηλεκτρικών τομογραφιών πραγματοποιήθηκε η γεωηλεκτρική απεικόνιση του υπεδάφους και με τη βοήθεια των λιθοστρωματογραφικών στηλών πραγματοποιήθηκε η βαθμονόμηση των τιμών των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων.

Προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Από τα στοιχεία των γεωτρήσεων που μελετήθηκαν στη περιοχή, προκύπτει η ύπαρξη υφάλμυρων υδροφόρων στρωμάτων, κυρίως βάσει των τιμών ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας των αντλούμενων υδάτων.

- Η ποιότητα των υδάτων σε υπάρχουσες γεωτρήσεις παρουσιάζει διαχρονική υποβάθμιση, με αποτέλεσμα ακόμα και την παύση λειτουργίας των.
- Η υφαλμύριση πιστεύεται ότι προκύπτει από επιμόλυνση των υπόγειων νερών που έρχονται σε επαφή με σχηματισμούς που χαρακτηρίζονται από παραμένουσα αυξημένη αλατότητα μετά την απόσυρση της θάλασσας από την περιοχή.
- Η εφαρμογή επιφανειακών γεωφυσικών μεθόδων και ειδικότερα της γεωηλεκτρικής τομογραφίας είχε ως αποτέλεσμα τον εντοπισμό των υφάλμυρων υδροφόρων στρωμάτων και την σε ικανοποιητικό βαθμό διάκρισή τους από τους γλυκούς υδροφορείς.
- Στην περιοχή που ερευνήθηκε, ο υφάλμυρος υδροφορέας εντοπίστηκε υπό μορφή φακών σε βάθη από 20 έως 100 μέτρα με πλευρικές διακυμάνσεις και αποσφηνώσεις στρωμάτων.
- Περιοχές με αναμενόμενη γλυκιά υδροφορία συναντώνται σε βάθη μεγαλύτερα των 100 μέτρων και μέχρι τα 200.

Με βάση τα παραπάνω, πιστεύεται ότι η εκτέλεση γεωφυσικής έρευνας πριν από την ανόρυξη υδρογεώτρησης στη περιοχή, ακόμα και αν δεν θεωρηθεί επιβεβλημένη, ενδείκνυται για τον σχεδιασμό ακόμα και της φάσης διάτρησης, έτσι ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε επικοινωνία των υφάλμυρων υδροφορέων με τους γλυκούς.

Δεδομένου ότι στην περιοχή υπάρχει έντονη ανθρωπογενής δραστηριότητα, θα πρέπει να πραγματοποιείται συστηματική παρακολούθηση των υπόγειων υδροφορέων τόσο με δειγματοληψία και φυσικοχημικές αναλύσεις του υπόγειο νερού όσο και με επιφανειακές γεωφυσικές μεθόδους που οι σύγχρονες τεχνικές επιτρέπουν την αυτοματοποιημένη διενέργεια μετρήσεων και διαχρονική παρακολούθηση μεταβολών σε μεγάλη κλίμακα.

ABSTRACT

The high demand for high quality fresh water has led to the increasingly greater exploitation of aquifers, resulting in the deterioration of groundwater both quantitatively and qualitatively. As far as the quality deterioration is concerned, the bigger problem is caused by the salination of groundwater. The present thesis intents in the detection of saline aquifers in the area Agios Athanasios by the use of geophysical methods.

Agios athanasios is located 20km western of Thessaloniki, in Central Macedonia Region, and is located in Thessaloniki- Giannitsa plain. In the overall region has low topographic relief with maximum altitude 4m. Geotectonically it belongs to Axios zone and specifically the particular zone of Paeonia. The entire area is covered by sediments of Tertiary, Quaternary and Neogene. The lithology of the region which is an indication of existence of brackish water, combined with the fact that in the region are both agricultural and industrial activities, renders the area of particular interest which has led to the realization of this research.

The study was conducted by applying geoelectrical tomography close to the area of industrial park of Thessaloniki, in Kato Gefyra. In addition, existing data from borehole logging were examined, as well as data from an electrical sounding that took place nearby the area (approximately 5km)

The geoelectrical imaging of the ground was conducted by the implementation of electrical resistivity tomography; the calibration of the measured resistivity was performed according to lithological data.

The following conclusions arose with this study:

- According to the data which derived from the studied boreholes of the area and mainly based on the values of specific electrical conductivity of the pumped water, it is concluded that there is a presence of brackish water.
- The fact that there is temporal degradation of water quality in the existing wells is leading even in the closure of them.
- The salinization is believed to derive from the contamination of groundwater which is in contact with formations characterized by high persistent salinity after the withdrawal of the sea out of the area.

- The application of surface geophysical methods especially geoelectrical tomography method resulted in the detection of saline aquifers and in sufficiently distinguish them from fresh aquifers.
- In the investigated area, the detected saline aquifer's form was in lenses at depths of 20 up to 100m with side variations and narrowing of the layers.
- Areas with expected fresh water occur at depths of 100m up to 200m.

According to the precedents it is believed that the implementation of geophysical survey before the drilling of wells in the area, even if not considered essential, it is appropriate to design even the drilling phase, so as to avoid any communication of brackish aquifers with sweet aquifers.

Taking into account the fact that there is intense anthropogenic activity in the area continuous monitoring of the aquifers should take place both with sampling and chemical analysis of underground water and with geophysical methods in which modern techniques enable the automated conducting measurements and monitor changes over time on a large scale.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το υπόγειο νερό είναι ένας ανανεώσιμος φυσικός πόρος με την προϋπόθεση ότι διατηρείται η ισορροπία μεταξύ του εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων και της εκφόρτισης τους. Ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων γίνεται μέσω της κατείσδυσης είτε από τα κατακρημνίσματα είτε μέσω της διήθησης από επιφανειακά ύδατα. Υπάρχουν και μη ανανεώσιμοι υπόγειοι υδατικοί πόροι, με την έννοια ότι η περίοδος ανανέωσης των αποθεμάτων είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Έτσι, ως μη ανανεώσιμος υδατικός πόρος ορίζεται το υπόγειο νερό που είναι διαθέσιμο προς εκμετάλλευση από τα αποθέματα ενός υδροφορέα με πολύ μικρό ετήσιο ρυθμό ανανέωσης και μεγάλη αποθηκευτική ικανότητα. Τέτοιες περιπτώσεις εμφανίζονται σε περιοχές ελεύθερων υδροφορέων με μικρό και σπάνιο εμπλουτισμό ή σε υπό πίεση τμήματα υδροφορέων με περιορισμένο εμπλουτισμό, με συνέπεια η πιεζομετρική επιφάνεια να πέφτει συνεχώς με την άντληση νερού. Η αξιοποίηση ενός μη ανανεώσιμου υδατικού πόρου συνήθως περιλαμβάνει την άντληση απολιθωμένου νερού, δηλαδή νερού που κατείσδυσε και αποθηκεύτηκε πριν από χιλιάδες χρόνια σε διαφορετικές συνθήκες από τις σημερινές.

Το υπόγειο νερό αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές πηγές γλυκού νερού στη Γη. Υπάρχει σε ποσοστό 0,61% ενώ το επιφανειακό γλυκό νερό αντιστοιχεί σε ποσοστό 0,02%. Χρησιμοποιείται για διάφορους λόγους, όπως για ύδρευση, οικιακή χρήση, βιομηχανική χρήση, άρδευση και για οποιοδήποτε άλλο λόγο υπάρχει απαίτηση καθαρού νερού.

Η ανάγκη για καθαρό νερό υψηλής ποιότητας έχει οδηγήσει στην συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση υπόγειου νερού. Γενικά η εκμετάλλευση υπόγειου νερού τροποποιεί το υδραυλικό φορτίο και την υπόγεια ροή. Όταν η εκμετάλλευση υπερβαίνει τη φυσική αναπλήρωση, τότε η κατάσταση έχει αρνητικές επιπτώσεις και χαρακτηρίζεται με τον όρο υπερεκμετάλλευση. Ειδικά στις λεκάνες που συνορεύουν με τη θάλασσα και υπάρχει ανθρώπινη δραστηριότητα που σχετίζεται με το υπόγειο νερό, όπως αγροτική και βιομηχανική, ο κίνδυνος της υπεράντλησης γίνεται ακόμη πιο σημαντικός. Στις λεκάνες αυτές είναι ακόμη μεγαλύτερη ανάγκη για την κατασκευή υδρομαστευτικών έργων να λαμβάνονται υπόψη όλα τα διαθέσιμα στοιχεία για την εκτίμηση των υδρογεωλογικών παραμέτρων που θα οδηγήσουν σε λήψη αποφάσεων και στο σχεδιασμό των υδρομαστευτικών έργων. Τα δεδομένα που απο-

κομίζονται από τις γεωφυσικές έρευνες είναι μεγάλης σημασίας στις υδρογεωλογικές μελέτες.

Η λεκάνη της Θεσσαλονίκης έχει τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Παρουσιάζει πλήθος ανθρωπίνων δραστηριοτήτων και συνορεύει με τη θάλασσα. Στα πλαίσια της διατριβής επιλέχθηκε ένα τμήμα της λεκάνης Θεσσαλονίκης η οποία συγκεντρώνει τα χαρακτηριστικά αυτά. Στην περιοχή που μελετήθηκε είχε προηγηθεί μια βυθοσκόπηση, τον Ιούλιο του 2012, μέσω της οποίας παρατηρήθηκαν φαινόμενα υφαλμύρισης και διαχρονικής ποιοτικής υποβάθμισης υδρογεωτρήσεων, γεγονός που αποτέλεσε έναυσμα για επιπρόσθετες γεωφυσικές μετρήσεις. Επιπλέον, η περιοχή που επιλέχθηκε να μελετηθεί, στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν αποτελούσε θαλάσσιο τμήμα, γεγονός που ενισχύει την εμφάνιση υφάλμυρων σχηματισμών, οι οποίοι μέσω της επαφής τους με τα υπόγειο ύδατα, μεταφέρουν σε αυτά ιόντα οδηγώντας τα σε ποιοτική υποβάθμιση και εμφάνιση υφαλμύρισης.

Ως υφαλμύριση ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία το υπόγειο νερό εμπλουτίζεται με διαλυμένα άλατα και συγκεκριμένα με ιόντα χλωρίου και νατρίου. Αποτελεί είδος ρύπανσης και οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες ή σε υδρογεωλογικούς παράγοντες (Βουδούρης, 2003).

Σημαντικό ζήτημα στο οποίο καλείται να συμβάλει η γεωφυσική έρευνα είναι ο υπολογισμός του πάχους των υφάλμυρων αποθέσεων σε συνδυασμό με τις δυνατότητες ανάπτυξης υδροφορίας γλυκού νερού σε υποκείμενους σχηματισμούς

Σε αυτή την κατεύθυνση κινείται η παρούσα διατριβή ειδίκευσης στην οποία γίνεται προσπάθεια αξιολόγησης γεωλογικών, υδρογεωλογικών και γεωφυσικών δεδομένων.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται στο πρώτο κεφάλαιο πληροφορίες για την περιοχή έρευνας, στο δεύτερο οι γεωφυσικές μέθοδοι που επιλέχθηκαν να εφαρμοστούν, στο τρίτο κεφάλαιο η ερμηνεία και αξιολόγηση των μετρήσεων, στο τέταρτο η αξιολόγηση των υδρογεωλογικών δεδομένων και στο πέμπτο κεφάλαιο τα συμπεράσματα και οι προτάσεις.

1 Κεφάλαιο πρώτο

Η περιοχή έρευνας ανήκει στη λεκάνη του Αξιού, η οποία παρουσιάζει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά δεδομένου ότι αποτελούσε τμήμα του Θερμαϊκού κόλπου στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν. Για το λόγο αυτό παρουσιάζεται η γεωμορφολογική εξέλιξη του κόλπου του Θερμαϊκού και στη συνέχεια τα χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας.

1.1 Γεωμορφολογική εξέλιξη του κόλπου του Θερμαϊκού

Η παρούσα μορφολογία του κόλπου του Θερμαϊκού είναι το αποτέλεσμα πλήθους φυσικών διαδικασιών οι οποίες έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10.000 χρόνων. Η πιο σημαντική ήταν η άνοδος της στάθμης της θάλασσας μετά την τελευταία παγετώδη περίοδο και οι διαρκείς διαδικασίες απόθεσης ιζημάτων από τους ποταμούς Γαλλικό, Αξιό και Αλιάκμονα οι οποίοι σχημάτισαν το μεγάλο δελταϊκό σύμπλεγμα στα βόρεια και δυτικά τμήματα του κόλπου.

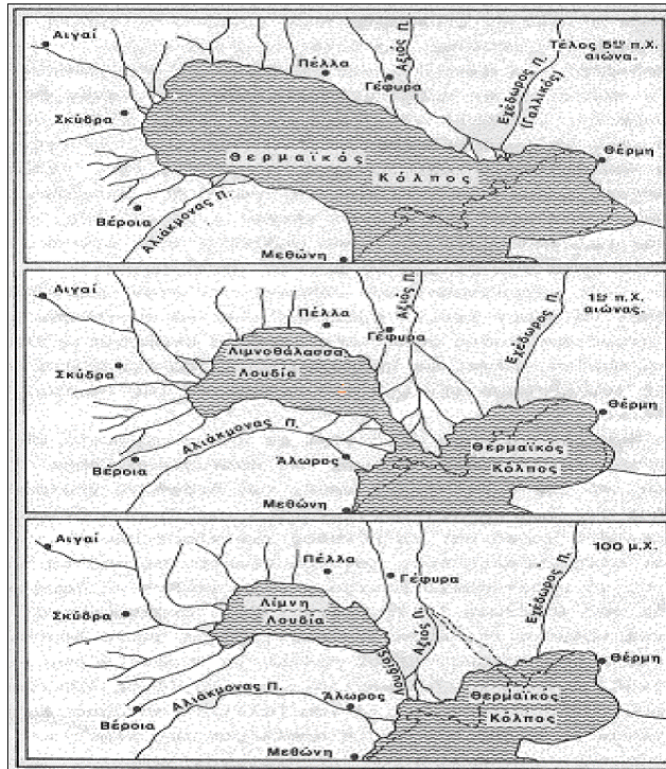
Καθώς η στάθμη της θάλασσας ανέβηκε, οι περιοχές χαμηλού υψομέτρου κατακλύστηκαν και μια νέα ισορροπία επικράτησε στην περιοχή. Η θαλάσσια επίκλυση είχε ως αποτέλεσμα την αλλαγή στις συνθήκες διάβρωσης και απόθεσης τόσο στο χερσαίο όσο και στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Σύμφωνα με τους Βουβαλίδη et al. (2005), η στάθμη της θάλασσας στην περιοχή του Θερμαϊκού είχε μια γρήγορη ανύψωση μεταξύ 30m 10000 χρόνια πριν και 5m 5000 χρόνια πριν, ενώ μικρότεροι ρυθμοί παρατηρήθηκαν τα τελευταία 4000 χρόνια.

Η παρουσία των ποταμών έχει επηρεάσει σημαντικά τη μορφολογία του κόλπου του Θερμαϊκού και της ευρύτερης περιοχής. Τον 5ο αιώνα π.Χ η πεδιάδα της Θεσσαλονίκης ήταν καλυμμένη από θάλασσα. Οι αρχαίες πόλεις Πέλλα και Σκύδρα ήταν παράκτιες, ενώ σήμερα απέχουν 30 χιλιόμετρα από την ακτογραμμή. Οι εκβολές του Αξιού βρισκόταν ανατολικά της Χαλκηδόνας.

Από τον 1ο αιώνα π.Χ., λόγω των αποθέσεων αλλούβιων από τους ποταμούς Γαλλικό, Αξιό, Λουδία και Αλιάκμονα σε συνδυασμό με την τεκτονική ανύψωση της περιοχής, περικυκλώνεται μια έκταση από τη θάλασσα στο λιμάνι της Πέλλας με αποτέλεσμα να σχηματιστεί η

λιμνοθάλασσα του Λουδία, η οποία στη συνέχεια αποκόπηκε τελείως από τη θάλασσα και αποτελεί πλέον λίμνη.



Σχήμα 1¹. Γεωμορφολογική εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής από τον 5^ο και τον 1^ο αι. π.Χ. και τον 1^ο αι. μ.Χ. (από Μελαδιώτης 1984)

Στις αρχές του 20ου αιώνα, ολόκληρο το κεντρικό τμήμα της πεδιάδας καλύφθηκε από εκτεταμένες ελώδεις περιοχές και βλάστηση.

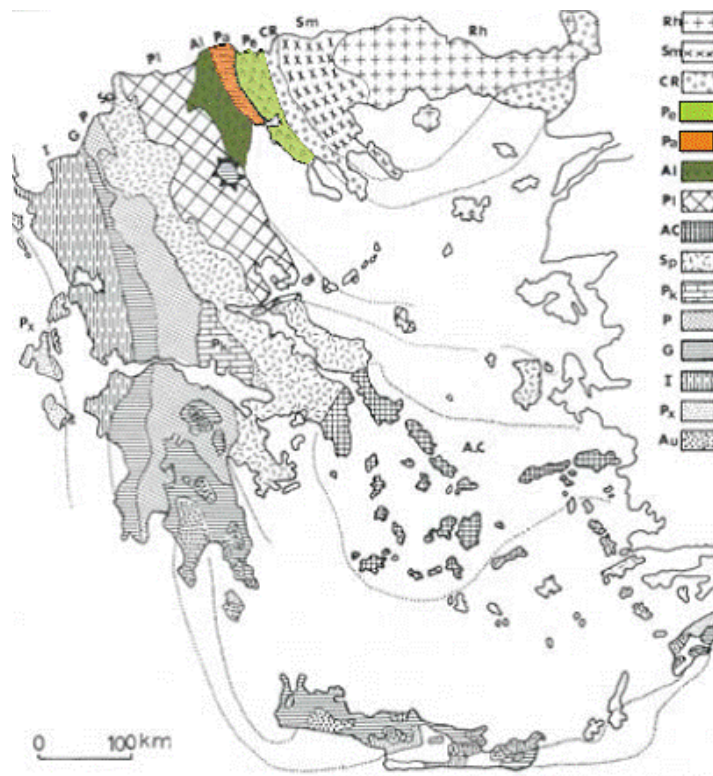
Οι εκβολές του ποταμού Αξιού τοποθετήθηκαν λίγα χιλιόμετρα νοτιοδυτικά της Θεσσαλονίκης. Κατά τη διάρκεια της περιόδου 1928-1934 η κοίτη του ποταμού εκτράπηκε 10km προς τα δυτικά, στην περιοχή του Ανατολικού προκειμένου να αποτραπεί ο κίνδυνος της πρόσχωσης στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης. Τα εκτεταμένα αποστραγγιστικά έργα που κατασκευάστηκαν κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα, είχαν σκοπό να καλύψουν τις αυξανόμενες ανάγκες για αγροτική και οικιακή χρήση, αλλά και για την αντιμετώπιση ασθενειών που σχετίζονταν με τους βάλτους.

¹ Registration for information assessment for the integral management of the Axios-Vardar river basin. (pr. Bonazountas Markos, Vasilopoulos Vasilis, Leivadarou Jenny, 2006)

Η δημιουργία του Δέλτα του Αξιού, στην παρούσα μορφή του, είναι το αποτέλεσμα της μεταφοράς και της απόθεσης ιλύος από τον ποταμό. Σύμφωνα με τους Πούλο et al. (1994) οι διαδικασίες διάβρωσης υπερίσχυσαν τα τελευταία τριάντα χρόνια. Εκτιμάται ότι κατά τη διάρκεια της περιόδου 1850-1990 η παράκτια δελταϊκή περιοχή του Αξιού έχει επεκταθεί προς τη θάλασσα, δημιουργώντας ένα νέο τμήμα στεριάς 175km².

1.2 Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής

Η λεκάνη του Αξιού ανήκει στο γεωτεκτονικό χώρο της ζώνης Αξιού, η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ της μάζας Ροδόπης προς τα Ανατολικά και της Πελαγονικής προς τα Δυτικά. Εκτείνεται από την περιοχή των Σκοπίων έως τον Θερμαϊκό κόλπο και το Αιγαίο.



Σχήμα 2². Ζώνη Αξιού.

Βασικό χαρακτηριστικό της ζώνης αυτής είναι οι μεγάλες οφειολιθικές μάζες, οι οποίες συνιστούν την «Εσωτερική Οφειολιθική Λωρίδα», IRO.

Η ζώνη του Αξιού θεωρείται μια ενιαία ζώνη με χαρακτήρες παλιάς ωκεάνιας περιοχής από όπου προήλθαν οι οφειόλιθοι.

² <http://www.geo.auth.gr/museum/MammalFiles>

Λόγω των εσωτερικών ετερογενειών, η Ζώνη του Αξιού διακρίνεται σε τρεις επιμέρους ζώνες οι οποίες ονομάστηκαν ανάλογα με τους παλαιογεωγραφικούς χαρακτήρες:

- Αύλακα Παιονίας
- Ύβωμα Πάικου
- Αύλακα Αλμωπίας

Η περιοχή μελέτης ανήκει στη ζώνη της Παιονίας. Οι ζώνες αυτές θεωρούνται υποζώνες της Ενιαίας Ωκεάνιας Ζώνης.

- Ζώνη Παιονίας

Καθορίστηκε ως Μεσοζωϊκή Αύλακα μεταξύ της Ελληνικής Ενδοχώρας και της ζώνης του Πάικου. Από γεωτεκτονική άποψη η ζώνη Παιονίας αντιπροσωπεύει τμήμα της παλιάς ωκεάνιας περιοχής της Τηθύος. Αντιπροσωπεύει τα ιζήματα τα οποία αποτέθηκαν στην ανοιχτή βαθιά θάλασσα. Χαρακτηρίζεται από λεπιοειδή τεκτονική. Τα τεκτονικά λείπια σχηματίστηκαν από Τριτογενή συμπιεστική τεκτονική. Το κάθε λέπι αντιστοιχεί σε μία ενότητα, οι οποίες αναφέρονται παρακάτω:

- Ενότητα Γευγελής
- Ενότητα Ωραιοκάστρου
- Ενότητα Βαφειοχωρίου
- Ενότητα Ασπρης Βρύσης
- Ενότητα Αρτζάν
- Ενότητα Μεταλλικού
- Ενότητα Λεβεντοχωρίου

1.3 Υδρογεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Με βάση τους γεωλογικούς σχηματισμούς η λεκάνη του Αξιού δομείται από δύο ομάδες πετρωμάτων ως προς την υδρογεωλογική τους συμπεριφορά:

- Τα πετρώματα της ορεινής και ημιορεινής περιοχής
- Τους κοκκώδεις σχηματισμούς της λοφώδους και πεδινής περιοχής.

Τα κοκκώδη υπόγεια υδατικά συστήματα είναι τα ακόλουθα:

- κοκκώδες σύστημα του Αξιού
- κοκκώδες σύστημα Ποντοηράκλειας
- κοκκώδες σύστημα Ασπρόλακκα

Στην περιοχή όπου πραγματοποιήθηκε η έρευνα οι σχηματισμοί είναι κοκκώδεις. Σε αυτούς ανήκουν ιζήματα του Τριτογενούς και αποθέσεις του Τεταρτογενούς. Τα ιζήματα του Τριτογενούς αναπτύσσονται στο νότιο τμήμα της και σε μεγάλη έκταση καλύπτονται από αποθέσεις του Τεταρτογενούς. Η υδροπερατότητα των ιζημάτων του Τριτογενούς χαρακτηρίζεται χαμηλή έως μέτρια, συνίστανται από εναλλαγές ημιπερατών (άμμοι και ψαμμίτες) και υδατοστεγών στρωμάτων (αργίλοι και μάργες). Οι αποθέσεις του Τεταρτογενούς συνίστανται από ιλύες, αργίλους, ιλυούχες ή αμμούχες αργίλους, άμμους, αμμοχάλικα, χαλίκια και κροκάλες. Μέσα στα χονδρόκοκκα υλικά αναπτύσσονται υπόγειοι υδροφορείς με τη μορφή επάλληλων στρωμάτων, οι οποίοι ανάλογα με το είδος της ιζηματογενούς φάσης, αναπτύσσονται παράλληλα προς τις κοίτες των ποταμών Αξιού και Γαλλικού ή παράλληλα προς τις ακτογραμμές του Θερμαϊκού Κόλπου.

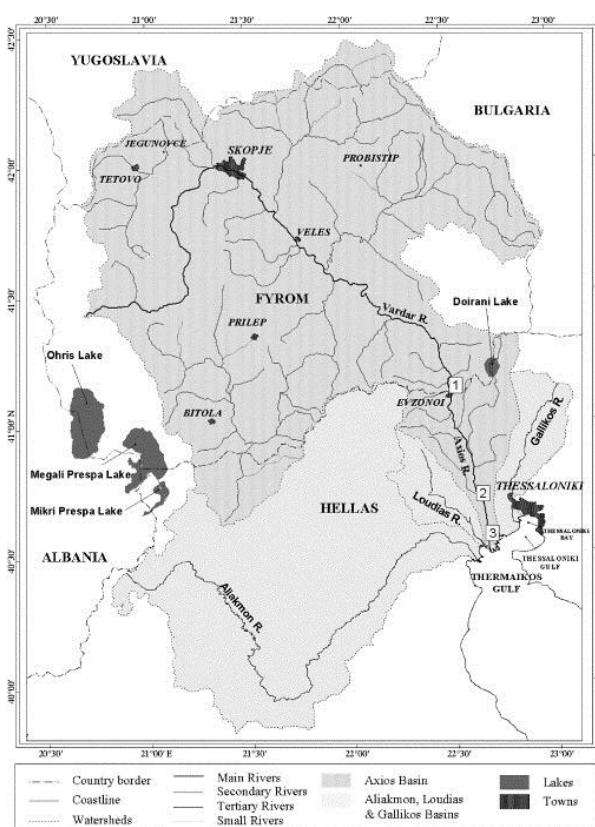
Στο νότιο πεδινό τμήμα της λεκάνης η παρακολούθηση της στάθμης των υδροφορέων, σε μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων, υποδεικνύει το φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα σε χαμηλότερα υψόμετρα από το υψόμετρο της θάλασσας, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε διείσδυση θαλασσινού νερού. Η παρατήρηση αυτή σχετίζεται με την υπεράντληση υπόγειου νερού στην περιοχή.

Στους βαθείς υδροφόρους ορίζοντες, η κατάσταση παρουσιάζεται περισσότερο ανησυχητική, καθώς η στάθμη τους βρίσκεται σε αρνητικά υψόμετρα, έως και 30m κάτω από τη στάθμη της θάλασσας. Στην περιοχή της Γέφυρας, η οποία βρίσκεται πολύ κοντά στην περιοχή όπου πραγματοποιήθηκαν οι ηλεκτρικές τομογραφίες, η στάθμη φτάνει σε ακόμη μεγαλύτερα βάθη, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται φαινόμενα υφαλμύρισης.



Σχήμα 3³. Αξιός ποταμός.

Ο ποταμός Αξιός είναι ο δεύτερος σε μέγεθος ποταμός στη Βαλκανική χερσόνησο μετά τον Έβρο. Είναι διακρατικός ποταμός μεταξύ της Ελλάδας και των Σκοπίων. Πηγάζει από το όρος Σκάρδος των Σκοπίων και εκβάλλει στο Θερμαϊκό κόλπο 20 km Νοτιοδυτικά της Θεσσαλονίκης. Η λεκάνη απορροής του Αξιού είναι 23.747 km², εκ των οποίων τα 1.614km² ανήκουν στην Ελλάδα όπου έχει σχήμα τραπεζοειδές.



Σχήμα 4⁴. Λεκάνη απορροής του ποταμού Αξιού.

³ http://9dimptolemsch.blogspot.gr/2012/03/blog-post_22.html

⁴ Water and sediment quality assessment of the Axios River and its coastal environment (A.P Karageorgisa, N.P Nikolaidisb, , H Karamanosc, , N Skoulikidisa, 2003)

Το συνολικό μήκος του ποταμού είναι 380km εκ των οποίων τα 76km ανήκουν σε ελληνικό έδαφος. Χαρακτηρίζεται από τη μικρή κλίση της κοίτης του, τους μαιανδρισμούς και από τις ποτάμιες αναβαθμίδες που σχηματίζει η πλευρική δράση της κοίτης του.

Ο ποταμός Αξιός έχει αναπτύξει ένα πυκνό αποστραγγιστικό δίκτυο, με συνολικό μήκος περίπου 4900km. Ο ποταμός έχει μέση ετήσια απορροή $157,5\text{m}^3/\text{s}$, και οι μεγαλύτερες απορροές λαμβάνουν χώρα ανάμεσα στο μήνα Δεκέμβριο και τον Ιούνιο. Η μέγιστη μηνιαία απορροή παρατηρείται τον Απρίλιο και εκτιμάται περίπου $279\text{m}^3/\text{s}$. Η στερεοπαροχή του έχει εκτιμηθεί περίπου $390\text{m}^3/\text{km}^2$.

Η παροχή του ποταμού δεν είναι σταθερή κατά τη διάρκεια του έτους γεγονός το οποίο έχει αρνητικά αποτελέσματα στην περιοχή:

- επιδρά αρνητικά στην άρδευση της περιοχής στον υγρότοπο του Δέλτα
- οδηγεί στην είσοδο θαλασσινού νερού και ως εκ τούτου στην υφαλμύριση του βιότοπου του Δέλτα.

1.3.1 Υδρογεωλογία της λεκάνης του Αξιού

Η υδρογεωλογία της περιοχής είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη, λόγω της πολυφασικής ιζηματογένεσης της λεκάνης καθώς και της δημιουργίας αλμυρών θυλάκων ως αποτέλεσμα της διείσδυσης και της απόσυρσης της θάλασσας. Στην λεκάνη δημιουργήθηκαν φακοειδείς εναλλαγές υδροφόρων και αδιαπέρατων στρωμάτων τα οποία οδήγησαν σε ανάπτυξη σύνθετων υπόγειων υδροφοριών. Οι υπόγειοι υδροφορείς τροφοδοτούνται μέσω της κατείσδυσης αλλά και από την πλευρική τροφοδοσία από τους ποταμούς Αξιό, Γαλλικό, Λουδία και Αλιάκμονα. Υπολογίζεται η ετήσια αναπλήρωση του υπόγειου νερού ότι είναι 135hm^3 .

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα κύρια γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του ποταμού Αξιού.

Πίνακας 1⁵. Κύρια γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του ποταμού Αξιού.

ΚΥΡΙΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΞΙΟΥ	
ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ (km ²)	23.747
ΜΕΓΙΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ(m)	2.800
ΒΑΣΙΚΟΣ ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΚΛΑΣΤΙΚΑ/ΜΕΤΑΜΟΡΦΟΜΕΝΑ
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ(mm)	650
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ(°C)	14,5
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΡΡΟΗ(m ³ /s)	157
ΜΕΓΙΣΤΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΑΠΟΡΡΟΗ(m ³ /s)	279
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΑΠΟΡΡΟΗ(m ³ /s)	49
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΠΟΤΑΜΟΥ(km)	4900
ΣΤΕΡΟΠΑΡΟΧΗ (m ³ /km ²)	380

1.3.2 Επιφανειακά ύδατα

Τα επιφανειακά νερά του ποταμού χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για άρδευση και δευτερευόντως για βιομηχανική χρήση.

Μελέτη που πραγματοποιήθηκε για την οικολογική κατάσταση του ποταμού, υπέδειξε ως βασικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα:

- Τις υψηλές τιμές αμμωνιακών
- Τις υψηλές τιμές αγωγιμότητας
- Το pH

Η ρύπανση οφείλεται:

- στα αστικά λύματα από τους οικισμούς, τις βιομηχανικές και τις κτηνοτροφικές μονάδες
- στα λιπάσματα και στα φυτοφάρμακα τα οποία καταλήγουν στον ποταμό μέσω των εκπλύσεων των καλλιεργειών
- στα εκπλύματα των χωματερών

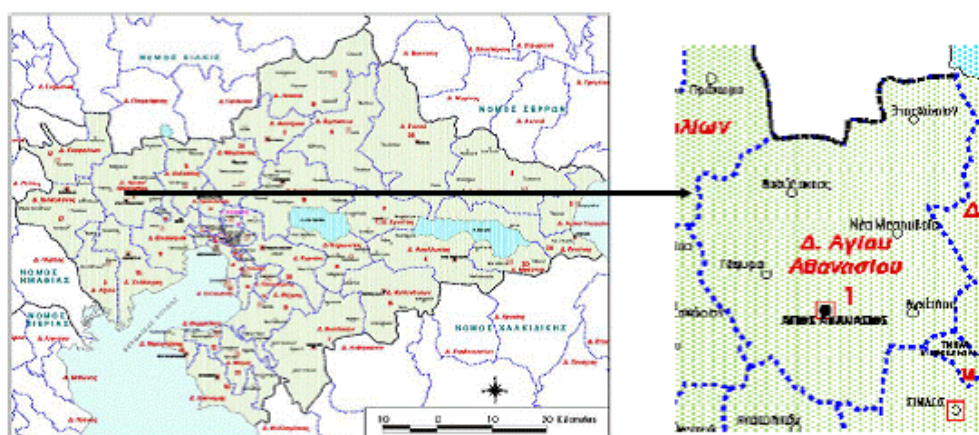
⁵ Deltaic propagation in Thermaikos Bay, Northern Greece and its Socio-Economical Implications. S. Poulos, A. Papadopoulos, M.B. Collins. Department of Oceanography, The University, Southampton. Thessaloniki, 11 august 1993.

1.4 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή του Αγίου Αθανασίου, στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, στο νομό Θεσσαλονίκης, και ανήκει διοικητικά στο δήμο Χαλκηδόνος. Απέχει περίπου 20 χιλιόμετρα από την πόλη της Θεσσαλονίκης. Έχει έκταση 33,861 στρέμματα και σύμφωνα με την απογραφή του 2011 ο πληθυσμός του είναι 4.967 κάτοικοι.

Αποτελεί τμήμα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης Γιαννιτσών, η οποία έχει έκταση 2.264 τ.χλμ. και ορίζεται από τους ορεινούς όγκους των Πιερίων, Βερμίου και Χορτιάτη, ενώ ΝΑ από τις ακτές του Θερμαϊκού κόλπου. Η πεδιάδα σχηματίστηκε την εποχή μεταξύ του Άνω Ολιγόκαινου και του Κάτω Μειοκαίνου. Δημιουργήθηκε κατά το Τεταρτογενές από τις προσχώσεις των ποταμών Αξιού και Γαλλικού μεταξύ των οποίων βρίσκεται. Χαρακτηρίζεται από χαμηλό τοπογραφικό ανάγλυφο. Το μεγαλύτερο υψόμετρο είναι 23m και το μέσο υψόμετρο είναι 4,7m.⁶

Στα όρια του Αγίου Αθανασίου έχουν εντοπιστεί αρχαιολογικοί χώροι οι οποίοι αποκαλύπτουν την ύπαρξη του οικισμού από τα προϊστορικά χρόνια.



Σχήμα 5⁷. Χωροταξική ένταξη του Δήμου Αγίου Αθανασίου στο Νομό Θεσσαλονίκης

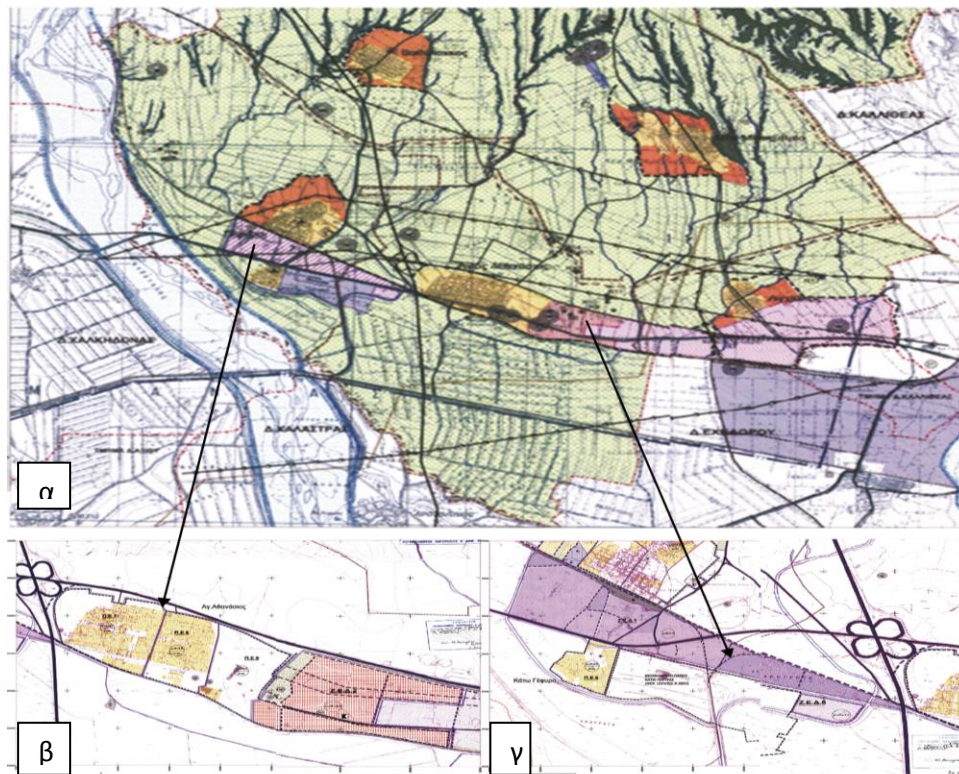
⁶ Μελέτη και χαρακτηρισμός των υπόγειων νερών της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης, Διδακτορική διατριβή Δήμητρας Βουτσά. Θεσσαλονίκη 1993

⁷ http://www.ypes.gr/kapodistrias/images/i_uess.gif

Από φυσικογεωγραφική άποψη η περιοχή στο σύνολο της είναι πεδινή και βρίσκεται ανατολικά του ποταμού Αξιού, ο οποίος διαμορφώνει το τοπίο της ευρύτερης περιοχής και έχει μεγάλη αισθητική και οικολογική αξία. Εντάσσεται στο δυτικό πεδινό υποσύστημα της Κεντρικής Μακεδονίας.

1.5 Χρήσεις γης

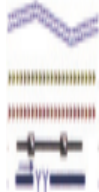
Στους παρακάτω χάρτες απεικονίζονται οι χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 6⁸. Χάρτες χρήσεων γης. Ο (α) χάρτης παρουσιάζει τις χρήσεις γης στην ευρύτερη περιοχή, ο (β) χάρτης τις χρήσεις γης στην περιοχή της Κάτω Γέφυρας και ο (γ) χάρτης τις χρήσεις γης στην περιοχή του Αγ. Αθανασίου.

⁸ ΓΕΝΙΚΟ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΗΜΟΥ ΑΓΙΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ. ΦΕΚ: ΤΕΥΧΟΣ ΑΝΑΓΚΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΑΛΛΟΤΡΙΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΩΝ ΘΕΜΑΤΩΝ Αρ. Φύλλου 31, 28 Ιανουαρίου 2009

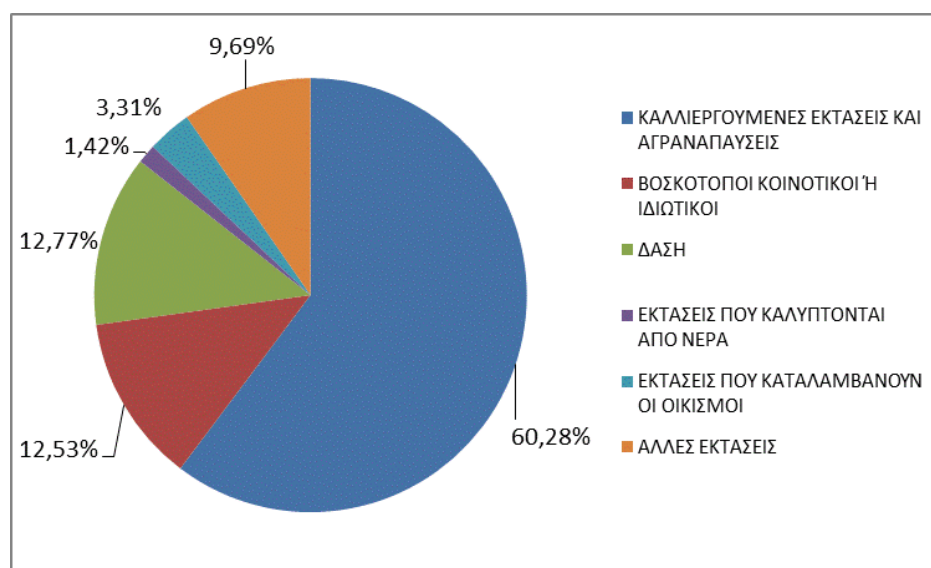
Πίνακας 2. Υπόμνημα του χάρτη χρήσεων γης.

	Οικισμοί		Στρατιωτικές Εγκαταστάσεις		ΒΙΠΑ Κάτω Γέφυρας		Νεκροταφεία Εγκαταστάσεις ΔΕΠΑ
	Περιοχές Οικιστικής Ανάπτυξης Επεκτάσεις Α Κατοικίας		Περιοχές Ειδικής Προστασίας Αρχαιολογικών Χώρων		Χώρος Αθλητικών Εγκαταστάσεων		Αντλιοστάσιο Νερού Διυλιστήριο Νερού Περιοχές Περιβαλλοντικής Αποκατάστασης
	Κεντρικές Λειτουργίες Πόλης		Περιοχές Ειδικής Προστασίας Οικοσυστημάτων (Αξίος –Γαλλικός		Όρια Δήμου Αγ. Αθανασίου Όρια Δημοτικών Διαμερισμάτων Όρια ΖΟΕ Όριο Ζώνης Ειδικής Μελέτης		Ιστορικοί Τόποι και Μνημεία Βυζαντινά Μνημεία
	Περιοχές Μη Όχλουσας Βιομη- χανίας και Βιοτεχνίας		Περιοχές Δραστηριοτήτων Πρω- τογενούς Τομέα		Ρέμα –Κανάλι Αγωγός Πετρελαίου Αγωγός Φυσικού Αερίου Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας Κεντρικός Αγωγός Μεταφοράς Νερού		
	Περιοχές Ανάπτυξης Χονδρε- μπορίου		Περιοχές Προστασίας Δασών, Δασικών Εκτάσεων και Ρεμάτων		Αυτοκινητόδρομος Αρτηρία Προτεινόμενο Οδικό Δίκτυο Σιδηροδρομικό Δίκτυο		

Κύρια δραστηριότητα που επικρατεί είναι η γεωργική. Επίσης στην περιοχή βρίσκονται εγκατεστημένες βιομηχανικές μονάδες.

Πίνακας 3⁹. Κατανομή της έκτασης της περιοχής μελέτης στις βασικές κατηγορίες χρήσεων γης.

ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ					
ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΕΙΣ	ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ ΚΟΙΝΟΤΙΚΟΙ Ή ΙΔΙΩΤΙΚΟΙ	ΔΑΣΗ	ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΚΑΛΥΠΤΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΝΕΡΑ	ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΚΑΤΑΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΟΙ ΟΙΚΙΣΜΟΙ	ΑΛΛΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ
25,5	5,3	5,4	0,6	1,4	4,1



Σχήμα 7. Κατανομή χρήσεων γης στη περιοχή έρευνας

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι καλλιέργειες στην περιοχή μελέτης σε σχέση με την έκταση που καταλαμβάνουν.

⁹ Χωροταξική προσέγγιση και διαχείριση- προστασία του Δέλτα Αξιού- Λουδία- Αλιάκμονα και της Αλυκής Κίτρου. Διπλωματική εργασία. Ναρασάνη Ειρήνη. Βέροια, Ιούνιος 2009.

Πίνακας 4¹⁰. Καταγραφή καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης σύμφωνα με την έκταση που καταλαμβάνουν

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	ΕΚΤΑΣΗ (ha)	ΑΡΔΕΥΟ ΜΕΝΕΣ	ΞΗΡΙΚΕΣ
ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ-ΑΝΑΔΙΑΡΘΡΩΣΗ	6,25		+
ΑΝΘΟΚΟΜΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	0,8	+	
ΑΠΟΞΗΡΑΜΕΝΕΣ ΧΟΡΤΟΝΟΜΕΣ	13,96		+
ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ ΠΟΤΙΣΤΙΚΟΣ	606,2	+	
ΑΡΩΜΑΤΙΚΑ ΦΥΤΑ	1,48	+	
ΒΑΜΒΑΚΙ	583,91	+	
ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ	647		+
ΓΗ ΠΟΥ ΔΕΝ ΕΝΤΑΣΣΕΤΑΙ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	2,68		+
ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗΣ	1,49		+
ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΚΑΛΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΠΡΟΣΜΕΤΡΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΕΚΤΑΤΙΚΑ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΑ	54,06		+
ΕΛΑΙΟΥΧΟΙ ΣΠΟΡΟΙ	11,54		+
ΕΛΑΙΩΝΕΣ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΕΛΑΙΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	72,7		+
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	56,59		+
ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	71,41	+	
ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ	498,47		+
ΚΑΡΠΟΙ ΜΕ ΚΕΛΥΦΟΣ	30,16	+	
ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ ΜΑΚΡΑΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ	161,86	+	
ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ	0	+	
ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ ΥΠΟ ΚΑΛΥΨΗ	0,3	+	
ΚΥΡΙΑ ΨΥΧΑΝΘΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ ΕΚΤΟΣ ΟΣΠΡΙΟΕΙΔΩΝ	1,83	+	
ΛΟΙΠΑ ΕΣΠΕΡΙΔΟΕΙΔΗ	0,1	+	
ΛΟΙΠΑ ΣΙΤΗΡΑ	1003,83		+
ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	0,03	+	
ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ - ΔΕΝΔΡΩΔΕΙΣ	3,8	+	
ΛΟΙΠΟΙ ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ ΓΙΑ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΑ ΧΡΗΣΗ	12,12		+
ΛΟΙΠΟΙ ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΙΝΟΥ	473,39		+
ΜΕΛΙ-ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΜΕΛΙΣΣΙΑ	0,5		+
ΝΤΟΜΑΤΕΣ ΠΡΟΣ ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗ	9,25	+	
ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΛΕΙΨΗ ΟΙΝΟΠΟΙΗΣΙΜΩΝ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ-ΕΚΡΙΣΩΣΗ	31,08		+
ΟΣΠΡΙΟΕΙΔΗ	14,16	+	
ΠΡΩΤΕΙΝΟΥΧΟΙ ΣΠΟΡΟΙ	10,35	+	
ΡΟΔΑΚΙΝΑ ΚΑΙ ΑΧΛΑΔΙΑ ΠΡΟΣ ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗ	0,5	+	
ΡΥΖΙ ΓΙΑ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ - ΟΧΙ ΓΙΑ ΕΙΔΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ	1001,32	+	
ΣΙΤΑΡΙ ΣΚΛΗΡΟ	47,59		+
ΣΙΤΑΡΙ ΣΚΛΗΡΟ ΠΟΙΟΤΙΚΟ	6443,07		+
ΣΠΟΡΟΙ ΣΠΟΡΑΣ (ΔΗΜΗΤΡΙΑΚΑ-ΕΛΑΙΟΥΧΟΙ)	6,71		+
ΣΠΟΡΟΙ ΣΠΟΡΑΣ (ΛΟΙΠΟΙ ΠΟΥ ΔΕΝ ΠΡΟΣΜΕΤΡΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΕΚΤΑΤΙΚΑ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΑ)	36,49		+
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ	11916,98	2497,46	9419,52

¹⁰ https://it.opekepe.gr/aggregate/aggregate/index?Livestock_sort=kap_region_cd&Cultivation_page=2&Livestock_page=8&Cultivation_sort=eligible_area

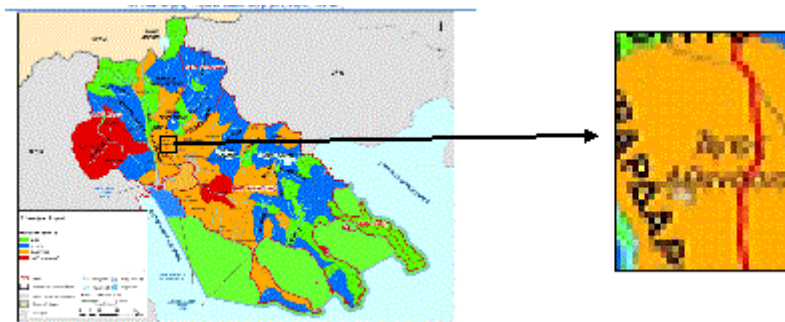


Σχήμα 8. Κατανομή ξερικών και αρδευόμενων εκτάσεων στη περιοχή.

Πιέσεις στην περιοχή μελέτης

Στο ΦΕΚ 6 Φεβρουαρίου 2004, παρουσιάζονται ανησυχίες ποιοτικής υποβάθμισης που σχετίζεται με τα αρδευτικά έργα σε συνδυασμό με το προβληματικό υδρολογικό ισοζύγιο της περιοχής, λόγω μείωσης των βροχοπτώσεων κατά την περίοδο της τελευταίας 20ετίας. Επίσης επισημάνθηκαν οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα έργα στην περιοχή μελέτης.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η εκτίμηση της έντασης της πίεσης ρύπανσης στο νομό Θεσσαλονίκης. Η περιοχή μελέτης σύμφωνα με την εκτίμηση κατατάσσεται στην κατηγορία σημαντικής έντασης πιέσεων, σύμφωνα με την κατάταξη στο Διαχειριστικό Σχέδιο των λεκανών απορροής, που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο εναρμόνισης με την Οδηγία 2000/60.

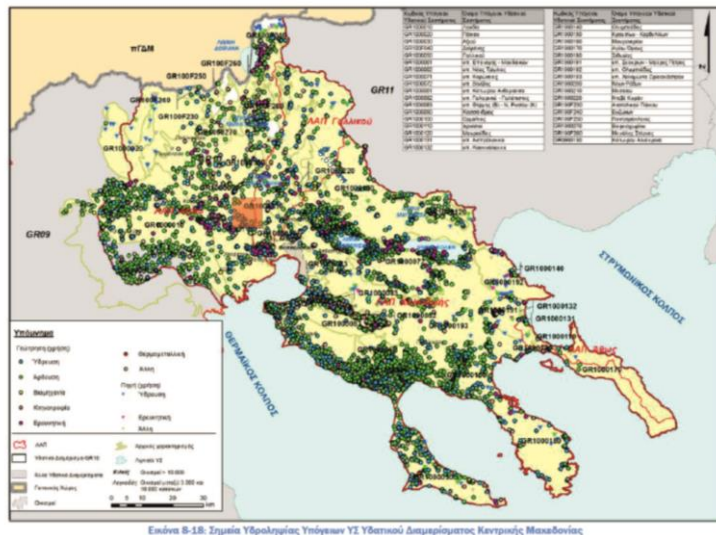


Σχήμα 9¹¹. Εκτίμηση της έντασης της πίεσης ρύπανσης. Με πορτοκαλί χρώμα απεικονίζεται η σημαντική ένταση πίεσης της ρύπανσης.

¹¹ ΠΗΓΗ: Σχέδιο διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών του υδατικού διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας

Η περιοχή βρίσκεται σε παραγωγικά εδάφη τα οποία εμφανίζουν σημαντική παθογένεια λόγω της παρουσίας αλατούχων και αλκαλιωμένων εκτάσεων, που οφείλονται στην μικρή απόσταση από τη θάλασσα, το χαμηλό υψόμετρο, την εντατική άρδευση και στην παρουσία γεωλογικών σχηματισμών που επιδρούν στην αλατότητα των υδάτων.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα σημεία υδροληψίας.



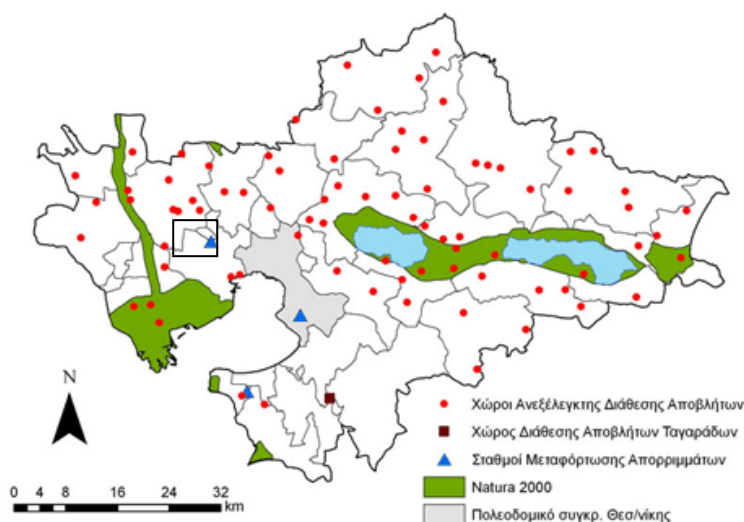
Σχήμα 10¹². Χάρτης στον οποίο απεικονίζονται τα σημεία υδροληψίας.

Τα επιφανειακά ύδατα αποτελούν τη βασική πηγή υδροληψίας για άρδευση, ενώ οι υπόγειοι υδροφορείς για ύδρευση. Οι ετήσιες απολήψεις νερού αναπληρώνονται από την τροφοδοσία από τους υπόγειους υδροφορείς μέσω της κατείσδυσης από τις βροχοπτώσεις και από τον Αζιό. Οι υπόγειοι υδροφορείς χαρακτηρίζονται από πολύπλοκη δομή, λόγω τις πολυσύνθετης στρωματογραφικής εξέλιξης της λεκάνης.

- Πρόβλημα για το περιβάλλον του οικισμού αποτελεί:
 - η διάθεση υγρών και στερεών αποβλήτων των παραγωγικών μονάδων του δευτερογενή τομέα και των κτηνοτροφικών μονάδων.
 - Τα βιομηχανικά απόβλητα που έχουν αποθεθεί.
 - Η ύπαρξη ανεξέλεγκτων χώρων διάθεσης απορριμμάτων (ΧΑΔΑ).

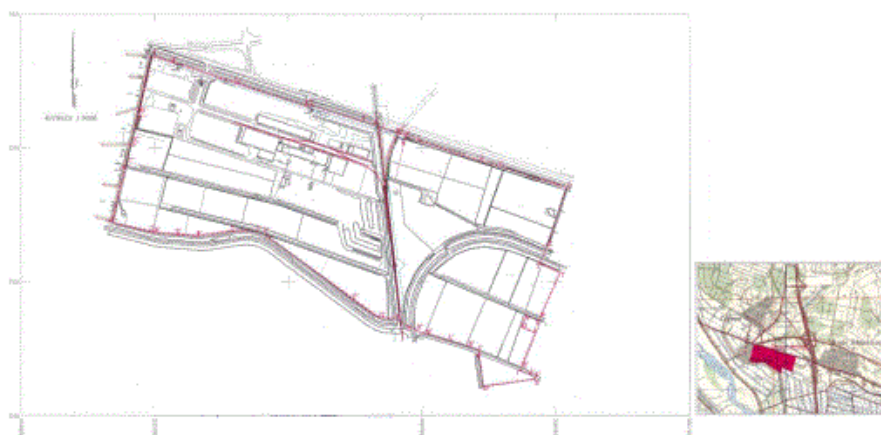
Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι ΧΑΔΑ στο νομό Θεσσαλονίκης.

¹² ΠΗΓΗ: Σχέδιο διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών του υδατικού διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας



Σχήμα 11¹³. Χάρτης στον οποίο απεικονίζονται οι χώροι ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων.

- επίσης, υπάρχει η εγκατάσταση του Βιομηχανικού Πάρκου της Θεσσαλονίκης η οποία καταλαμβάνει έκταση περίπου 1000 στρέμματα, από τα οποία τα 218 αντιστοιχούν στις εγκαταστάσεις της χαρτοβιομηχανίας ΜΕΛ Α.Ε, τα 308 αντιστοιχούν σε κοινόχρηστες εξυπηρετήσεις και 407 στρέμματα είναι οικόπεδα προς διάθεση.



Σχήμα 12¹⁴. Κάτοψη του Βιομηχανικού Πάρκου Θεσσαλονίκης.

Τα υδραυλικά έργα που υπάρχουν στο βιομηχανικό πάρκο είναι τα ακόλουθα:

- Δίκτυα ομβρίων, ακάθαρτων, ύδρευσης, άρδευσης, γεωτρήσεων, δεξαμενών

¹³ ΠΗΓΗ: Σχέδιο διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών του υδατικού διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας

¹⁴ ΦΕΚ, 1 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 2003, ΑΡ. ΦΥΛΛΟΥ 1234

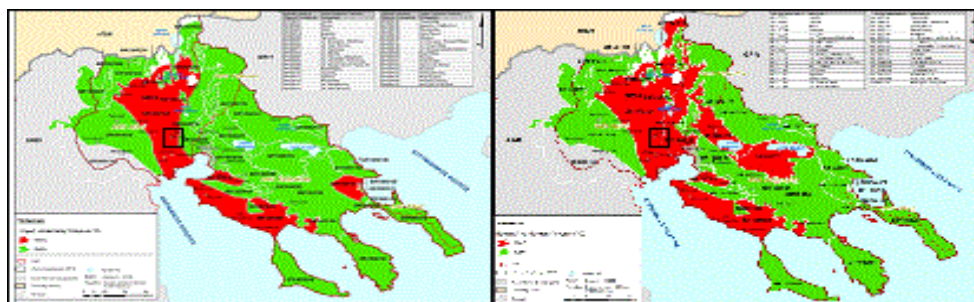
- Δυο μεγάλα αντλιοστάσια ύδρευσης – άρδευσης
- Εννέα αντλιοστάσια ακάθαρτων
- Κεντρική μονάδα μηχανικής, χημικής και βιολογικής επεξεργασίας, ΚΜΕΔΑ, στην οποία οδηγούνται τα απόβλητα και βρίσκεται στην άκρη του πάρκου.

Οι χαρτοβιομηχανίες θεωρούνται από τις πιο ρυπογόνες βιομηχανίες παγκοσμίως, λόγω των δραστικών χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται στα διάφορα στάδια της παραγωγής. Η παραγωγική διαδικασία του χαρτιού απαιτεί μεγάλες ποσότητες καθαρού νερού και παράγει τεράστιες ποσότητες υγρών αποβλήτων. Τα υγρά απόβλητα είναι ρυπασμένα με ένα πλήθος οργανικών και ανόργανων χημικών, συμπεριλαμβανομένης της λιγνίνης, κυτταρινικές ενώσεις, φαινόλες, μερκαπτάνες, σουλφίδια και χλωριωμένες ενώσεις. Η ποσότητα και τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων εξαρτάται από τα υλικά και από τη διαδικασία που εφαρμόζεται.

Τα απόβλητα περιέχουν υπολείμματα από την κατεργασία του ξύλου και χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται για την κατεργασία της πρώτης ύλης. Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως ανόργανα θειικά άλατα ή ενώσεις του νατρίου.

Οι χαρτοβιομηχανίες προκαλούν αέρια ρύπανση, ρύπανση υδάτων και στερεά απόβλητα. Από τα στερεά απόβλητα προκαλείται ρύπανση του εδάφους και των υπόγειων υδροφορέων.

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η χημική κατάσταση και η ποσοτική κατάσταση των υπόγειων υδατικών συστημάτων.



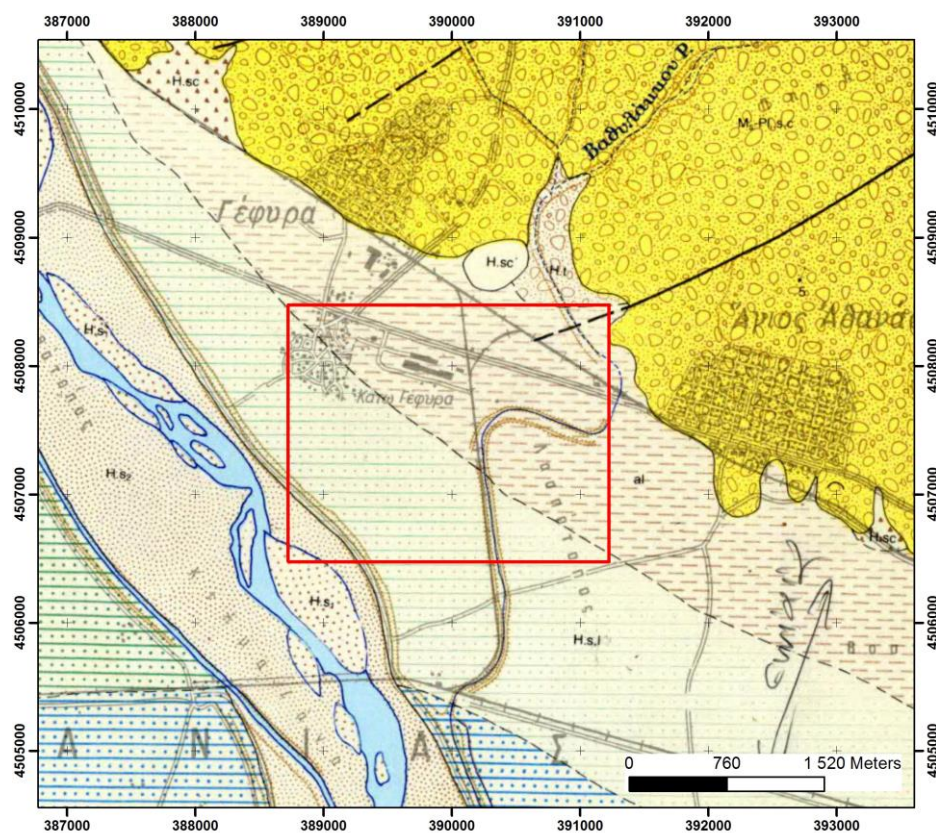
Σχήμα 13¹⁵. Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η χημική κατάσταση των υπόγειων υδατικών συστημάτων και στη δεξιά η ποσοτική κατάσταση

¹⁵ ΠΗΓΗ: Σχέδιο διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών του υδατικού διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας

Παρατηρούμε ότι τόσο η χημική όσο και η ποσοτική κατάσταση των υπόγειων υδάτων βρίσκεται σε κακή κατάσταση (κόκκινο χρώμα).

1.6 Γεωλογία της περιοχής μελέτης

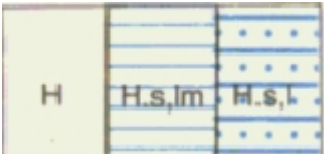
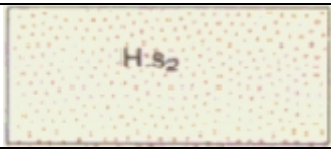
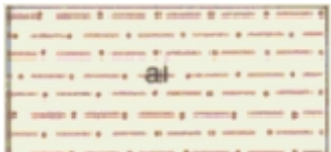
Η γεωλογία της περιοχής μελέτης φαίνεται στον παρακάτω γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Σχήμα 14)



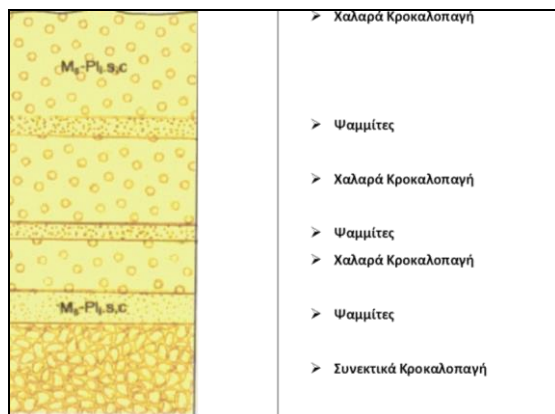
Σχήμα 14. Γεωλογικός χάρτης. (ΙΓΜΕ, Φύλλο Πλατύ)

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. Υπόμνημα

Συσσωρεύσεις άμμων: κατά μήκος της κοίτης των ποταμών Αλιάμονα και Αξιού		Νεώτερες αποθέσεις που προέρχονται από τις πλημμύρες των ποταμών Αξιού και Αλιάκμονα: Λεπτόκοκκοι άμμοι, πηλοί, αμμούχοι πηλοί, αμμούχοι-αργιλούχοι άμμοι, ιζήματα από μικρά και εφήμερα έλη. Κάτω από τις παραπάνω αποθέσεις και μέχρι βάθος 100m έχουμε: A) θαλάσσιες αποθέσεις (H.s,lm): εναλλαγές λεπτόκοκκων, αργιλούχων πηλών, πηλούχων αργίλων και ενστρώσεις αδρομερών υλικών. Μέσα στα ιζήματα αυτά απαντούν αρτίγωνα θαλάσσια κελύφη. Τα αδρομερή υλικά προέρχονται από την προοδευτικά προέκταση της ακτής και των δέλτα των ποταμών Αξιού και Αλιάκμονα.	
Λεπτόκοκκοι άμμοι, πηλοί και πηλούχοι άμμοι: εκατέρωθεν της κοίτης των ποταμών, μεταξύ των προστατευτικών αναχωμάτων		B) εναλλαγές θαλάσσιων, ποτάμιων και υφάλμυρων αποθέσεων (H.s,l): άργιλοι, λεπτόκοκκοι άμμοι, αμμούχοι πηλοί, αμμούχοι άργιλοι. Το χρώμα των αποθέσεων αυτών ποικίλει ανάλογα με το είδος και τη στρωματογραφική θέση του.	
Αδρομερή υλικά από κροκαλολάτυπες και άμμους στις κοίτες των χειμάρρων και υλικά χειμαρρωδών αναβαθμίδων με μικρό πάχος			
Προσχωματικά υλικά χειμάρρων: ασύνδετα υλικά από άμμους, κροκάλες, λεπτομερή αργιλοαμμώδη και πηλοαμμώδη υλικά. Το πάχος των αποθέσεων αυτών φθάνει τα 15-20μ.		Άμμοι και χαλαρά κροκαλοπαγή: μεγάλου πάχους σε εναλλαγές με συνεκτικά κροκαλοπαγή και ψαμμίτες υπό μορφή πάγκων, το πάχος τους κυμαίνεται από 0,1-1,5 μ και διαστρώσεις ασβεστιτικών ψαμμιτών και άμμων. Τα ανώτερα μέλη των σχηματισμών αυτών αποτελούνται από χαλαρά κροκαλοπαγή και άμμους, που έχουν χρώμα καστανό εξαιτίας των αλουβιακών υλικών που καλύπτουν την περιοχή.	

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η στρωματογραφική στήλη του Αγίου Αθανασίου, από το φύλλο του ΙΓΜΕ (Σχήμα 15).



Σχήμα 15. Στρωματογραφική στήλη.

1.7 Κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης

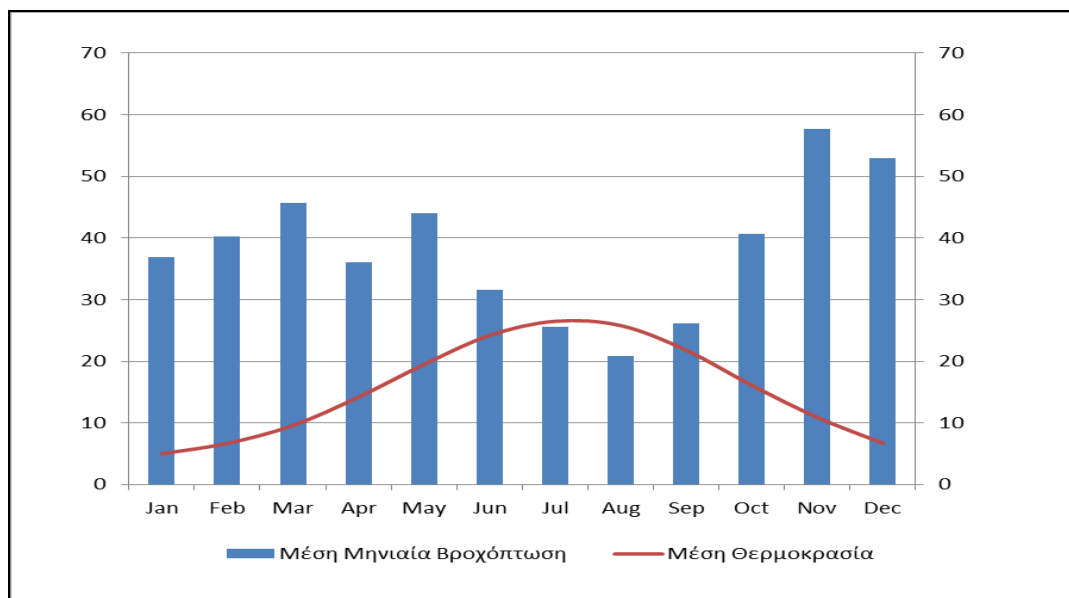
Το κλίμα της περιοχής είναι μεσογειακό με επίδραση ηπειρωτική κατά τις διάφορες εποχές:

- η θερμοκρασία παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές της τον Ιούλιο και τις χαμηλότερες τον μήνα Ιανουάριο. Το ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος είναι περισσότερο από 20° C. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι περίπου 16° C, η χαμηλότερη μέση θερμοκρασία είναι περίπου 5,5° C και η υψηλότερη μέση θερμοκρασία είναι 26,5° C. Η απόλυτα μέγιστη θερμοκρασία που έχει καταγραφεί είναι στις 25/7/2007, 44° C και η χαμηλότερη -14° C 26/1/ 1963.
- Οι άνεμοι είναι διάφοροι κατά εποχές:
 - το χειμώνα επικρατούν οι βόρειοι από την κοιλάδα του Αξιού και λιγότερο οι δυτικοί,
 - την άνοιξη είναι συχνότεροι οι νοτιοδυτικοί
 - το καλοκαίρι οι βόρειοι και οι νοτιοδυτικοί
 - το Σεπτέμβριο ελαττώνονται οι νοτιοδυτικοί και από το Νοέμβριο κυριαρχούν οι βόρειοι και οι δυτικοί.
- Όσον αφορά στις βροχοπτώσεις, αυτές παρουσιάζουν δυο μέγιστα: το πρώτο κατά την περίοδο Οκτωβρίου - Δεκεμβρίου και το δεύτερο την εαρινή περίοδο, το Μάρτιο. Το ελάχιστο ύψος κατακρημνισμάτων σημειώνεται τον Σεπτέμβριο. Το ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται περίπου 400-500 χιλιοστά.

Στο γράφημα που ακολουθεί παρουσιάζονται η χρονοσειρά της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης για τα έτη 1961-1990.

Πίνακας 6¹⁶. Τιμές θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης.

ΜΗΝΑΣ	Μέση Θερμοκρασία (°C)	Ελάχιστη Θερμοκρασία (°C)	Μέγιστη Θερμοκρασία (°C)	Μέση Σχετική Υγρασία (%)	Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση (mm)	Ελάχιστη Μηνιαία Βροχόπτωσ η (mm)	Μέγιστη Μηνιαία Βροχόπτωση (mm)
Jan	5	-14	20,8	76,3	36,9	0	99,6
Feb	6,7	-12,8	22	73,6	40,3	0,3	167,2
Mar	9,6	-7,2	25,8	73	45,7	4,7	95,1
Apr	14,2	-1,2	31,2	68,5	36,1	3,4	108
May	19,5	3	36	64,1	44	0.1	97,7
Jun	24,2	6,8	39,8	56,1	31,6	1	85,6
Jul	26,5	9,6	42	53,4	25,6	0	78,5
Aug	25,8	8,2	38,2	55,7	20,8	0	97,5
Sep	21,8	2,6	36,2	62,2	26,2	0	135
Oct	16,1	-1,4	30	70,1	40,6	0	150,5
Nov	10,9	-6,2	26,6	77,3	57,7	6,4	179,1
Dec	6,7	-9,2	20,6	78	52,9	0,2	153,9

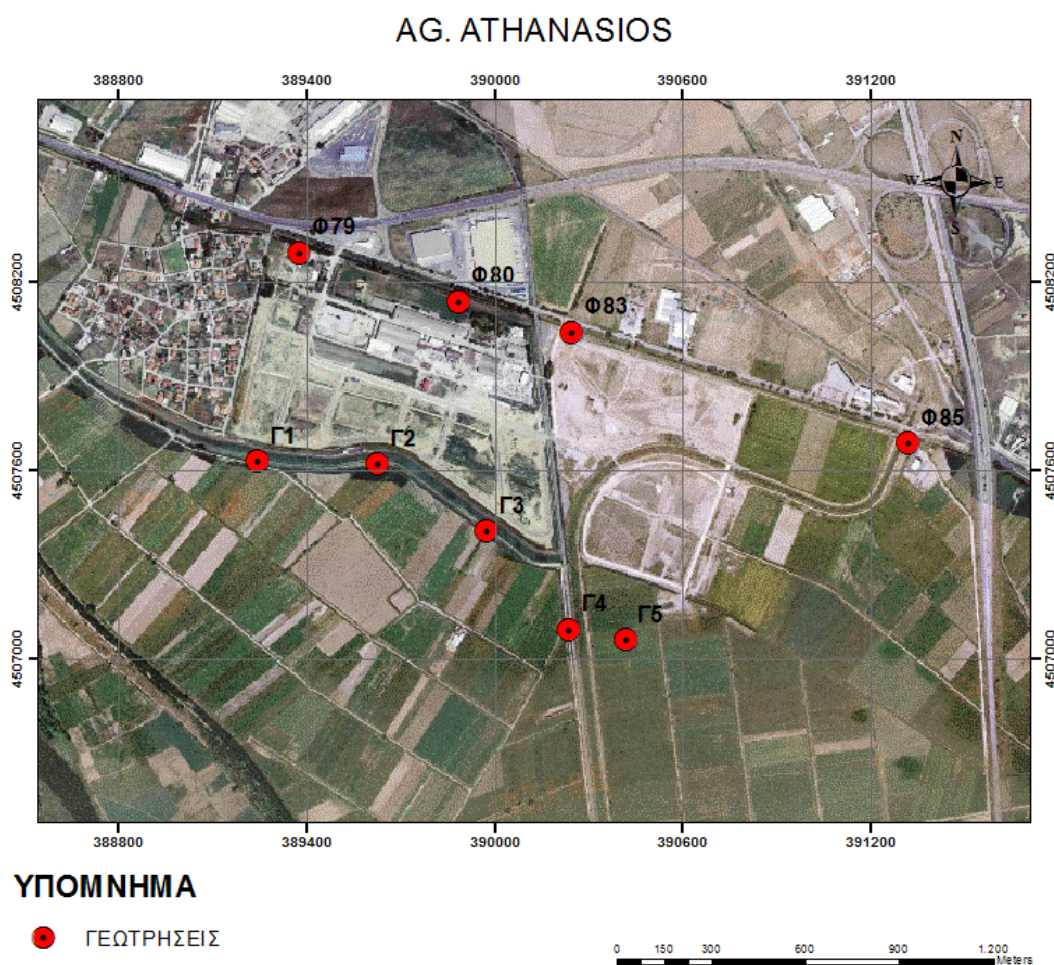


Σχήμα 16. Ομβροθερμικό διάγραμμα.

¹⁶ Πηγή: <http://en.climate-data.org/location/735848/>

1.8 Υδρογεωλογία της περιοχής μελέτης

Η περιγραφή των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής μελέτης στηρίχθηκε στην ερμηνεία των δεδομένων από τις γεωτρήσεις που υπάρχουν στην περιοχή, στα σημεία που απεικονίζονται στον παρακάτω χάρτη (Σχήμα 17).



Σχήμα 17. Χάρτης όπου απεικονίζονται τα σημεία υδρογεωτρήσεων, ARCMAP

Τα κλασικά υλικά στις λεκάνες απορροής των δυο ποταμών αποτελούνται από εναλλασσόμενα στρώματα αργίλων, ιλύων, άμμων, χαλίκων και κροκάλων. Παρουσιάζουν διαφορετικές κοκκομετρικές παραμέτρους λόγω του διαφορετικού σταδίου εξέλιξης των λεκανών απορροής των ποταμών και του διαφορετικού είδους ροής.

Υδροφορίες αναμένονται κυρίως σε στρώσεις σχηματισμών με σημαντικό πρωτογενές πορώδες, όπως τα στρώματα των χαλαρών κροκαλών, καθώς επίσης και σε σχηματισμούς

όπου συναντάται δευτερογενές πορώδες, όπως οι ψαμμίτες οι οποίοι έχουν υποστεί διαδικασίες αποσάθρωσης και κατακερματισμού.

Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 18, Σχήμα 19) απεικονίζονται οι λιθολογικές στήλες των γεωτρήσεων και η περιγραφή των σχηματισμών που διατρήθηκαν.

HOLE ID: G1

Easting:389247.306

Northing:4507630.868

DEPTH	LITHOLOGY	LITHOLOGY DESCRIPTION
0		άμμος λεπτόκοκκη-μεσόκοκκη
10		άμμος χονδρόκοκκη
20		αργιλοίλος σκτεινότεφρη
30		άμμος χονδρόκοκκη
40		ίλος σκτεινότεφρη
50		άμμος ιλιωαργιλωδής
60		άμμος ψηφίδες, χαλίκες
70		άργιλος πλαστική υποκάστανη
80		άμμος χαλίκια
90		αμμοαργίλος
100		άμμος μεσόκοκκη
110		χαλίκια
120		άμμος χονδρόκοκκη
130		άργιλος
140		άμμος χονδρόκοκκη
150		χαλίκια
160		άμμος χονδρόκοκκη
170		άργιλος
180		άργιλος
190		άμμος, χαλίκια
200		μάργα
210		άμμος, χαλίκια
220		μάργα με λεπτές ενστρώσεις ψηφιδών
230		μάργα
240		

HOLE ID: G2

Easting:389627.91

Northing:4507621.873

DEPTH	LITHOLOGY	LITHOLOGY DESCRIPTION
0		άργιλος πλαστική υποκάστανη
10		
20		αργιλοάμμος
30		
40		άργιλος πλαστική υποκάστανη
50		
60		άμμος χονδρόκοκκη, ψηφίδες
70		άργιλος ανοικτόκαστανη με χονδρόκοκκους άμμους και ψηφίδες
80		αμμοαργίλος
90		άμμος λεπτόκοκκη-μεσόκοκκη
100		άργιλος μαργαίτη
110		άμμος χονδρόκοκκη, ψηφίδες, χαλίκες
120		χαλίκια
130		άμμος χονδρόκοκκη
140		ψηφίδες, χαλίκια
150		άργιλος
160		αμμοαργίλος
170		αμμοαργίλος
180		άμμος χονδρόκοκκη, ψηφίδες
190		αμμοαργίλος
200		άργιλος
210		χαλίκια, κροκάλες
220		αργιλοάμμος
230		άμμος λεπτόκοκκη-μεσόκοκκη
240		αμμοαργίλος με ψηφίδες

HOLE ID: G3

Easting:389975.441

Northing:4507408.089

DEPTH	LITHOLOGY	LITHOLOGY DESCRIPTION
0		αργιλοίλος φαειπράσινη
10		άμμος μαύρη με θραύσματα απολιθωμάτων
20		άμμος μεσόκοκκη
30		ψηφίδες
40		χαλίκια
50		άργιλος
60		ψηφίδες, χαλίκια, κροκάλες
70		άμμος χονδρόκοκκη
80		άμμος λεπτόκοκκη-μεσόκοκκη
90		ψηφίδες, χαλίκια
100		κροκάλες με άργιλο
110		άμμος χονδρόκοκκη
120		ψηφίδες, χαλίκια
130		χαλίκια, κροκάλες
140		άργιλος μαργαίτη
150		άμμος, ψηφίδες με απολιθώματα
160		ψηφίδες, χαλίκια
170		χαλίκια
180		άργιλος μαργαίτη
190		ψαμμίτης μαργαϊκός
200		ψηφίδες, χαλίκια
210		άργιλος μαργαίτη
220		χαλικοπαγές αριλομαργαϊκό
230		άργιλος μαργαίτη
240		χαλικοπαγές αριλομαργαϊκό

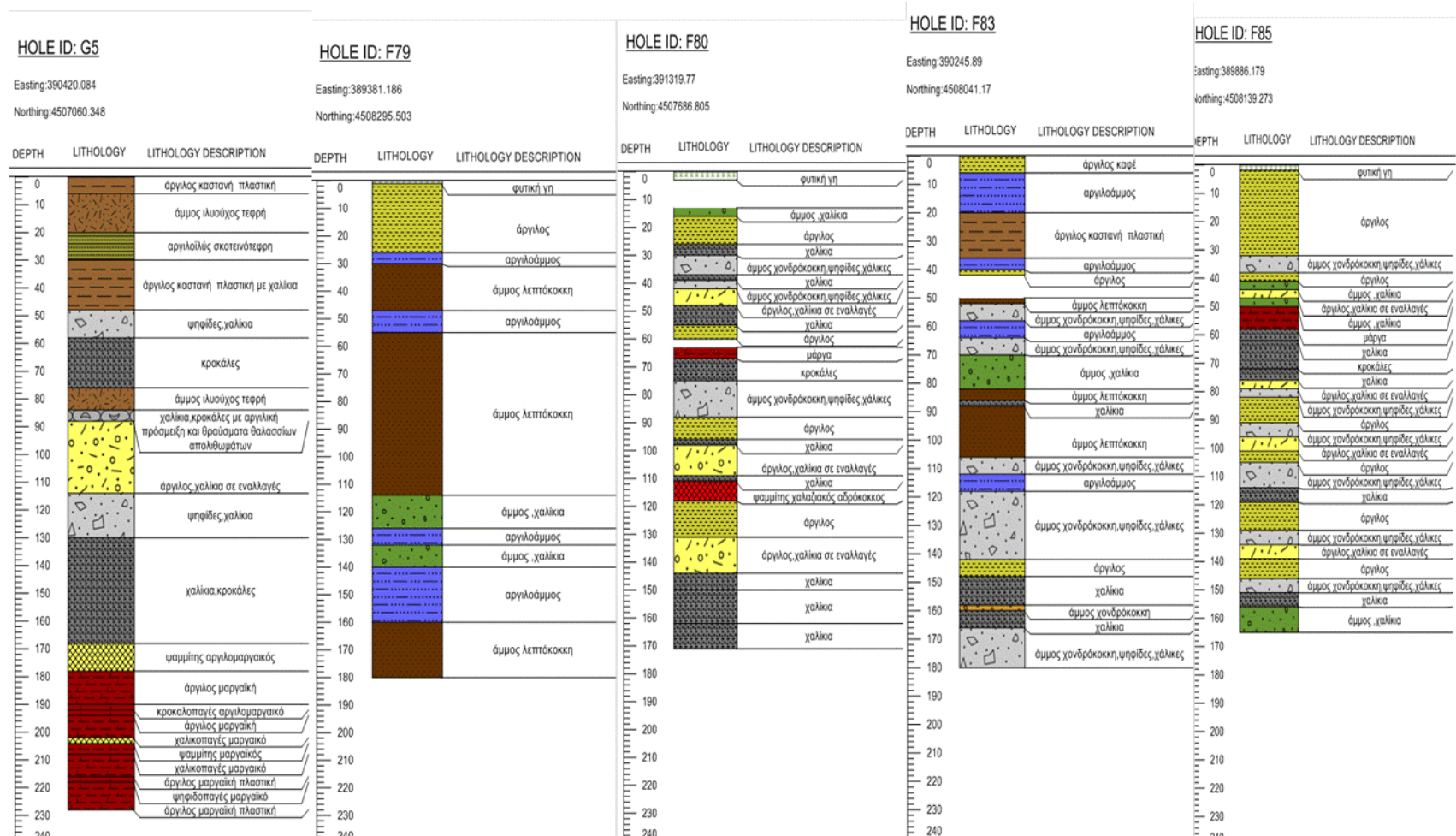
HOLE ID: G4

Easting:390238.702

Northing:4507092.969

DEPTH	LITHOLOGY	LITHOLOGY DESCRIPTION
0		αμμούχος αργιλοίλος, τεφρού χρώματος
10		
20		άμμος λεπτόκοκκη-μεσόκοκκη απολιθωματοφόρος
30		άμμος χονδρόκοκκη, ψηφίδες
40		αμμοαργίλος καστανόχρως απολιθωματοφόρος
50		αργιλοάμμος με μεσόκοκκους άμμους
60		ψηφίδες, χαλίκια
70		αργιλοάμμος υποκάστανη
80		ψηφίδες, χαλίκια
90		αμμοαργίλος
100		άμμος χονδρόκοκκη, ψηφίδες, χαλίκες
110		αμμοαργίλος υποκάστανη
120		άμμος χονδρόκοκκη, ψηφίδες, χαλίκες
130		άργιλος καστανή πλαστική
140		ψηφίδες
150		άργιλος καστανή πλαστική
160		άμμος χονδρόκοκκη, ψηφίδες
170		αργιλοάμμος
180		άμμος μεσόκοκκη
190		άμμος χονδρόκοκκη
200		άργιλος μαργαίτη
210		αμμοαργίλος
220		άργιλος καστανή πλαστική
230		ψηφίδες, χαλίκια
240		άργιλος μαργαίτη

Σχήμα 18. Λιθολογικές στήλες των γεωτρήσεων Γ1, Γ2, Γ3, Γ4 και περιγραφή των σχηματισμών. (Strater)



Σχήμα 19. Λιθολογικές στήλες των γεωτρήσεων Γ5, Φ79, Φ80, Φ83, Φ85 και περιγραφή των σχηματισμών. (Strater)

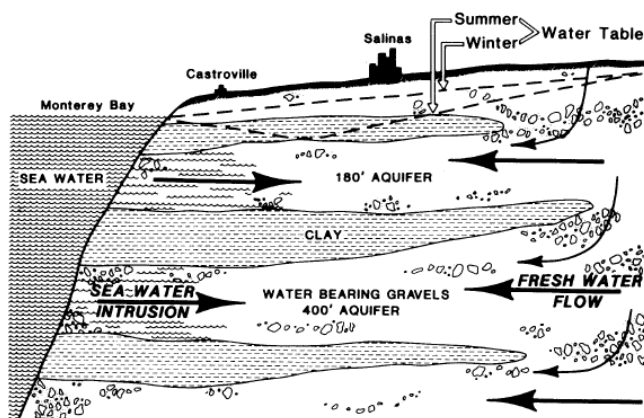
Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι στην περιοχή υπάρχει ανομοιογένεια με πολλές εναλλαγές τόσο σε αλληλουχία στρωμάτων όσο και σε πλευρικές μεταβολές. Στα μεγαλύτερα βάθη συναντώνται αποθέσεις του Νεογενούς ενώ σε μικρότερα βάθη εμφανίζονται νεότερες αποθέσεις (Τεταρτογενές). Ως επί το πλείστο, υπάρχουν αργιλικοί αδιαπέρατοι σχηματισμοί και χαλαροί περατοί, σχηματισμοί, αμμώδεις και χαλικώδεις, στους οποίους υπάρχει δυνατότητα ανάπτυξης υπόγειας υδροφορίας.

Όσον αφορά στις γεωτρήσεις Γ1, Γ2, Γ3, Γ4 και Γ5 (Σχήμα 17. Χάρτης όπου απεικονίζονται τα σημεία υδρογεωτρήσεων, ARCMAP:

- Στη γεώτρηση Γ1 τοποθετήθηκαν φίλτρα από τα 67 m βάθους. Η αγωγιμότητα που μετρήθηκε ήταν πολύ υψηλή, 1350μS/cm.
- Στη γεώτρηση Γ2 τοποθετήθηκαν φίλτρα από τα 105 m βάθους. Η αγωγιμότητα που μετρήθηκε ήταν καλή, 800μS/cm.
- Στη γεώτρηση Γ3 τοποθετήθηκαν φίλτρα από τα 75 m βάθους. Η αγωγιμότητα όμως που μετρήθηκε ήταν πολύ υψηλή, 1600μS/cm.
- Στη γεώτρηση Γ4 τοποθετήθηκαν φίλτρα από τα 83,5 m βάθους. Η αγωγιμότητα που μετρήθηκε ήταν υψηλή, 1100μS/cm.
- Στη γεώτρηση Γ5 τοποθετήθηκαν φίλτρα από τα 114 m βάθους. Η αγωγιμότητα δεν είναι γνωστή, καθώς δεν λειτούργησε ποτέ.
- Η γεώτρηση Φ80 εμφανίζει καλή ποιότητα νερού. Επίσης παρατηρείται καλή υδροφορία στα 100 m βάθος, όπου υπάρχουν σχηματισμοί χαλίκων. Η παροχή μετρήθηκε περίπου σε 60-70κ.μ./ώρα.
- Η γεώτρηση Φ83 δεν λειτουργεί λόγω του ότι δεν έχει ικανοποιητική παροχή.
- Η γεώτρηση Φ85 βρίσκεται σε λειτουργία χωρίς να είναι γνωστά περισσότερα στοιχεία.

Οι υψηλές τιμές αγωγιμότητας που παρατηρούνται στα υπόγεια νερά οφείλονται σε υψηλή περιεκτικότητα διαλυμένων αλάτων. Τα νερά αυτά χαρακτηρίζονται ως υφάλμυρα και είναι ακατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση είτε για χρήση στην άρδευση. Το φαινόμενο της υφαλμύρισης των υδάτων, αποτελεί περιβαλλοντικό πρόβλημα ύψιστης σημασίας καθώς η πρόσβαση σε καθαρό πόσιμο νερό είναι αναγκαία προϋπόθεση για την οικονομική ανάπτυξη μιας περιοχής.

1.9 Το πρόβλημα της υφαλμύρισης



Σχήμα 20¹⁷. Σχηματική περιγραφή του φαινομένου της υφαλμύρισης των υδροφορέων.

Η υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων είναι ένα σύνθετο περιβαλλοντικό πρόβλημα που προκαλείται τόσο από φυσικούς όσο και από ανθρωπογενείς παράγοντες.

Από υδρογεωλογικής άποψης η υφαλμύριση υδροφορέων συνίσταται από ένα διάλυμα υψηλής αλατότητας αναμειγμένο με γλυκό νερό σε ένα πορώδες μέσο που περιέχει πολλά δραστικά στερεά –ορυκτά.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται ορισμένα από τα αίτια που οδηγούν σε υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων.

Πίνακας 7. Αίτια Υφαλμύρισης.

ΑΙΤΙΑ ΥΦΑΛΜΥΡΙΣΗΣ	
ΦΥΣΙΚΑ	ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΟΥΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ
Γεωλογική εξέλιξη της περιοχής	Υπερεκμετάλλευση παράκτιων και ενδοχωρικών υδροφορέων
Ύπαρξη αποθέσεων εβαποριτών	Ανθρώπινες δραστηριότητες που συνδέονται με:
Εγκλωβισμένα υφάλμυρα νερά	• Χρήση λιπασμάτων
Μεταβολές θαλάσσιας στάθμης	• Υγρά και στερεά απόβλητα
Παλίρροιες	• Αποστραγγιστικά δίκτυα
Ξηρασίες	• Χρήση ουσιών αποπαγοποίησης

Οι έντονες αντλήσεις προκαλούν πτώση του υδραυλικού φορτίου με αποτέλεσμα να συμβαίνει αναστροφή της υδραυλικής κλίσης και ως συνέπεια είναι η διείσδυση του θαλασσινού νερού στον υδροφόρα. Σε ενδοχωρικές περιοχές και σε θετικά υψόμετρα υδροστατικής στάθμης εντοπίζονται υφάλμυρα υπόγεια νερά, εγκλωβισμένα εντός

¹⁷ <http://www.st-andrews.ac.uk/~crb/web/>. Summary geophysics. Geophysical Case Histories. (Blackhawk)

σχηματισμών, τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλή αλατότητα. Επίσης, παρατηρείται μεταφορά αλάτων από σχηματισμούς σε υπόγεια νερά με αποτέλεσμα να αυξάνεται η περιεκτικότητα τους σε χλωριώντα και ως εκ τούτου να αυξάνεται η αγωγιμότητα τους. Τα υπόγεια νερά της περιοχής γίνονται υφάλμυρα με αποτέλεσμα να καθίστανται ακατάλληλα για ύδρευση αλλά και για άρδευση. Επιπροσθέτως, η υφαλμύριση επηρεάζει την ποιότητα των εδαφών.

Για τους λόγους που προαναφέρθηκαν κρίνεται απαραίτητο να πραγματοποιούνται έρευνες με τις οποίες να ελέγχεται συστηματικά η ποιότητα των υπόγειων υδάτων.

2 Κεφάλαιο δεύτερο

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι γεωφυσικές μέθοδοι που εφαρμόζονται σε έρευνες υπόγειου νερού. Επίσης, γίνεται μια σύντομη ανάλυση βασικών θεωριών που σχετίζονται με τις ηλεκτρικές μετρήσεις. Και τέλος, παρουσιάζονται οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται στις γεωηλεκτρικές μεθόδους.

2.1 Γεωφυσικές μέθοδοι

Αρκετές γεωφυσικές μέθοδοι έχουν εφαρμοστεί σε έρευνες υπόγειου νερού:

- Για τη χαρτογράφηση μικρής έκτασης υδροφορέων και μεγάλης έκτασης λεκανών.
- Για την οριοθέτηση του υποβάθρου των υδροφορέων και διαρρηγμένων βραχωδών συστημάτων.
- Για την διερεύνηση των υδρογεωλογικών ιδιοτήτων των γεωλογικών σχηματισμών, όπως το πορώδες και η διαπερατότητα των πετρωμάτων.

Διαφορετικά υλικά παρουσιάζουν διαφορετικές χαρακτηριστικές τιμές σε μετρούμενες παραμέτρους. Οι περισσότερες γεωφυσικές μέθοδοι μετρούν τις διαφορές και τις αντιθέσεις των παραμέτρων των υλικών σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο.

Οι παράμετροι αυτές επηρεάζονται από:

- τον τύπο του ορυκτού
- την κοκκομετρική διαβάθμιση
- το πορώδες
- τη διαπερατότητα και
- το περιεχόμενο στους πόρους ρευστό (υγρό ή αέριο).

Η επιτυχημένη εφαρμογή κάθε γεωφυσικής μεθόδου στηρίζεται όχι μόνο στον προσεκτικό σχεδιασμό της έρευνας αλλά και στη μελέτη μιας σειράς βασικών παραγόντων. Οι παράγοντες αυτοί περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Τη φύση του στόχου. Ο στόχος πρέπει να παρουσιάζει διαφοροποίηση από το περιβάλλοντα χώρο.
- Το βάθος του στόχου. Το βάθος της δομής είναι μεγάλης σημασίας, καθώς διαφορετικές μέθοδοι έχουν διαφορετικό βάθος έρευνας. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για έρευνες σε μεγάλα βάθη συνήθως έχουν μικρή ανάλυση.

- Το μέγεθος του στόχου.
- Την απόσταση των θέσεων μεταξύ των μετρήσεων. Εξαρτάται από το βάθος, το μέγεθος του στόχου και την μέθοδο που θα επιλεγεί.
- Τη βαθμονόμηση των δεδομένων. Πραγματοποιείται σύμφωνα με τα πραγματικά γεωλογικά και υδρογεωλογικά δεδομένα της περιοχής μελέτης.

Γεωφυσικές μέθοδοι στην υδρογεωλογική έρευνα

➤ Γεωηλεκτρικές μέθοδοι

- Οι γεωηλεκτρικές μέθοδοι εφαρμόζονται για να βρεθεί η γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να βρεθεί η γεωλογική δομή του.
- Ανήκουν στην κατηγορία των γεωφυσικών μεθόδων ηλεκτρικής αντίστασης. Στόχος των μεθόδων ηλεκτρικής αντίστασης είναι η μέτρηση της διαφοράς δυναμικού στην επιφάνεια, λόγω της ροής του ηλεκτρικού ρεύματος μέσω του εδάφους. Η πτώση τάσης (διαφορά δυναμικού) αντιπροσωπεύει τη δυσκολία με την οποία ρέει το ηλεκτρικό ρεύμα δια μέσω της Γης, παρέχοντας μια ένδειξη της ηλεκτρικής αντίστασης της Γης.
- Η εύρεση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος για υδρογεωλογικές μελέτες, καθώς επιτρέπει τη διάκριση μεταξύ:
 - γλυκού και αλμυρού νερού,
 - αμμωδών υδροφορέων και αργιλικών υλικών,
 - σκληρών πορωδών και διαρρηγμένων υδροφορέων και μικρής διαπερατότητας αργιλικών πετρωμάτων.
- Λόγω του ότι οι παράγοντες που καθορίζουν την αγωγή του ρεύματος είναι ποικίλοι, είναι συχνά παρατηρούμενο το φαινόμενο όμοιοι σχηματισμοί σε διαφορετικά πεδία να εμφανίζουν διαφορετικές μεταβολές στην τιμή της αντίστασής τους. Το γεγονός αυτό καθιστά την ηλεκτρική αντίσταση μια ιδιότητα μη σταθερή και ως εκ τούτου μη επαρκή για τη διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για τη λιθολογία του υπεδάφους.
- Με την εφαρμογή αυτών των μεθόδων μπορεί να είναι διακριτός ένας σχηματισμός λόγω την διαφορετικής ηλεκτρικής αντίστασής του σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο, είναι όμως επισφαλές να αποφασιστεί η «ταυτότητά» του μόνο από τη γνώση της τιμής της ηλεκτρικής αντίστασης.

Για την αποφυγή εσφαλμένης ερμηνείας είναι απαραίτητη η ύπαρξη γεωλογικών χαρτών της περιοχής έρευνας, αποτελέσματα γεωτρήσεων ή εκσκαφών και γενικά κάθε πληροφορία η οποία μπορεί να ενισχύσει τη γνώση του υπεδάφους.

Άλλες γεωφυσικές μέθοδοι που έχουν εφαρμοστεί στην υδρογεωλογική έρευνα:

➤ Γεωφυσική διαγραφία (well logging)

- Η μέθοδος αυτή ανακαλύφθηκε το 1927 από τους γεωφυσικούς Marcel και Conrad Schlumberger.
- Σε γεώτρηση υπό κατασκευή εισάγεται ένας αισθητήρας μέτρησης, ο οποίος λαμβάνει μετρήσεις από τον πυθμένα προς την επιφάνεια. Τα μετρούμενα μεγέθη είναι φυσικές παράμετροι του κάθε γεωλογικού στρώματος που συναντά στην πορεία του.
- Παρέχει τη δυνατότητα του καθορισμού της σύνθεσης, της μεταβλητότητας και των φυσικών, χημικών και δομικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων γύρω από τη γεώτρηση, όπως:
 - Πάχος σχηματισμών
 - Λιθολογία
 - Πορώδες
 - Διαπερατότητα
 - Βαθμός κορεσμού σε νερό
 - Κλίση στρωμάτων
 - Θερμοκρασία
 - Εντοπισμός ρωγμών
- Οι διαγραφίες διακρίνονται σε:
 - Μηχανικές
 - Διαγραφία εσωτερικού διαμετρήματος
 - Ακουστικής ταχύτητας διαγραφία
 - Ηλεκτρικές
 - Διαγραφίες ηλεκτρικής αντίστασης
 - Διαγραφίες ηλεκτρικής αγωγιμότητας
 - Διαγραφίες φυσικού δυναμικού

- Διαγραφίες επαγόμενης πόλωσης
- Μαγνητικής επιδεκτικότητας
- Ραδιενεργές
 - Διαγραφία φυσικής ακτινοβολίας - ακτίνες γάμμα
 - Διαγραφία νετρονίου

➤ Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι

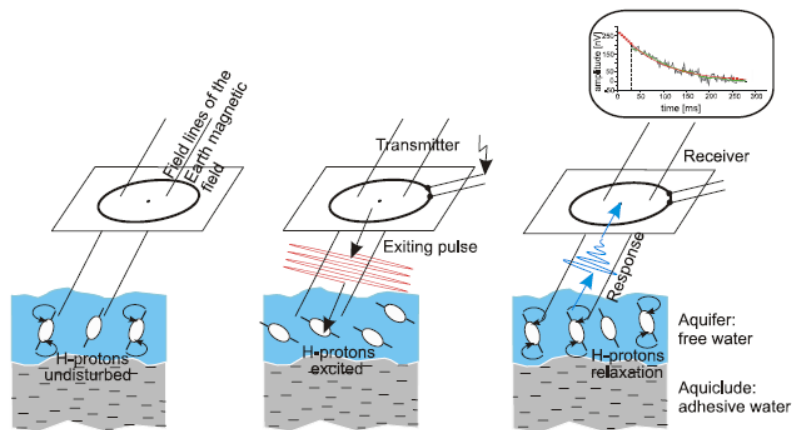
- Χρησιμοποιούνται για τη χαρτογράφηση πλευρικών και κατακόρυφων μεταβολών της αγωγιμότητας.
- Διακρίνονται σε δυο ειδών μεθόδους:
 - Σε σχέση με το χρόνο: time-domain (TDEM), κυρίως σε βυθοσκοπήσεις
 - Σε σχέση με τη συχνότητα: frequency domain (FDEM), κυρίως για χαρτογράφηση των πλευρικών μεταβολών της αγωγιμότητας.
- Και οι δυο τεχνικές μετρούν την αγωγιμότητα του εδάφους επάγοντας ηλεκτρικό πεδίο μέσω εναλλασσόμενων ρευμάτων με πηνία εκπομπής, τα οποία τοποθετούνται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Αυτά τα εναλλασσόμενα ρεύματα δημιουργούν μαγνητικά πεδία που διαδίδονται στη γη και δημιουργούν δευτερεύοντα ηλεκτρικά ρεύματα τα οποία μπορούν να μετρηθούν είτε όταν το πρωταρχικό πεδίο εκπέμπει είτε αφού σταματήσει.
- Παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανάλυση σε σύγκριση με τις ηλεκτρικές μεθόδους.

➤ VLF

- Η μέθοδος VLF (πολύ χαμηλής συχνότητας) στηρίζεται σε έντεκα κύριους σταθμούς που εκπέμπουν συνεχή VLF ηλεκτρομαγνητικά κύματα σε όλο τον κόσμο. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο επάγει μέσα στα ρήγματα, όπου υπάρχει υπόγειο νερό, δευτερεύον H/M πεδίο, το οποίο ανιχνεύεται από ένα όργανο που έχει τη δυνατότητα ανίχνευσης πολύ μικρών μεταβολών στην τιμή και τη διεύθυνση του H/M πεδίου.
- Η μέθοδος γενικά είναι οικονομική και τα δεδομένα δίνουν απευθείας ένδειξη των ανωμαλιών που πιθανόν να υπάρχουν. Επίσης, μπορούν να μελετηθούν περιοχές μεγάλης έκτασης σε μικρό χρονικό διάστημα.

- Συνήθως εφαρμόζεται σε συνδυασμό με άλλες γεωφυσικές μεθόδους.
- *Μαγνητική (γεω-μαγνητική) μέθοδος:*
 - Συνίσταται στη μέτρηση εναπομείναντος μαγνητικού πεδίου που σχετίζεται με κάποιο υλικό ή αλλαγή στο μαγνητικό πεδίο της Γης.
 - Έχει μικρή εφαρμογή σε υδρογεωλογικές μελέτες, λόγω του ότι το νερό δεν εμφανίζει μαγνητικές ιδιότητες.
 - Έχει εφαρμοστεί σε τοποθεσίες με ρυπασμένα υπόγεια ύδατα από ενταφιασμένα μεταλλικά αντικείμενα όπως δεξαμενές αποθήκευσης υδρογονανθράκων και χημικών ουσιών. Επίσης, στον εντοπισμό διαρρηγμένου υποβάθρου και άλλων τοποθεσιών με αδύναμο ή λεπτό φλοιό στις οποίες δημιουργούνται ευνοϊκές διαδρομές ρευστών.
- *Βαρυτική μέθοδος*
 - Επιτυγχάνεται η καταγραφή των μεταβολών της πυκνότητας των υλικών.
 - Δεν χρησιμοποιείται ευρέως στην υδρογεωλογία, αλλά έχουν γίνει έρευνες χαρτογράφησης περιοχών με πετρώματα χαμηλής πυκνότητας ανάμεσα σε σχηματισμούς υψηλής πυκνότητας.
 - Έχει χρησιμοποιηθεί συνδυαστικά με ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους για τη χαρτογράφηση καρστικών σχηματισμών.
 - Η ερμηνεία των δεδομένων από τις βαρυτικές μεθόδους είναι δύσκολη καθώς οι αλλαγές στο βαρυτικό πεδίο μπορεί να οφείλονται σε πολλές και ποικίλες αιτίες.
- *Σεισμική μέθοδος*
 - Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη μέτρηση της διάδοσης της ενέργειας δια μέσου ενός υλικού. Η ταχύτητα της ακουστικής ενέργειας στο σχηματισμό εξαρτάται από το μέτρο της ελαστικότητας και την πυκνότητα του υλικού.
 - Στην υδρογεωλογία η σεισμική μέθοδος στηρίζεται στην διάθλαση των σεισμικών κυμάτων, χρησιμοποιώντας διαμήκη κύματα των οποίων η ταχύτητα αυξάνεται με την πυκνότητα. Μέσω της διάθλασης των σεισμικών κυμάτων επιτυγχάνεται η χαρτογράφηση του βάθους και η γεωμετρία του υποβάθρου.

- Τα διαμήκη σεισμικά κύματα χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, καθώς υπάρχει σημαντική αύξηση της ταχύτητας από τα μη κορεσμένα στα κορεσμένα υλικά.
 - Η διάθλαση των σεισμικών κυμάτων χρησιμοποιείται επίσης για την ερμηνεία των ιδιοτήτων ενός υδροφορέα, όπως το πορώδες.
- Μέθοδος γεω-ραντάρ
- Χρησιμοποιεί παλμούς ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για να απεικονίσει το υπέδαφος.
 - Εφαρμόζεται σε έρευνες μικρού βάθους
 - Με τη μέθοδο αυτή μετρούνται τα ρεύματα μετατόπισης του εδάφους, τα οποία ορίζονται από την κίνηση του φορτίου δια μέσου του εδάφους λόγω πόλωσης και σχετίζονται με το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο, με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους ή με τη διηλεκτρική σταθερά.
- Επιφανειακός πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός (SNMR)
- Είναι μια μη επεμβατική γεωφυσική μέθοδος μέσω της οποίας το περιεχόμενο νερό ενός υδροφορέα και άλλες υδρογεωλογικές παράμετροί του μπορούν να καθοριστούν απευθείας.
 - Χρησιμοποιεί τις πυρηνικές ιδιότητες του νερού. Λόγω του ότι οι πυρήνες των ατόμων του υδρογόνου έχουν μαγνητική ροπή (spin), ευθυγραμμίζονται με το μαγνητικό πεδίο της Γης. Είναι δυνατόν να διεγερθούν με ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο και να μετρηθεί η απόκριση του σήματός τους ως αποτέλεσμα της μετάπτωσης των πρωτονίων όταν σταματάει να επιδρά το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο. Καθώς το πλάτος του σήματος σχετίζεται με το πλήθος των διεγερμένων πυρήνων υδρογόνου, η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του περιεχόμενου νερού στο έδαφος και τα πετρώματα. Επιπροσθέτως, πληροφορίες για τις υδραυλικές ιδιότητες όπως το μέγεθος των πόρων και η υδραυλική αγωγιμότητα προκύπτουν από αυτό το σήμα.



Σχήμα 21¹⁸. Αρχή της μεθόδου επιφανειακού πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού.

- Πριν την έναρξη της έρευνας σε άγνωστη περιοχή πρέπει να είναι γνωστά :
 - Η ένταση και η κλίση του μαγνητικού πεδίου της Γης στην περιοχή μελέτης
 - Υδρογεωλογικά δεδομένα, όπως :
 - Ο υδροφόρος ορίζοντας
 - Το πάχος και το πορώδες των υδροφορέων
 - Αν η περιοχή χαρακτηρίζεται από υψηλής αγωγιμότητας πετρώματα, είναι απαραίτητο να υπάρχουν δεδομένα ηλεκτρικής αγωγιμότητας.
- Οι πρώτες μελέτες υψηλής ακρίβειας έγιναν από τους Bloch και Purcell το 1946. Από τότε η τεχνική αυτή έχει βρει ευρεία εφαρμογή στη γεωφυσική γεωτρήσεων.
- Εφαρμογές
 - Απευθείας ανίχνευση υπόγειου νερού
 - Διάκριση μεταξύ υδρογεωλογικών μονάδων (υδροφορείς και υδατοστεγή στρώματα)
 - Καθορισμός του περιεχόμενου νερού των πρωτογενών υδροφορέων
 - Εκτίμηση της υδραυλικής αγωγιμότητας
 - Καθορισμός της ποσότητας νερού στη ζώνη διήθησης

¹⁸ Environmental Geology, Handbook of field methods and case studies. K. Knodel, G. Lange, H. – J. Voigt

- Εκτίμηση του περιεχόμενου νερού και των υδραυλικών ιδιοτήτων σε καρστικούς και διαρρηγμένους υδροφορείς.

Τη μεγαλύτερη επιτυχία στην υδρογεωλογική έρευνα έχουν οι ηλεκτρικές και οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι τόσο στη χαρτογράφηση υπόγειων υδροφορέων όσο και στην ανίχνευση ρυπασμένων υπόγειων υδάτων.

2.1.1 Ειδική ηλεκτρική αντίσταση

Το μέγεθος το οποίο υπολογίζεται με τις ηλεκτρικές μεθόδους είναι η ηλεκτρική αντίσταση του υπεδάφους. Εκφράζει τη δυσκολία με την οποία διέρχεται το ηλεκτρικό ρεύμα δια μέσου των γεωλογικών σχηματισμών και υπολογίζεται από το νόμο του Ohm.

Ο νόμος του Ohm συνδέει την τάση που εφαρμόζεται στα άκρα ενός αγωγού με την ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει με την σχέση :

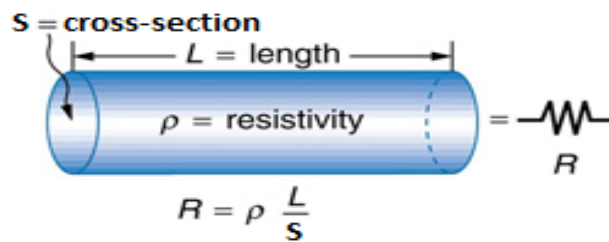
$$I = \frac{V}{R}$$

όπου:

V	Τάση ή Διαφορά Δυναμικού(V)
I	Ένταση Ηλεκτρικού Ρεύματος(A)
R	Ηλεκτρική Αντίσταση (Ohm)

Αυτό που ενδιαφέρει όμως είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών, ρ , καθώς αποτελεί ιδιότητά τους.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση υπολογίζεται από τη σχέση, $\rho = R \frac{S}{L}$ για ένα στερεό κυλινδρικού σχήματος, μήκους L και διατομής S.



Σχήμα 22¹⁹. Περιγραφή του υπολογισμού της ηλεκτρικής αντίστασης κυλινδρικού αγωγού.

Η μονάδα μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο S.I. είναι το Ohm·m

Το αντίστροφο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα

$\sigma = \frac{1}{\rho}$, με μονάδα μέτρησης στο S.I. το Siemens/m.

Το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει δια μέσω του υπεδάφους μέσω τριών διαδικασιών:

1. Ηλεκτρονική αγωγιμότητα, η οποία προκύπτει στα μέταλλα, όπου το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται δια μέσω των ελεύθερων ηλεκτρονίων
2. Ηλεκτρολυτική αγωγιμότητα
3. Διηλεκτρική αγωγιμότητα. Το εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα προκαλεί κυκλική κίνηση των ιόντων της κρυσταλλικής δομής ορισμένων μονωτών. Λόγω της κίνησης αυτής προκαλείται δευτερεύον εναλλασσόμενο ρεύμα.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του υπεδάφους είναι κυρίως ηλεκτρολυτική λόγω του ότι τα περισσότερα ορυκτά είναι μονωτές. Ως εκ τούτου η αγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται δια μέσω του περιεχόμενου νερού ή γενικά ρευστού στους πόρους ή στις πάσης φύσεως ρωγμές τους. Το υπόγειο νερό που περιέχεται στον κενό χώρο των πόρων των πετρωμάτων συνιστά φυσικό ηλεκτρολύτη.

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

$$\rho_{\text{aquifer}} = \rho_{\text{fluid}} \cdot F$$

όπου:

ρ_{aquifer} = ειδική ηλεκτρική αντίσταση πετρώματος

¹⁹ <https://fysikafysikh.wordpress.com/>

ρ_{fluid} = ειδική ηλεκτρική αντίσταση του νερού των πόρων του πετρώματος

$$F = a \cdot \phi^{-m}$$

Όπου:

ϕ : πορώδες

a, m : σταθερές $\rightarrow a = 1$ και $m = 2$

m : συντελεστής που εκφράζει το πόσο συμπαγές είναι το πέτρωμα

Για μερικώς κορεσμένο υλικό, ο παράγοντας F μπορεί αν αντικατασταθεί με το λόγο F/S_w^2 , όπου S_w είναι ο βαθμός κορεσμού, δηλαδή το ποσοστό του νερού που πληρώνει τον κενό χώρο των πόρων.

Ο παράγοντας F συνδυάζει όλες τις ιδιότητες των υλικών που επηρεάζουν τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, όπως

- το πορώδες,
- το σχήμα των πόρων και
- τη διαγενετική συμπαγοποίησή τους.

Υπάρχουν διάφορες εκφράσεις για τη σταθερά m , όπως εκθέτης του πορώδους, παράγοντας σχήματος, ή βαθμός συνεκτικότητας. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη σταθερά m μεταξύ των άλλων είναι :

- Η γεωμετρία των πόρων
- Η συνεκτικότητα
- Η σύνθεση των ορυκτών

Η σταθερά a αντιπροσωπεύει την επίδραση των κόκκων των ορυκτών στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος. Εάν οι κόκκοι είναι τέλειοι μονωτές, τότε $a=1$, κάτι που αποτελεί τη βασική συνθήκη για τη ισχύ του νόμου του Archie. Αν οι κόκκοι των ορυκτών συνεισφέρουν στην ηλεκτρική αγωγιμότητα, έως ένα βαθμό, τότε η σταθερά a μειώνεται αναλόγως.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τιμές για το πορώδες, το a και το m για διάφορες περιπτώσεις πετρωμάτων:

Πίνακας 8²⁰. Τιμές πορώδους και συντελεστών α και m για διάφορους τύπους πετρώματων.

Τύπος Πετρώματος	ϕ	α	m
Ασθενώς Συμπαγοποιημένο	0,25-0,45	0,88	1,37
Μέτρια Συμπαγοποιημένο	0,22-0,35	0,62	1,72
Αρκετά Συμπαγοποιημένο	0,05-0,25	0,62	1,95
Πυκνό, Πυριγενές, Μεταμορφωμένο	<0,05	1,4	1,6
Ηφαιστειακό με υψηλό πορώδες	0,2-0,8	3,5	1,4

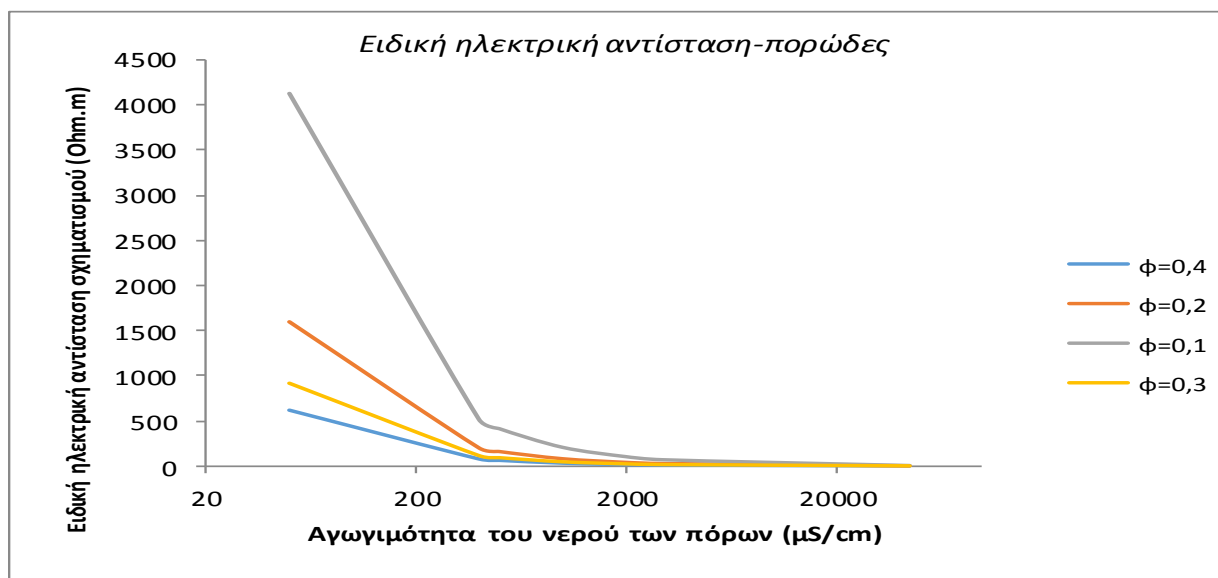
Η εφαρμογή του νόμου του Archie περιορίζεται σε υλικά με υψηλής αντίστασης ορυκτούς κόκκους και αγωγίμο υγρό μέσα στους πόρους τους. Μια μικρή συνεισφορά των κόκκων των ορυκτών στην ηλεκτρική αγωγιμότητα λαμβάνεται υπόψη μέσω του παράγοντα α . Παρ' όλα αυτά, όταν η αντίσταση των πόρων του νερού είναι αρκετά υψηλή ώστε η συνεισφορά των κόκκων των ορυκτών, στην αγωγιμότητα του υδροφορέα, να είναι σημαντική τότε ο νόμος του Archie παύει να ισχύει.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εφαρμογής του νόμου του Archie για την αντίσταση που παρουσιάζουν τα υλικά αναλόγως με το πορώδες τους και την ποιότητα του νερού.

²⁰ Παρουσιάσεις Περιβαλλοντική Γεωφυσική - Εφαρμογή Γεωφυσικών Μεθόδων στην Υδρογεωλογική Έρευνα Βαργεμέζης Γ.

Πίνακας 9. Τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για τις διάφορες ποιότητες νερού και πορώδους.

Ποιότητα νερού	Cf ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Rf (Ohm.m)	a	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	m	$\rho_1(\text{Ohm.m})$	$\rho_2(\text{Ohm.m})$	$\rho_3(\text{Ohm.m})$	$\rho_4(\text{Ohm.m})$
Πολύ φρέσκο	50	200	0,88	0,4	0,3	0,2	0,1	-1,37	618	916	1596	4126
Πόσιμο	400	25							77	114	200	516
Φρέσκο	500	20							62	92	160	413
Αλμυρό	1000	10							31	46	80	206
Αποδεκτό για άρδευση	2000	5							15	23	40	103
Απαγορευμένο για άρδευση	3000	3,3							10	15	27	69
Πολύ Αλμυρό (θαλασσινό νερό)	45000	0,2							1	1	2	5



Σχήμα 23. Γράφημα που παρουσιάζει τη μεταβολή της αγωγιμότητας πορώδους μέσου σε σχέση με τη μεταβολή του πορώδους.

Από το παραπάνω γράφημα είναι εμφανές ότι με τη μείωση του πορώδους του σχηματισμού, υπάρχει αύξηση της αντίστασής του, καθώς υπάρχει μείωση της περιεκτικότητάς του σε νερό. Επίσης, με την αύξηση της αγωγιμότητας του νερού υπάρχει μείωση της αντίστασης του σχηματισμού.

Στην περίπτωση των αργιλικών στρωμάτων η ροή του ηλεκτρικού ρεύματος είναι τόσο ηλεκτρονική όσο και ηλεκτρική.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι μια μεταβαλλόμενη ιδιότητα των γεωλογικών σχηματισμών. Οι τιμές της παρουσιάζουν ένα μεγαλύτερο εύρος σε σύγκριση με άλλες φυσικές ποσότητες που χαρτογραφούνται μέσω άλλων γεωφυσικών μεθόδων. Έτσι η αντίσταση των πετρωμάτων και των εδαφών σε μια περιοχή έρευνας μπορεί να διαφέρει κατά πολλές τάξεις μεγέθους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σχετίζεται με πολλές γεωλογικές παραμέτρους, όπως:

- Λιθολογία πετρωμάτων
- Περιεχόμενο ρευστό
- Πορώδες
- Διαπερατότητα
- Βαθμός κορεσμού
- Περιεχόμενο σε διαλυμένα άλατα-;ύπαρξη υφάλμυρων υδάτων
- Περιεχόμενο ποσοστό αργίλου
- Ικανότητα ιοντοανταλλαγής
- Θερμοκρασία του νερού των πόρων
- Συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων και ρυπαντών
- Ηλικία γεωλογικών σχηματισμών

Τα πετρώματα με τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μικρότερες από 1 έως 10^6 Ohm·m θεωρούνται καλοί αγωγοί, ενώ αυτά με τιμές 10^6 έως 10^{15} Ohm·m θεωρούνται κακοί αγωγοί.

Στον ακόλουθο πίνακα παρατίθενται οι τιμές των ειδικών αντιστάσεων ορισμένων υλικών που συναντώνται στο υπέδαφος.

Πίνακας 10²¹. Ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις διαφόρων υλικών.

Υλικό	Ειδική ηλεκτρική αντίσταση(Ohm.m)
Αέρας	∞
Σιδηροπυρίτης	$3 \cdot 10^{-1}$
Γαληνίτης	$2 \cdot 10^{-3}$
Χαλαζίας	$4 \cdot 10^{10} - 2 \cdot 10^{14}$
Ασβεστίτης	$1 \cdot 10^{12} - 1 \cdot 10^{13}$
Ορυκτό Άλας	$30 - 1 \cdot 10^{13}$
Μαρμαρυγίας	$9 \cdot 10^{12} - 1 \cdot 10^{14}$
Γρανίτης	$100 - 1 \cdot 10^6$
Γάββρος	$1 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^6$
Βασάλτης	$10 - 1 \cdot 10^7$
Ψαμμίτες	$1 - 1 \cdot 10^8$
Σχιστόλιθοι	$20 - 2 \cdot 10^3$
Δολομίτης	$100 - 1 \cdot 10^4$
Άμμος	$1 - 1 \cdot 10^3$
Άργιλος	$1 - 100$
Εδαφικό Νερό	$0,5 - 300$
Θαλασσινό Νερό	$0,2$

Η επιτυχία της γεωφυσικής έρευνας στηρίζεται στην προσεκτική ερμηνεία των αποτελεσμάτων με άλλα γεωλογικά και υδρογεωλογικά δεδομένα για το πεδίο. Συνήθως χρησιμοποιείται με δυο τρόπους:

- Για την ερμηνεία της γεωλογίας και της υδρογεωλογίας με δυνατότητα βαθμονόμησης τιμών από στοιχεία γεωτρήσεων
- Σε μια περιοχή με άγνωστη γεωλογία και υδρογεωλογία.

2.1.2 Φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση

Η Γη είναι γεωηλεκτρικά ανομοιογενές σώμα. Η τιμή της μετρούμενης αντίστασης εξαρτάται και από τη γεωμετρία της διάταξης που θα χρησιμοποιηθεί.

Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση του εδάφους είναι μια έννοια που αποτελεί δείκτη των πραγματικών τιμών των ειδικών αντιστάσεων των σχηματισμών και των δομών που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης. Δεν είναι η πραγματική αντίσταση του υπεδάφους, αλλά μία φαινόμενη τιμή, η οποία είναι η αντίσταση που θα είχε το έδαφος εάν ήταν γεωηλεκ-

²¹ Ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις διαφόρων υλικών. Π. Τσούρλος 1995

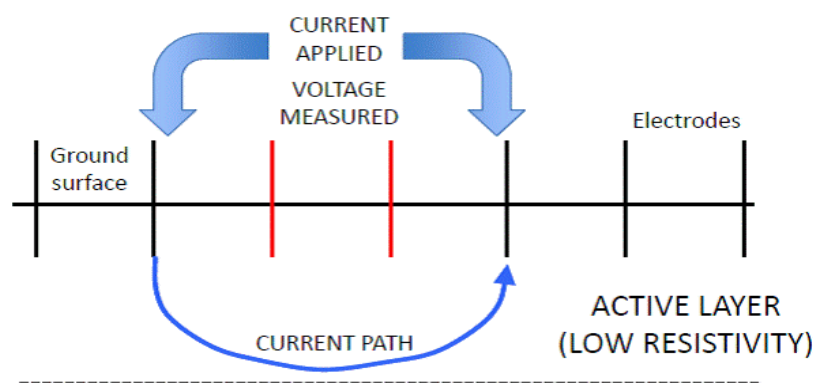
τρικά ομογενές. Η τιμή αυτή ταυτίζεται με την πραγματική αντίσταση όταν πρόκειται για ομοιόμορφο και ομογενή χώρο. Αποτελεί ένα είδος μέσου όρου των ηλεκτρικών αντιστάσεων του ανομοιογενούς υπεδάφους. Επομένως, δεν δίνει ακριβώς την πραγματική αλλά μία «παραμορφωμένη» εικόνα της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους.

Για τον προσδιορισμό της πραγματικής υπεδαφικής αντίστασης απαιτείται να γίνει αντιστροφή της μετρούμενης φαινόμενης αντίστασης μέσω ενός προγράμματος στον υπολογιστή.

2.2 Ηλεκτρική Τομογραφία

Η ηλεκτρική τομογραφία είναι μια τεχνική απεικόνισης της ηλεκτρικής δομής του υπεδάφους η οποία χρησιμοποιεί ρεύματα αγωγιμότητας (conduction currents). Μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός της βυθοσκοπησης και της όδευσης και να περιγραφεί ως μια σειρά από συνεχόμενες ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις κατά μήκος μιας γραμμής έρευνας και ως μια σειρά από οδεύσεις στην ίδια περιοχή με αυξανόμενες αποστάσεις ηλεκτροδίων.

Με την ηλεκτρική τομογραφία λαμβάνεται μια πληρέστερη εικόνα του υπεδάφους καθώς η πληροφορία που καταγράφεται αφορά τόσο στην οριζόντια όσο και στην εις βάθος μεταβολή της γεωηλεκτρικής αντίστασης. Επίσης, η δυνατότητα του μεγάλου αριθμού μετρήσεων μας δίνει εικόνα μεγάλης διακριτικής ικανότητας και ανάλυσης. Έτσι η ηλεκτρική τομογραφία χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση περιοχών με περίπλοκη γεωλογική δομή.



Σχήμα 24²²

²² Electrical Resistivity Tomography (ERT) as an essential tool to investigate sites in discontinuous permafrost (Antoni Lewkowicz, Christina Miceli, Maxime Duguay, Alexandre Bevington. Department of Geography, University of Ottawa)

Όπως όλες οι έρευνες που στηρίζονται στην ηλεκτρική αντίσταση, έτσι και στην ηλεκτρική τομογραφία, χρησιμοποιείται η διαφοροποίηση που υπάρχει στις ηλεκτρικές ιδιότητες των πετρωμάτων και των ορυκτών στο υπέδαφος.

2.2.1 Βασικές αρχές της εφαρμογής

Οι έρευνες αυτού του είδους διεξάγονται χρησιμοποιώντας ένα μεγάλο αριθμό ηλεκτροδίων, περισσότερα από 25, τα οποία συνδέονται με ένα πολυκάναλο καλώδιο. Ένας φορητός υπολογιστής μαζί με μια ηλεκτρονική μονάδα εναλλαγής (switching) χρησιμοποιούνται για να συλλέξουν αυτόματα κάθε μέτρηση από τα σχετιζόμενα ηλεκτρόδια. Συνήθως χρησιμοποιείται μια σταθερή απόσταση μεταξύ των διαδοχικών ηλεκτροδίων.

Τεχνητά παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα, χαμηλής συχνότητας, διαβιβάζεται στο έδαφος δια μέσου ενός ζεύγους ηλεκτροδίων Α και Β. Σε ένα δεύτερο ζεύγος ηλεκτροδίων, Μ και Ν, μετράται η διαφορά δυναμικού που προκαλείται. Η ηλεκτρική αντίσταση που υπολογίζεται ως το πηλίκο των δύο αυτών μεγεθών χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ .

Το βάθος διασκόπησης κάθε μέτρησης ελέγχεται με την προσαρμογή της απόστασης των ηλεκτροδίων: το βάθος αυξάνεται καθώς η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων μεγαλώνει. Με βάση αυτές τις αρχές, είναι δυνατόν να αποκτηθεί μια σειρά μετρήσεων, με αυξανόμενη απόσταση ηλεκτροδίων, έτσι ώστε να ληφθεί η μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους της περιοχής μελέτης τόσο πλευρικά όσο και στην κατακόρυφη διεύθυνση.

2.2.2 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ

Η ακριβής ερμηνεία των ψευδο-εικόνων πολλές φορές δεν είναι εφικτή. Με την εξέλιξη όμως πλήρως αυτοματοποιημένων αλγορίθμων αντιστροφής είναι δυνατόν να παραχθεί μια ακριβής εικόνα της ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους.

Ο όρος αντιστροφή στη μέθοδο ηλεκτρικής αντίστασης περιγράφει τη διαδικασία κατασκευής της εικόνας της πραγματικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους με βάση τα παρατηρούμενα δεδομένα.

Τέτοιου είδους αλγόριθμοι είναι από μαθηματικής άποψης περίπλοκοι και επιτρέπουν την ανακατασκευή μετρούμενων δεδομένων ανεξάρτητων από τη διάταξη των ηλεκτροδίων. Επιπροσθέτως, τα τελευταία χρόνια η εξέλιξη στα όργανα μέτρησης της αντίστασης καθιστούν εφικτή την αυτοματοποίηση στη διαδικασία της μέτρησης και τον συνδυασμό μετρήσεων. Ο συνδυασμός των αυτοματοποιημένων συστημάτων μετρήσεων με τα νέα συστήματα ερμηνείας (αντιστροφή) περιγράφεται με τον όρο τομογραφία ηλεκτρικής αντίστασης (εξαιτίας της ομοιότητας που εμφανίζει με την διαδικασία που χρησιμοποιείται στην ιατρική).

Οι τεχνικές που σκοπεύουν στην επίλυση του ανεστραμμένου γεωηλεκτρικού προβλήματος χρησιμοποιούν :

- Μεθόδους προσέγγισης
- Οπίσθια προβολή
- Εφαρμογή υπαρχόντων συστημάτων γραμμικής αντιστροφής
- Τροποποιήσεις προσαρμοσμένες σε κάποιο συγκεκριμένο πρόβλημα

2.2.3 Διάταξη ηλεκτροδίων

Η επιλογή της διάταξης μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την ακρίβεια των μετρήσεων. Η τοπογραφία της περιοχής προκαλεί διασπορά και εστίαση της κατανομής του ρεύματος κοντά στην επιφάνεια και ως εκ τούτου, τεχνητές, προκαλούμενες από το έδαφος, ανωμαλίες στην αγωγιμότητα και την αντίσταση των δεδομένων του πεδίου.

Κάποιοι από τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η επιλογή της διάταξης που θα χρησιμοποιηθεί είναι οι ακόλουθοι:

- το αντικείμενο της έρευνας
- η γεωλογία της περιοχής μελέτης
- η ευαισθησία της διάταξης σε κατακόρυφες και οριζόντιες μεταβολές της ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους
- το βάθος διασκόπησης
- η οριζόντια κάλυψη των δεδομένων
- η ένταση του σήματος
- η ευκολία με την οποία κάθε διάταξη μπορεί να εφαρμοστεί σε πρακτικές έρευνες

- ο λόγος σήματος- θορύβου.

Η γενική μορφή της εξίσωσης που δίνει την ειδική ηλεκτρική αντίσταση του υπεδάφους είναι:

$$\rho = K \frac{V}{I}$$

όπου :

K είναι ο γεωμετρικός παράγοντας ο οποίος εξαρτάται από τη διάταξη των ηλεκτροδίων

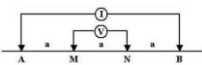
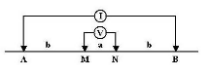
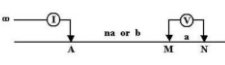
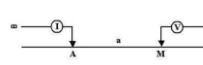
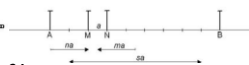
V η διαφορά δυναμικού και

I η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι διατάξεις τεσσάρων ηλεκτροδίων ελαχιστοποιούν την αντίσταση επαφής, την ηλεκτρική αντίσταση δηλαδή στη θέση του ηλεκτροδίου, για το λόγο αυτό είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές.

Συνήθως χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες διατάξεις:

Πίνακας 11. Παρουσίαση χαρακτηριστικών των διαφόρων διατάξεων που εφαρμόζονται στη γεωηλεκτρική έρευνα.

	WENNER	SCHLUMBERGER	ΔΙΠΟΛΟΥ- ΔΙΠΟΛΟΥ	ΠΟΛΟΥ- ΔΙΠΟΛΟΥ	ΠΟΛΟΥ-ΠΟΛΟΥ	MULTI-GRADIENT
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ						
ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I}$	$\rho_a = \frac{V}{I} \pi \frac{b(b+a)}{a} \approx \frac{V}{I} \pi \frac{b^2}{a}$	$\rho_a = \pi \cdot n \cdot a(n+1)(n+2) \frac{V}{I}$	$\rho_a = 2\pi \frac{b(b+a)}{a} \frac{V}{I}$	$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I}$	
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	- Ευαισθησία σε κατακόρυφες μεταβολές - Μεγάλη ένταση σήματος - Μεγάλος λόγος σήματος θορύβου	- Μέτρια ευαισθησία σε κατακόρυφες και οριζόντιες μεταβολές - Μεγαλύτερο βάθος διασκόπησης από τη Wenner	Ευαισθησία στις οριζόντιες μεταβολές	- Καλή οριζόντια κάλυψη - Μεγαλύτερη ένταση σήματος από τη διπόλου-διπόλου - Λιγότερο ευαίσθητη σε θόρυβο από την πόλου-πόλου	- Μεγάλο βάθος διασκόπησης - Μεγάλη οριζόντια κάλυψη	- Ανάλυση και ποιότητα του μοντέλου αντιστροφής συγκρίσιμα με αυτά της Wenner. - Βάθος διεξόδουσης μεγαλύτερο από της Wenner
ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	- Μέσο βάθος έρευνας - Κακή οριζόντια κάλυψη, με την αύξηση της απόστασης των ηλεκτροδίων	Ένταση σήματος μικρότερη της Wenner	- Βάθος διασκόπησης μικρότερο της Wenner - Μείωση της έντασης του σήματος με την αύξηση της απόστασης των διπόλων	- Μικρότερη ένταση σήματος από τη Wenner και Schlumberger - Ασσυμετρία στις τιμές της φαινόμενης αντίστασης μετά την αντιστροφή	Μικρή ανάλυση	Περισσότερο επιρρεπής σε θόρυβο από τη Wenner

²³ The effect of terrain topography on commonly used resistivity arrays. Panagiotis Tsourlos, John Szymanski, Grgory Tsokas. 1999

²⁴ The use of the multiple-gradient array for geoelectrical resistivity and induced polarization imaging.

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 12) παρουσιάζονται οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται σύμφωνα με τις ανάγκες της έρευνας.

Πίνακας 12. Επιλογή διάταξης με βάση το στόχο της έρευνας.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	
ΒΑΘΟΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ	MULTI-GRADIENT ΠΟΛΟΥ-ΠΟΛΟΥ
ΛΟΓΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣ ΘΟΡΥΒΟ	WENNER
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΚΑΛΥΨΗ	ΔΙΠΟΛΟΥ-ΔΙΠΟΛΟΥ ΠΟΛΟΥ-ΠΟΛΟΥ ΠΟΛΟΥ-ΔΙΠΟΛΟΥ
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΚΑΛΥΨΗ	WENNER SCHLUMBERGER

3 Κεφάλαιο τρίτο

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η μέθοδος που εφαρμόστηκε, οι ηλεκτρικές τομογραφίες που πραγματοποιήθηκαν και τέλος η ερμηνεία και η αξιολόγηση των μετρήσεων.

3.1 Εξοπλισμός

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το όργανο SYSCAL PRO και δυο πολυκάναλα καλώδια των 500 μέτρων. Για την ακριβή θέση των τομογραφιών και τη σωστή τοποθέτηση των ηλεκτροδίων χρησιμοποιήθηκε GPS.



Σχήμα 25



Σχήμα 26

Διαδικασία μετρήσεων

Πραγματοποιήθηκαν τρεις ηλεκτρικές τομογραφίες των 1000m στην περιοχή του Αγ. Αθανασίου τον Ιούνιο του 2015.

Η διεξαγωγή των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε ως εξής:

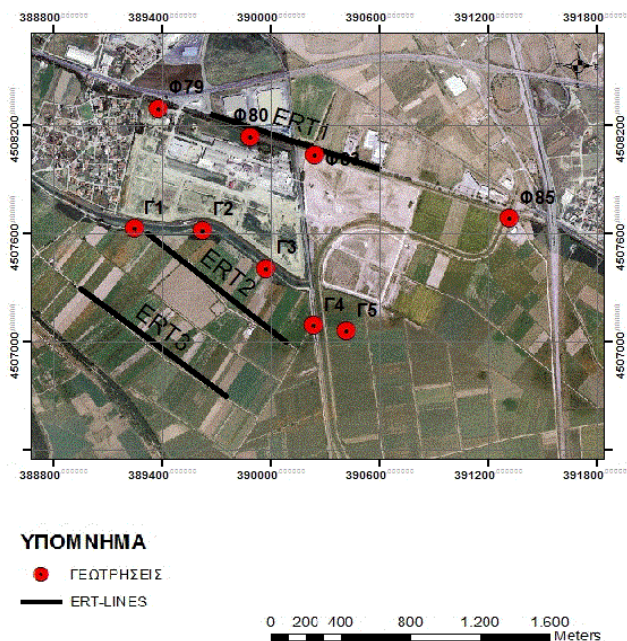
Στη μέση απόσταση τοποθετείται το κεντρικό ηλεκτρόδιο και το όργανο SYSCAL PRO, το οποίο συνδέεται με τα δυο πολυκάναλα καλώδια. Τα δυο καλώδια των 500 μέτρων στη συνέχεια ξετυλίγονται σε αντίθετες κατευθύνσεις σε ευθεία διαδρομή. Κάθε 50 μέτρα υπάρχει ένα ηλεκτρόδιο. Συνολικά τοποθετούνται 21 ηλεκτρόδια με τη χρήση μεταλλικών πασάλων, οι οποίοι εισάγονται στο έδαφος. Το κάθε ηλεκτρόδιο συνδέεται με έναν πάσαλο με τη βοήθεια μονωτικής ταινίας έτσι ώστε να επιτευχθεί η αγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος στο έδαφος. Μετά το πέρας της τοποθέτησης των ηλεκτροδίων, ελέγχεται με το όργανο η επιτυχής σύνδεσή τους. Ακολουθεί έλεγχος για σφάλματα. Στη συνέχεια ξεκινά η παροχή ρεύματος και πραγματοποιείται αυτόματη λήψη μετρήσεων.

Στην αρχή εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού, ώστε να σταλεί ηλεκτρικό ρεύμα, σε δυο ηλεκτρόδια ρεύματος και μετράται η διαφορά δυναμικού σε κάποιο άλλο ζεύγος ηλεκτροδίων, στα ηλεκτρόδια δυναμικού. Έπειτα, διαβιβάζεται 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 αυτής της διαδικασίας είναι η απεικόνιση των φαινόμενων ηλεκτρικών αντιστάσεων του υπεδάφους. Στη συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία της αντιστροφής για τη λήψη της πραγματικής εικόνας της ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους.

3.2 Θέσεις τομογραφιών

Οι θέσεις των τομογραφιών επιλέχθηκαν με κριτήριο να ελεγχθεί η ηλεκτρική αντίσταση του υπεδάφους στην περιοχή πλησίον υπαρχόντων γεωτρήσεων της περιοχής. Επίσης, λόγω του ανάγλυφου της περιοχής και της βλάστησης που επικρατεί εκεί, οι τομογραφίες πραγματοποιήθηκαν στις περισσότερο προσβάσιμες θέσεις.

AG. ATHANASIOS

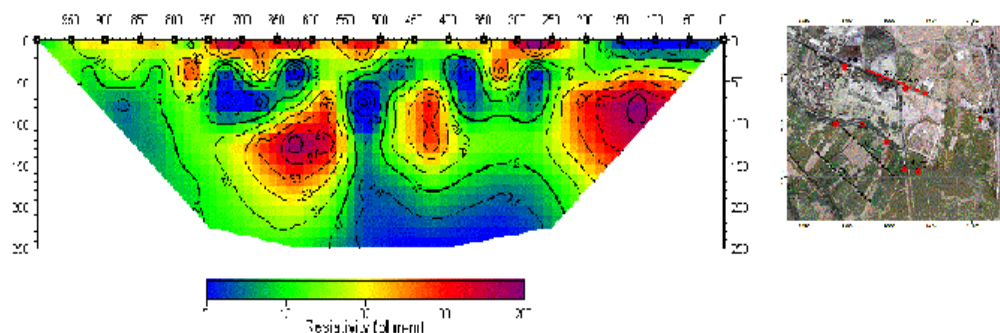


Σχήμα 27. Θέσεις όπου πραγματοποιήθηκαν οι ηλεκτρικές τομογραφίες.

3.3 Αποτελέσματα και Ερμηνεία

Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν με το πρόγραμμα αντιστροφής (DC2dPRO, Kim 2010) και προέκυψαν οι παρακάτω γεωηλεκτρικές εικόνες του υπεδάφους. Χρησιμοποιήθηκε η βέλτιστη διάταξη ηλεκτροδίων όπως αυτή προκύπτει από επιλογή μετρήσεων συνδυασμού διατάξεων, αναλόγως με τη διακριτική ικανότητα και με τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή (Tsourlos, 2015).

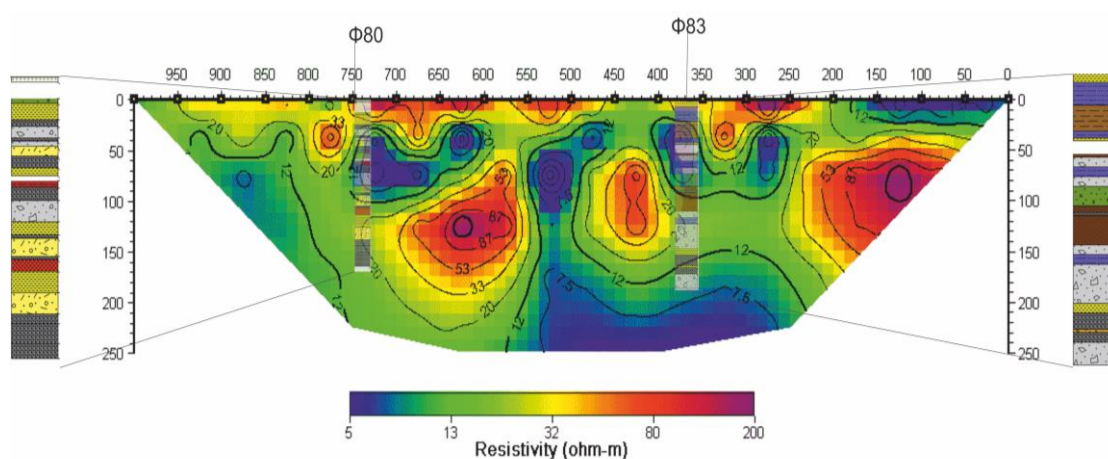
3.3.1 Ηλεκτρική Τομογραφία 1



Σχήμα 28. Γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους που προέκυψε από την ηλεκτρική τομογραφία ERT1 (αριστερά). Χάρτης όπου απεικονίζεται η θέση της ERT1(δεξιά).

Η ηλεκτρική τομογραφία 1 (ERT1) που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή βρίσκεται σε υψόμετρο +9m. Ως εκ τούτου, η εικόνα που μας δίνει η ηλεκτρική τομογραφία φτάνει περίπου σε βάθος 230m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Πραγματοποιήθηκε σε ευθεία που τέμνει τις σιδηροδρομικές γραμμές της περιοχής, παράλληλα στο οδικό δίκτυο. Σε απόσταση 500m από την αρχή εμφανίζονται πολύ χαμηλές τιμές αντίστασης, όμως το σφάλμα εκεί είναι μεγαλύτερο από τις υπόλοιπες θέσεις, λόγω των ηλεκτροφόρων καλωδίων των τρένων.



Σχήμα 29. Γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους και σύγκριση με τη λιθολογία από τις γεωτρήσεις Φ80 και Φ83.

Με βάση τις τιμές των ηλεκτρικών αντιστάσεων των πετρωμάτων, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι στα επιφανειακά στρώματα, μέχρι 20 m βάθος, υπάρχουν κάποιες εμφανίσεις σχηματισμών με υψηλές ηλεκτρικές αντιστάσεις, περίπου 850hm.m, στα 250-300m, στα 500-550m και στα 600-750m. Οι τιμές αυτές απεικονίζονται με κόκκινο και μωβ χρώμα. Οι υψηλές αυτές αντιστάσεις πιθανόν να οφείλονται στην μειωμένη υγρασία που επικρατεί στα επιφανειακά στρώματα, κατά την θερινή περίοδο κατά την οποία πραγματοποιήθηκαν οι ηλεκτρικές τομογραφίες.

Βάσει της λιθοστρωματογραφικής στήλης της γεώτρησης Φ80, η οποία βρίσκεται στα 740m από την αρχή της τομογραφίας,

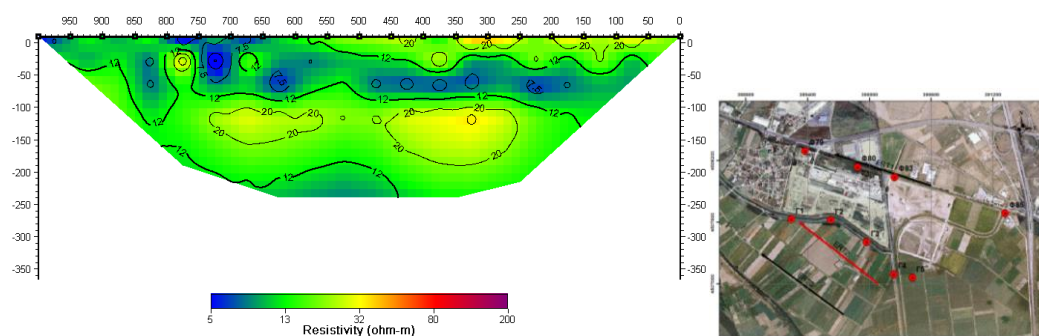
- σε βάθος 40 έως 55m και 65 έως 90m, οι αντιστάσεις απεικονίζονται με μπλε χρώμα που αντιστοιχούν σε πολύ χαμηλές τιμές, παρατηρούνται σχηματισμοί χαλικώδεις οι οποίοι υποδηλώνουν πιθανή ύπαρξη υφάλμυρης υδροφορίας.
- σε βάθος 60-65m υπάρχει εμφάνιση μαργαϊκών σχηματισμών οι οποίοι πιθανόν να οφείλονται για την υψηλή αγωγιμότητα που παρατηρείται, καθώς εμφανίζουν εγγενή αλατότητα η οποία μεταφέρεται στο υπόγειο νερό.

- σε βάθη 55-60m και 90-95m υπάρχουν αργιλικοί σχηματισμοί. Οι παρατηρήσεις αυτές εξηγούν τις πολύ χαμηλές αντιστάσεις που παρατηρούνται στα βάθη αυτά.
- Από τα 100 έως τα 170m παρατηρούνται αντιστάσεις περίπου 12 έως 30 Ohm.m (πράσινο χρώμα), οι οποίες εξηγούνται από την ύπαρξη ψαμμιτικών και χαλικωδών σχηματισμών, οι οποίοι σχετίζονται με πιθανή υδροφορία.

Σύμφωνα με τη λιθοστρωματογραφική στήλη της γεώτρησης Φ83 που βρίσκεται στα 370m, συμπεραίνουμε ότι:

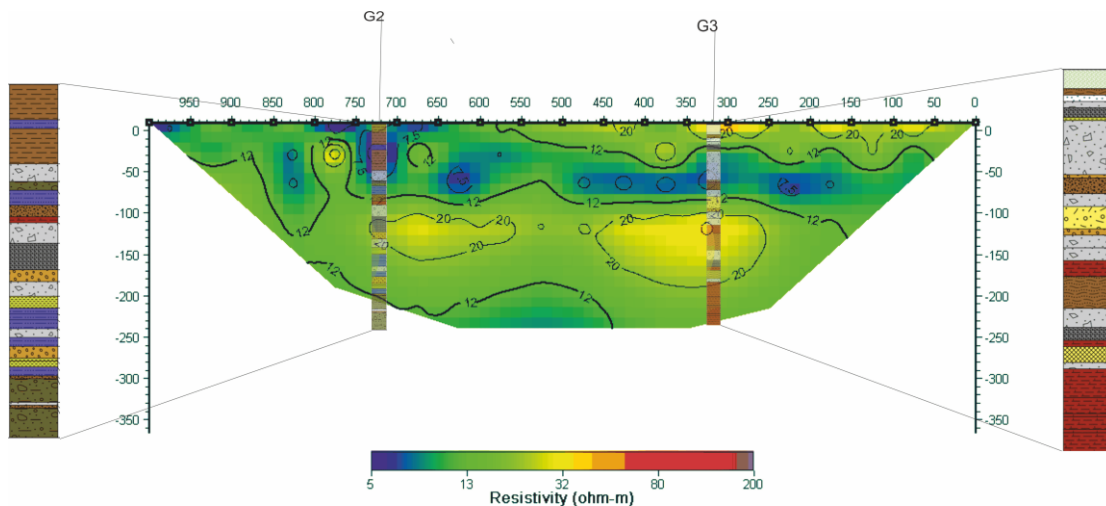
- Οι χαμηλές αντιστάσεις 5 έως 12 Ohm.m (μπλε χρώμα) που παρατηρούνται από τα 30 έως τα 90m ερμηνεύονται με την ύπαρξη αργιλικών σχηματισμών. Υπάρχει εμφάνιση σχηματισμών από χάλικες σε μικρά πάχη των 5m, τα οποία πιθανόν να εμφανίζουν υφάλμυρη υδροφορία.
- Από τα 90 έως τα 160m υπάρχουν σχηματισμοί αμμώδεις και χαλικώδεις οι οποίοι μπορεί να υδροφορούν γλυκό νερό και οι αντιστάσεις στην ηλεκτρική τομογραφία εμφανίζονται με πράσινο χρώμα, 13 έως 20 Ohm.m.
- Από τα 160m μέχρι το τέλος της τομογραφίας παρατηρούνται πολύ χαμηλές αντιστάσεις, μπλε χρώμα, σε σχηματισμούς υδροπερατούς, χαλικώδεις-αμμώδεις, επομένως συμπεραίνουμε ότι υπάρχει υφάλμυρη υδροφορία.

3.3.2 Ηλεκτρική Τομογραφία 2



Σχήμα 30. Γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους που προέκυψε από την ηλεκτρική τομογραφία ERT2 (αριστερά). Χάρτης όπου απεικονίζεται η θέση της ERT2(δεξιά).

Η ηλεκτρική τομογραφία 2 ERT2 βρίσκεται σε υψόμετρο +4m. Δεδομένα υπάρχουν μέσω των γεωτρήσεων Γ2 και Γ3, που βρίσκονται σε μικρή απόσταση από την ευθεία της τομογραφίας.



Σχήμα 31. Γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους και σύγκριση με τη λιθολογία από τις γεωτρήσεις Γ2 και Γ3.

Σύμφωνα με τη λιθοστρωματογραφική στήλη της γεώτρησης Γ2 που βρίσκεται στα 740m:

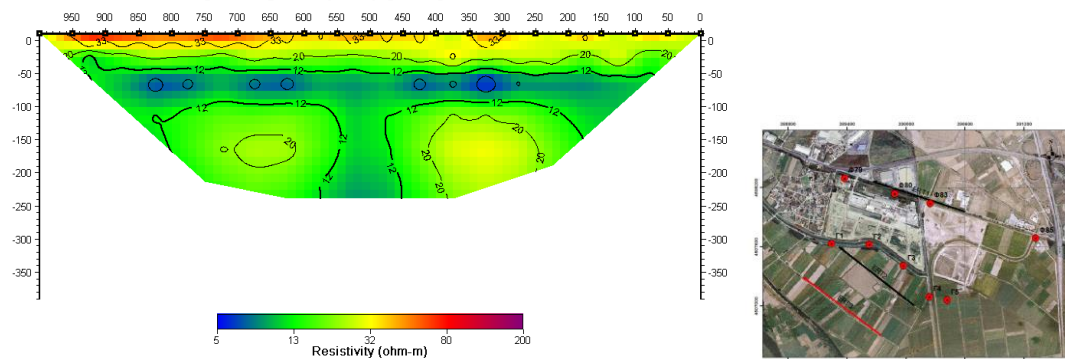
- Από το 0 έως 50m βάθος οι χαμηλές αντιστάσεις (μπλε χρώμα) σχετίζονται με την ύπαρξη αργιλικών σχηματισμών.
- Από τα 50 έως 70m βάθος οι αντιστάσεις είναι πολύ χαμηλές αλλά οι σχηματισμοί είναι χαλικώδεις και αμμώδεις, έτσι συμπεραίνουν ότι είναι πιθανό να υπάρχει υδροφορία υφάλμυρη.
- Από τα 80 έως τα 140m βάθος οι σχηματισμοί είναι υδροπερατοί, δηλαδή υπάρχουν χονδρόκοκκοι άμμοι, χαλίκια και ψηφίδες. Οι αντιστάσεις είναι περίπου στα 20 έως 30 Ohm.m (πράσινο και κίτρινο χρώμα), που ερμηνεύονται ως πιθανή υδροφορία γλυκού νερού.
- Κάτω από τα 140m οι αντιστάσεις είναι περίπου στα 12 Ohm.m, γεγονός που εξηγείται από την ύπαρξη αργιλικών σχηματισμών με παρεμβολές χαλικωδών-αμμωδών στρωμάτων μικρού πάχους.

Σύμφωνα με τη λιθοστρωματογραφική στήλη της γεώτρησης Γ3 που βρίσκεται στα 320m:

- Στα επιφανειακά στρώματα εμφανίζονται αργιικοί σχηματισμοί χαμηλών αντιστάσεων.
- Από τα 15 έως τα 80m βάθος οι αντιστάσεις που παρατηρούνται είναι πολύ χαμηλές μεταξύ 5-10 Ohm.m (μπλε χρώμα). Οι σχηματισμοί που υπάρχουν είναι περατοί, χαλικώδεις και αμμώδεις. Έτσι οι χαμηλές αντιστάσεις πιθανόν να σχετίζονται με υφάλμυρα νερά.

- Από τα 80 έως 100m οι αντιστάσεις είναι περίπου 12-20 Ohm.m (πράσινο χρώμα) και οι σχηματισμοί είναι περατοί κροκάλες, χαλίκια και άμμοι, που πιθανόν να σχετίζονται με υφάλμυρη υδροφορία.
- Από τα 100 έως τα 170m οι σχηματισμοί είναι υδροπερατοί: χαλίκια, κροκάλες, χονδρόκοκκοι άμμοι και οι αντιστάσεις είναι περίπου 30 Ohm.m (κίτρινο χρώμα), που υποδηλώνουν πιθανή υδροφορία γλυκού νερού.
- Από τα 170 μέχρι το τέλος της τομογραφίας οι σχηματισμοί είναι μαργαϊκοί, αργιλομαργαϊκοί, και οι αντιστάσεις που εμφανίζονται στην ηλεκτρική τομογραφία είναι χαμηλές.

3.3.3 Ηλεκτρική Τομογραφία 3



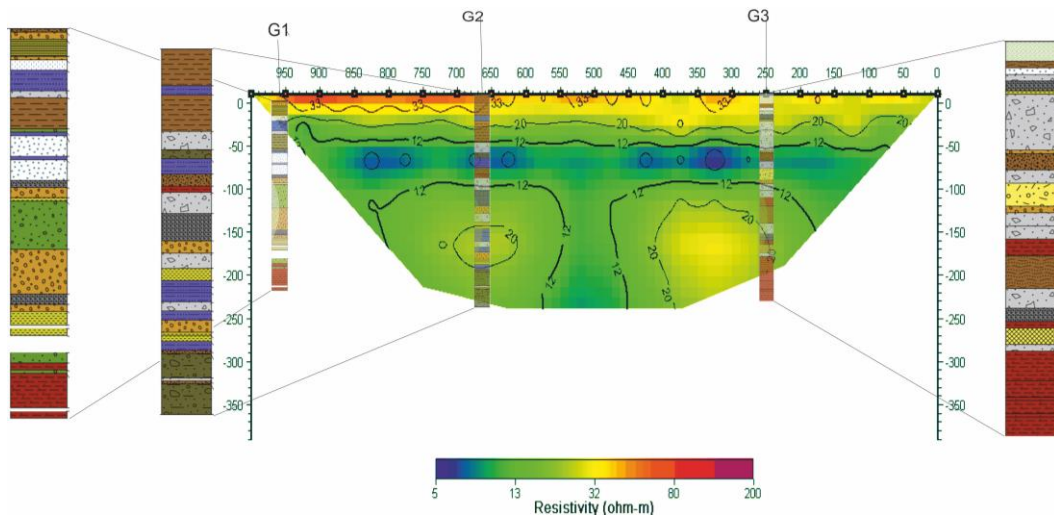
Σχήμα 32. Γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους που προέκυψε από την ηλεκτρική τομογραφία ERT3 (αριστερά). Χάρτης όπου απεικονίζεται η θέση της ERT3(δεξιά).

Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται υψηλές τιμές αντίστασης, περίπου 80Ohm.m, οι οποίες παρατηρούνται επιφανειακά από τα 650-950m και είναι πιθανό να οφείλεται στη μειωμένη υγρασία που επικρατεί στα επιφανειακά στρώματα καθώς οι ηλεκτρικές τομογραφίες πραγματοποιήθηκαν τη θερινή περίοδο.

Μέχρι το βάθος των 40m η ηλεκτρική αντίσταση είναι περίπου 30Ohm.m, όπου σύμφωνα με τις ηλεκτρικές αντιστάσεις των σχηματισμών και βάσει των γεωτρήσεων που βρίσκονται κοντά στην περιοχή, αντιστοιχεί σε άμμους και αμμούχους πηλούς, με πιθανή υδροφορία. Εμφανίσεις πιθανής υδροφορίας παρατηρούνται και σε βάθος 150-200m.

Στα 450-550m από το βάθος των 60m έως 240m παρατηρείται μια κατακόρυφη ζώνη χαμηλών αντιστάσεων που πιθανόν να σχετίζεται με ύπαρξη υφάλμυρων υδάτων.

Μέσα στη ζώνη των αργίλων στα 60 έως 100m εμφανίζεται μια ζώνη χαμηλών αντιστάσεων, που χαρακτηρίζεται ως πιθανή ζώνη υφαλμύρισης.



Σχήμα 33. Γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους και σύγκριση με τη λιθολογία από τις γεωτρήσεις Γ1, Γ2 και Γ3.

Στην τρίτη τομογραφία τα αποτελέσματα συσχετίζονται με τις λιθοστρωματογραφικές στήλες των γεωτρήσεων Γ1, Γ2 και Γ3.

Η θέση της γεώτρησης Γ1 δεν επιτρέπει την άμεση αξιοποίησή της για την βαθμονόμηση των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Σύμφωνα με την Γ2:

- Από τα 20 έως τα 50, Οι σχηματισμοί που συναντώνται είναι αργιλικοί, οι αντιστάσεις είναι χαμηλές, μεταξύ 12-30 Ohm.m., και απεικονίζονται με πράσινο έως κίτρινο χρώμα.
- Σε βάθη 50 έως 90m, οι αντιστάσεις είναι πολύ χαμηλές και απεικονίζονται στην ηλεκτρική τομογραφία με μπλε χρώμα. Οι σχηματισμοί είναι κυρίως αμμώδεις, χαλκώδεις και κάποιοι αργιλικοί αδιαπέρατοι. Όσον αφορά στους υδροπερατούς σχηματισμούς, οι χαμηλές αντιστάσεις πιθανόν να οφείλονται σε υφάλμυρη υδροφορία.
- Από τα 90 έως τα 110m οι σχηματισμοί είναι χονδρόκοκκοι άμμοι, χαλίκια και αργιλομαργαϊκοί. Οι αντιστάσεις αντιστοιχούν στο πράσινο χρώμα, περίπου 12 μέχρι 20 Ohm.m
- Από τα 110 έως 240m οι αντιστάσεις απεικονίζονται με κίτρινο έως πράσινο χρώμα και οι σχηματισμοί είναι κυρίως υδροπερατοί: χονδρόκοκκοι άμμοι, κροκάλες, χαλίκια αλλά και μικρής υδροπερατότητας, όπως λεπτόκοκκοι άμμοι.

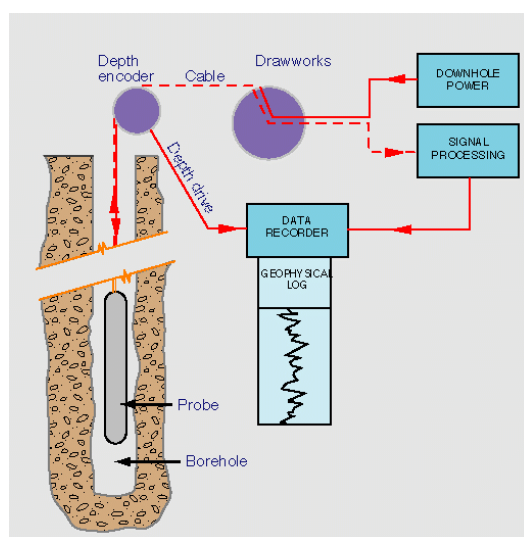
Σύμφωνα με τη λιθοστρωματογραφική στήλη της Γ3, η οποία βρίσκεται στα 250m:

- Στα πρώτα 20m βάθος οι αντιστάσεις είναι περίπου 30 Ohm.m, απεικονίζονται με κίτρινο χρώμα και οι σχηματισμοί είναι άμμοι με απολιθώματα.
- Από τα 20 έως τα 50m, παρατηρούνται χαμηλότερες αντιστάσεις, περίπου 10 έως 30 Ohm.m (πράσινο χρώμα), και αντιστοιχούν σε περατούς χαλικώδεις σχηματισμούς, ικανούς για υδροφορία.
- Από τα 50 έως 80m, παρατηρούνται πολύ χαμηλές αντιστάσεις (μπλε χρώμα), ενώ οι σχηματισμοί είναι κυρίως αμμώδεις και χαλίκια, που υποδηλώνουν πιθανή υφάλμυρη υδροφορία.
- Από τα 80 έως τα 140m, οι σχηματισμοί είναι: άμμοι, χαλίκια, κροκάλες και μάργα. Παρατηρείται αύξηση των αντιστάσεων (πράσινο χρώμα).
- Κάτω από τη ζώνη αυτή και σε βάθος 140-190m εμφανίζονται σχηματισμοί με μεγαλύτερες αντιστάσεις, μαργαϊκοί, χαλικώδεις, αμμώδεις, με κίτρινο χρώμα που απεικονίζουν στρώμα με πιθανή υδροφορία γλυκού νερού.

4 Κεφάλαιο τέταρτο

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η αξιολόγηση των δεδομένων από τις γεωτρήσεις και από τις γεωφυσικές διαγραφίες που πραγματοποιήθηκαν σε αυτές. Τα δεδομένα αυτά αξιολογούνται μαζί με αποτελέσματα γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης που πραγματοποιήθηκε με στόχο τον εντοπισμό υπόγειας υδροφορίας σε κτηνοτροφική μονάδα στην περιοχή Αγ. Αθανασίου-Ανατολικού Θεσσαλονίκης.

4.1 Μέθοδος γεωφυσικής διαγραφίας



Σχήμα 34²⁵. Σχηματική απεικόνιση της γεωφυσικής διαγραφίας.

Η γεωφυσική γεωτρήσεων είναι επιστήμη που ασχολείται με την καταγραφή και ανάλυση των μετρήσεων των φυσικών ιδιοτήτων μέσα σε γεωτρήσεις ή σε δοκιμαστικές γεωτρήσεις. Μέσα σε αυτές τοποθετούνται ηλεκτρόδια τα οποία μετρούν διάφορες ιδιότητες και συλλέγουν δεδομένα τα οποία παρουσιάζονται γραφικά. Το σύστημα γεωφυσικών διαγραφιών συνίσταται από ηλεκτρόδια, καλώδια, μονάδες ισχύος και επεξεργασίας, και μονάδες καταγραφής δεδομένων.

²⁵ <http://www.geologyforinvestors.com/down-hole-geophysics-mineral-exporation/>

Η μέθοδος συνίσταται στην εισαγωγή ενός αισθητήρα μέτρησης, μέσα στη γεώτρηση, η οποία ανασύρεται από τον πυθμένα προς την επιφάνεια και καταγράφει τις φυσικές παραμέτρους των διάφορων γεωλογικών στρωμάτων.

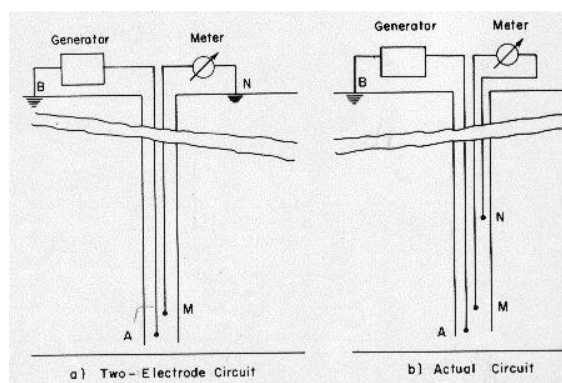
Οι γεωφυσικές διαγραφίες παρέχουν πλήθος πληροφοριών κρίσιμες για την καλύτερη κατανόηση των συνθηκών του υπεδάφους για έρευνες υδρογεωλογικές και περιβαλλοντικές.

Οι πληροφορίες που παρέχονται δίνουν τη δυνατότητα:

- να εντοπιστούν τα υδροφόρα στρώματα
- να εντοπιστούν τα στρώματα λεπτής άμμου
- να εξακριβωθεί εάν η γεώτρηση έχει νερό
- να εντοπιστεί η ακριβής θέση των υφάλμυρων υδροφορέων

Μετρήσεις με τη μέθοδο των γεωφυσικών διαγραφιών:

- φυσική ακτινοβολία Γάμμα (GAMMA):
 - Καταγραφή της ποσότητας της γάμμα ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τα πετρώματα γύρω από τη γεώτρηση. Αργιικοί σχηματισμοί εκπέμπουν συνήθως περισσότερη Γάμμα ακτινοβολία.
- Φυσικού δυναμικού (SP):
 - Καταγραφή του δυναμικού ή της τάσης που αναπτύσσεται μεταξύ του περιεχόμενου ρευστού και του περιβάλλοντος πετρώματος. Χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της λιθολογίας και της ποιότητας του νερού.
- Διαγραφή ηλεκτρικής αντίστασης (Normal resistivity logs):



Σχήμα 35²⁶ . Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου γεωφυσικής διαγραφίας.

²⁶ <https://www.spec2000.net/07-eslog.htm>

- Καταγραφή της ηλεκτρικής αντίστασης του περιβάλλοντος της γεώτρησης και των γύρω σχηματισμών, μέσω ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού. Αναλόγως της απόστασης μεταξύ των ηλεκτροδίων διακρίνεται σε
 - short-normal resistivity (SHN), όπου η τυπική απόσταση είναι 16 ίντσες (40,64cm)
 - long normal resistivity (LON), όπου η τυπική απόσταση είναι 64 ίντσες (162,56 cm).
- Διαγραφή ηλεκτρικής αντίστασης μονού σημείου (SPR):
 - Καταγραφή της ηλεκτρικής αντίστασης από σημεία στο εσωτερικό της γεώτρησης σε μια ηλεκτρική γείωση στο έδαφος στην επιφάνεια της Γής. Είναι χρήσιμη στον καθορισμό της λιθολογίας, της ποιότητας του νερού και των θέσεων των ζωνών διάρρηξης.

4.2 Αποτελέσματα γεωφυσικών διαγραφιών

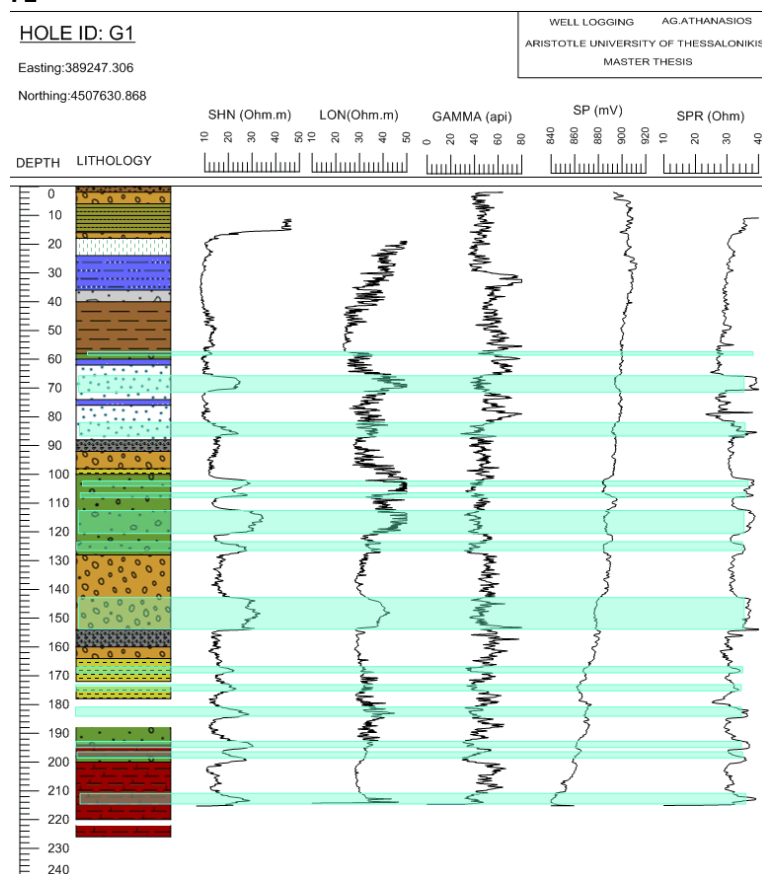
Οι γεωφυσικές διαγραφίες πραγματοποιήθηκαν στις γεωτρήσεις Γ1, Γ3, Γ4 και Γ5 το έτος 1997 και βάσει των στοιχείων τους σχεδιάστηκε η σωλήνωση των γεωτρήσεων.

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις: SHN, LON, GAMMA, SP και SPR

Επίσης γίνεται σύγκριση της λιθολογίας των γεωτρήσεων με τα δεδομένα των διαγραφιών. Υδροφορία αναμένεται σε θέσεις όπου σημειώνεται αύξηση της τιμής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ένδειξη αδρόκοκκου υλικού) σε συνδυασμό μείωσης της απορρόφησης της ακτινοβολίας γ (ένδειξη απουσίας αργιλικών ορυκτών).

Στα σχήματα που ακολουθούν, τα αναμενόμενα υδροφόρα στρώματα παρουσιάζονται με γαλάζιες περιοχές που τέμνουν οριζόντια την λιθοστρωματογραφική στήλη και τα διαγράμματα της διαγραφίας.

Γ1



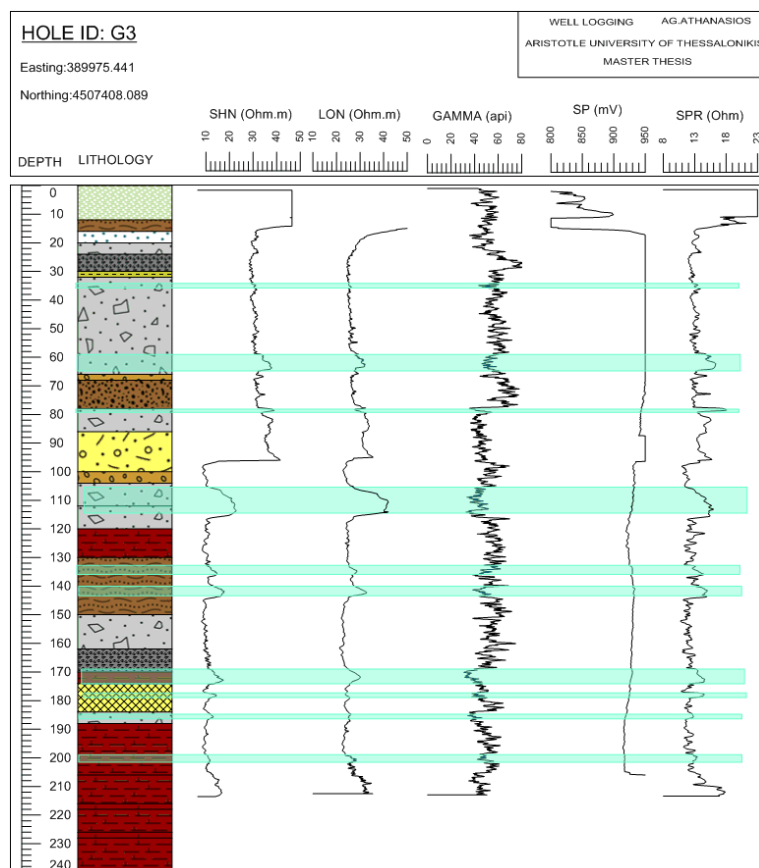
Σχήμα 36. Αριστερά στο σχήμα παρουσιάζεται η λιθολογική στήλη και δίπλα οι καμπύλες που προέκυψαν από τα δεδομένα των γεωφυσικών διαγραφιών από μετρήσεις SHN, LON, GAMMA, SP και SPR.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι:

- Οι μετρήσεις των ηλεκτρικών διαγραφιών πραγματοποιήθηκαν μέχρι το βάθος των 216m ενώ η διάτρηση της γεώτρησης ήταν μέχρι 232m, λόγω μη περαιτέρω διάβασης καθόδου των οργάνων μέτρησης στη γεώτρηση.
- Η γεώτρηση χαρακτηρίζεται από αμμο-αργιλικά χαλαρά πετρώματα σε όλο το βάθος της μέτρησης, ενδιάμεσα στρώματα αργίλων πάχους μέχρι και τεσσάρων μέτρων.
- Οι υδροφόροι οριζόντες που έχουν διατηρηθεί βρίσκονται στα παρακάτω βάθη και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα με τις αντίστοιχες αγωγιμότητες :

Πίνακας 13. Βάθος υδροφόρων οριζόντων με τις αντίστοιχες ηλεκτρικές αγωγιμότητες.

ΒΑΘΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ (m)	ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
65-70	610-720
83-87	570-660
101-107	660-780
110-120	640-750
124-128	640-750
142-153	690-810
163-175	660-780
180-185	550-640
195-200	660-780
200-214	780-920

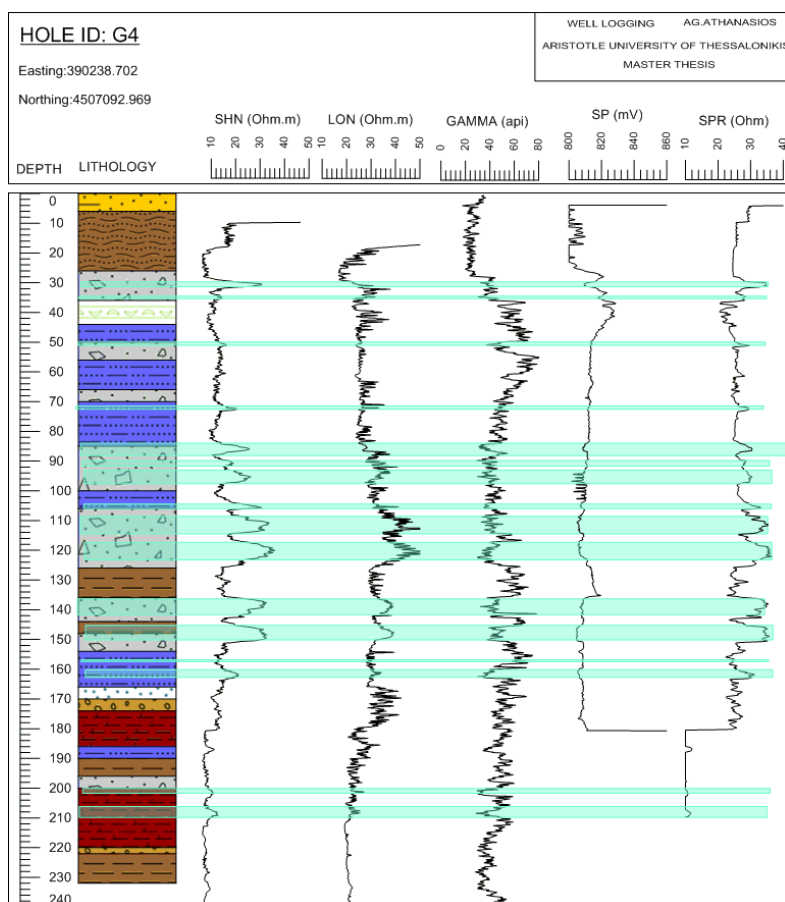


Σχήμα 37. Αριστερά στο σχήμα παρουσιάζεται η λιθολογική στήλη και δίπλα οι καμπύλες που προέκυψαν από τα δεδομένα των γεωφυσικών διαγραφών από μετρήσεις SHN, LON, GAMMA, SP και SPR.

Συμπεράσματα από τις γεωφυσικές διαγραφές που πραγματοποιήθηκαν στη γεώτρηση Γ3:

- Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μέχρι βάθος 213m ενώ η γεώτρηση έχει βάθος 246m.
- Οι σχηματισμοί που συναντήθηκαν ήταν αμμώδεις, χαλκώδεις χαλαροί σχηματισμοί, μαργαϊκοί και αργιλώδεις.

Γ4



Σχήμα 38. Αριστερά στο σχήμα παρουσιάζεται η λιθολογική στήλη και δίπλα οι καμπύλες που προέκυψαν από τα δεδομένα των γεωφυσικών διαγραφών από μετρήσεις SHN, LON, GAMMA, SP και SPR.

Συμπεράσματα που προέκυψαν για την Γ4:

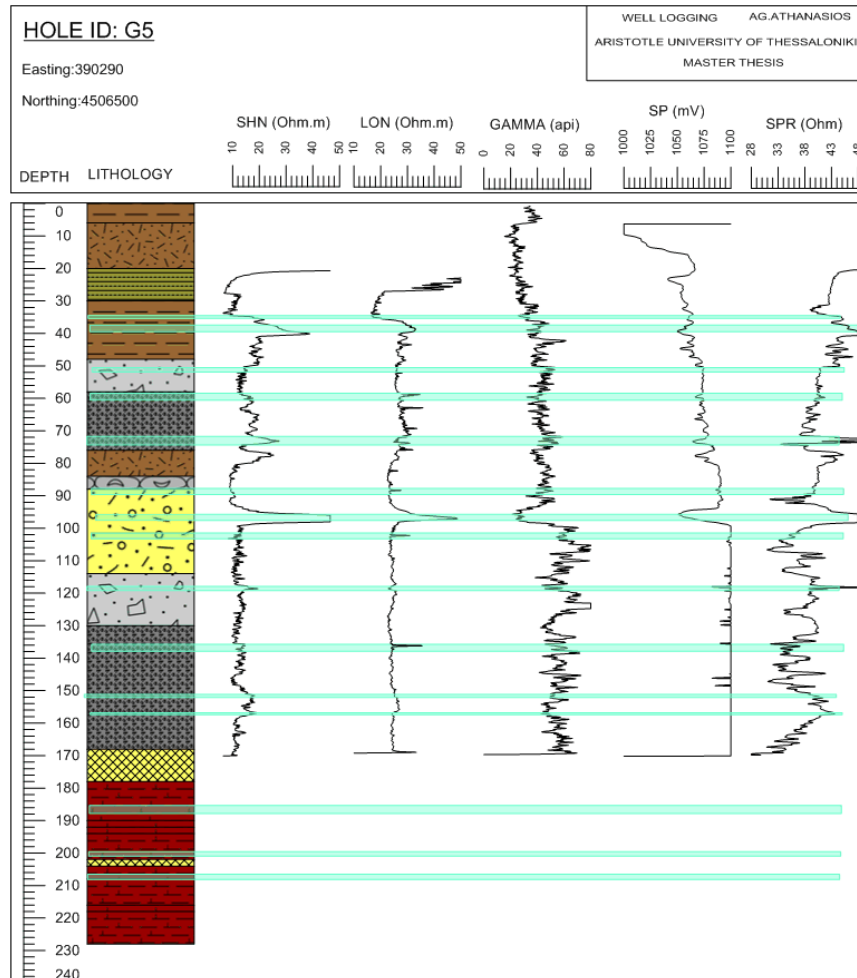
- Οι μετρήσεις των ηλεκτρικών διαγραφών πραγματοποιήθηκαν μέχρι βάθος 232m, λόγω μη περαιτέρω διάβασης καθόδου των οργάνων μέτρησης στη γεώτρηση.
- Οι υδροφόροι ορίζοντες που διατρήθηκαν βρίσκονται στα βάθη που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα με τις αντίστοιχες αγωγιμότητες.

Πίνακας 14

ΒΑΘΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ (m)	ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ(μS/cm)
85-89	750-890
90-99	700-820
105-126	820-960
137-152	920-1090
160-167	790-930
186-187	800-910
201-203	780-900
207-210	820-970

- Η γεώτρηση χαρακτηρίζεται από αμμο-αργιλικά χαλαρά πετρώματα σε όλο το βάθος μέτρησης με ενδιάμεσα στρώματα αργίλων πάχους έως και τέσσερα μέτρα.

Γ5



Σχήμα 39. Αριστερά στο σχήμα παρουσιάζεται η λιθολογική στήλη και δίπλα οι καμπύλες που προέκυψαν από τα δεδομένα των γεωφυσικών διαγραφών από μετρήσεις SHN, LON, GAMMA, SP και SPR.

Συμπεράσματα από τις γεωφυσικές διαγραφές που πραγματοποιήθηκαν στην γεώτρηση Γ5:

- Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μέχρι βάθος 170m λόγω μη περαιτέρω καθόδου διάβασης των οργάνων.
- Οι υδροφορείς που συναντήθηκαν ήταν μικρού πάχους και υψηλής αγωγιμότητας.
- Οι σχηματισμοί που συναντήθηκαν ήταν κυρίως χαλαρά πετρώματα αμμοαργιλικά, χαλίκια και άργιλοι.

Για τις γεωτρήσεις αυτές υπάρχουν επιπρόσθετα δεδομένα, σύμφωνα με τα οποία:

- Οι γεωτρήσεις κατασκευάστηκαν το 1997 επί του αναχώματος νότια των εγκαταστάσεων της ΜΕΛ. Το μέσο βάθος διάτρησης κυμάνθηκε μεταξύ 230-250m και το μέσο βάθος σωλήνωσης στα 195-225m με περίφραξη των πρώτων 70m.
- Έως τα 170m διατρήθηκαν σύγχρονα ιζήματα, ποικίλης σύστασης και κοκκομετρίας, και επάλληλοι και υπό πίεση υδροφορείς.
- Μετά τα 170m διατρήθηκε ψαμμιτομαργαϊκή σειρά, στην οποία το νερό χαρακτηρίζεται ως καλύτερης ποιότητας από αυτό των επιφανειακών υδροφορέων.
- Η ποιότητα είναι καλύτερη στη Γ1, λιγότερο καλή στη Γ3 και χειροτερεύει νοτιότερα προς τη Γ4.
- Οι γεωτρήσεις είναι εκτός λειτουργίας λόγω βαθμιαίας ποιοτικής υποβάθμισης.
- Η γεώτρηση Γ5 δεν υπάρχει, κατασκευάστηκε νότια της Γ4 και επιχώθηκε από εργασίες στη σιδηροδρομική γραμμή. Δεν αξιοποιήθηκε ποτέ λόγω υψηλής περιεκτικότητας χλωριώντων.

4.2.1 Γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση

Στην περιοχή, σε κοντινή απόσταση από της ηλεκτρικές τομογραφίες, πραγματοποιήθηκε μια βυθοσκόπηση, σε θέση που παρουσιάζεται στον παρακάτω τοπογραφικό χάρτη.

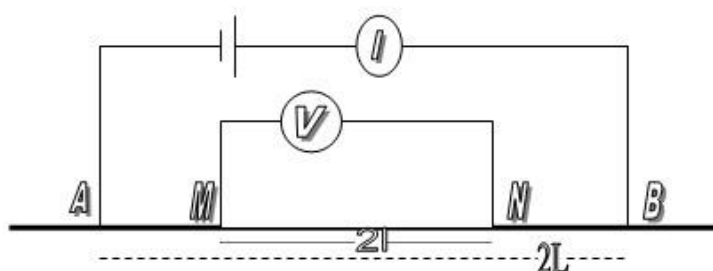


Σχήμα 40. Τοπογραφικός χάρτης.

4.2.2 Μέθοδος γεωηλεκτρικής βυθοσκόπησης

Η μέθοδος αυτή ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων ηλεκτρικής αντίστασης, κατά τις οποίες παράγεται στο έδαφος με τεχνητό τρόπο ηλεκτρικό πεδίο. Οι ιδιότητες του πεδίου αυτού διαμορφώνονται από την δομή του υπεδάφους και για το λόγο αυτό ο καθορισμός των ιδιοτήτων αυτών με μετρήσεις του δυναμικού οδηγεί στον καθορισμό της δομής του υπεδάφους.

Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε η διάταξη Schlumberger.



Σχήμα 41. Απεικόνιση σχηματική της διάταξης Schlumberger.

Κάθε βυθοσκόπηση αποτελείται από σειρά μετρήσεων κατά τις οποίες αυξάνεται λογαριθμικά η απόσταση των ηλεκτροδίων ρεύματος ($AB/2$) ενώ η απόσταση των ηλεκτροδίων δυναμικού ($MN/2$) αυξάνεται συνήθως όταν το δυναμικό που μετράται πλησιάζει την ακρίβεια του οργάνου μέτρησης. Αυξανόμενης της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος αυξάνεται και το βάθος διεϊσδυσής του (Σχήμα 41). Συνεπώς, η φαινόμενη αντίσταση που υπολογίζεται διαμορφώνεται με βάση κάθε φορά από τα βαθύτερα γεωλογικά στρώματα που διαρρέονται από το ηλεκτρικό ρεύμα.

4.2.3 Αποτελέσματα βυθοσκόπησης

Στην βυθοσκόπηση συναντώνται πέντε (5) γεωηλεκτρικοί σχηματισμοί.

- Από την επιφάνεια και με 5 μέτρα πάχος συναντάται σχηματισμός με αντίσταση 28.4 Ohm-m. Αντιστοιχεί στο εδαφικό κάλυμμα και αποτελείται κυρίως από άμμους και χαλίκια.
- Ακολουθεί σχηματισμός (36 Ohm-m) πάχους 4.4 μέτρων που αντιστοιχεί σε κροκάλες και χαλίκια.
- Στη συνέχεια συναντάται σχηματισμός αντίστασης 0,85 Ohm-m με πάχος περίπου 31 μέτρων. Ο σχηματισμός αυτός με βάση την τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι πληρωμένος από θαλασσινό νερό.
- Στο βάθος των 40 μέτρων συναντάται σχηματισμός με αντίσταση 6 Ohm.m. Η αντίσταση αυτή δηλώνει ότι κατά βάση είναι αργιλικός σχηματισμός με αυξημέ-

νες πιθανότητες να περιέχει υφάλμυρο νερό σε στρώσεις που βρίσκονται σε εναλλαγές με αργιλικά. Το πάχος του σχηματισμού αυτού είναι σημαντικά μεγάλο και υπολογίζεται περίπου στα 170 μέτρα.

- Ο βαθύτερος σχηματισμός που συναντάται εμφανίζει αντίσταση 7.7 Ohm.m. Αναμένεται κατά βάση αργιλικός με προσμείξεις διάσπαρτων κροκαλών και στρώσεων άμμου. Πιθανό να συναντώνται υδροφόρα στρώματα μικρού πάχους.

Συμπεράσματα

Με βάση τα στοιχεία της ερμηνείας και αξιολόγησης των μετρήσεων σε σχέση με την γεωλογική δομή της περιοχής έρευνας προκύπτει ότι:

1. Από την επιφάνεια και μέχρι το βάθος των 9 μέτρων αναμένεται φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας καλής ποιότητας νερού από πλευράς υφαλμύρωσης.
2. Στα 9 μέτρα βάθος συναντώνται οι θαλάσσιοι σχηματισμοί και μέχρι το βάθος των 40 μέτρων είναι πληρωμένοι με θαλασσινό νερό.
3. Μέχρι το βάθος των 170 μέτρων οι σχηματισμοί που συναντώνται δεν εμφανίζουν πλήρωση με θαλασσινό νερό. Παρ' όλα αυτά όμως η χαμηλή τιμή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που εμφανίζουν δεν χαρακτηρίζονται σαν ενδεικτικές υψηλής υδροφορίας αφού δηλώνουν κατά βάση αργιλικούς σχηματισμούς. Από την άλλη δεν αποκλείεται η αγωγιμότητα του υπόγειου νερού να έχει σχετικά μεγάλη τιμή και να συμβάλει έτσι στην διαμόρφωση χαμηλής τιμής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.
4. Ο βαθύτερος σχηματισμός εμφανίζει σχετικά μεγαλύτερη τιμή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης γεγονός που δηλώνει την συμμετοχή περισσότερων αδρόκοκκων υλικών και νερό χαμηλότερης αγωγιμότητας χωρίς όμως και πάλι να προσλαμβάνει τιμές που να επιτρέπουν ασφαλή συμπεράσματα σε σχέση με την αναμενόμενη ειδική παροχή ή αγωγιμότητα του περιεχόμενου νερού.

5 Κεφάλαιο πέμπτο

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν για την περιοχή μελέτης καθώς επίσης και ορισμένες προτάσεις.

5.1 Συμπεράσματα - προτάσεις

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή του Αγίου Αθανασίου η οποία απέχει από τη θάλασσα περίπου 20km. Δημιουργήθηκε κατά το πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν από τις αποθέσεις των ποταμών Αξιού και Γαλλικού. Ολόκληρη η περιοχή καλύπτεται από ιζήματα του Νεογενούς στα μεγαλύτερα βάθη και του Τεταρτογενούς που αποτελούνται κυρίως από αργίλους, χαλίκια, άμμους και μάργες. Η κάλυψη των αναγκών για γλυκό νερό γίνεται κυρίως από υπόγειους υδροφορείς.

Με τις ηλεκτρικές τομογραφίες που εφαρμόστηκαν προέκυψαν γεωηλεκτρικά μοντέλα του υπεδάφους. Στη συνέχεια με τη βοήθεια των λιθοστρωματογραφικών στηλών, από τις γεωτρήσεις που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από της ηλεκτρικές τομογραφίες, έγινε προσπάθεια βαθμονόμησης των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που παρουσίασαν τα μοντέλα με τους γεωλογικούς σχηματισμούς που εμφανίστηκαν στις γεωτρήσεις.

Βάσει των γεωτρήσεων υπάρχουν σχηματισμοί με πιθανή υδροφορία γλυκού νερού, κάτι όμως που δεν παρατηρείται, καθώς οι σχηματισμοί αυτοί και με βάση τα ιστορικά δεδομένα, εμφανίζουν αλατότητα η οποία μεταφέρεται στο νερό, καθιστώντας το υφάλμυρο.

Τα επίπεδα των αντιστάσεων που βρέθηκαν από τις ηλεκτρικές τομογραφίες είναι αναμενόμενα σε σχέση με τα ιζήματα και το χημισμό, καθώς έχουν επιβεβαιωθεί από τις γεωτρήσεις υφάλμυρα νερά, τα οποία οδήγησαν στο να κλείσουν κάποιες από τις γεωτρήσεις, με αποτέλεσμα να λειτουργούν πλέον μόνο οι Φ80 και η Φ85.

Με τις ηλεκτρικές διαγραφίες που είχαν πραγματοποιηθεί στις γεωτρήσεις Γ1,Γ3,Γ4 και Γ5 καθώς επίσης και με τα δεδομένα της βυθοσκόπησης, έγινε προσπάθεια περαιτέρω ερμηνείας των κατάστασης των υπόγειων υδροφορέων της περιοχής.

Έτσι, συμπεραίνουμε ότι στην περιοχή υπάρχουν επιφανειακοί υδροφορείς και βαθύτεροι υπό πίεση υδροφορείς, οι οποίοι εμφανίζουν υφάλμυρα υπόγεια ύδατα, εκτός από ορισμένες περιπτώσεις όπου υπάρχει υπόγεια υδροφορία γλυκού νερού, όπως προέκυψε για τις γεωτρήσεις Γ2 και Φ80. Η υφαλμύριση προέκυψε κυρίως ως αποτέλεσμα εγγενούς ρύπαν-

σης, καθώς στην περιοχή επικρατούσαν θαλάσσιες συνθήκες μέχρι το πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν. Οι μαργαϊκοί σχηματισμοί μεταφέρουν άλατα όταν έρχονται σε επαφή με το υπόγειο νερό με αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται η ποιότητά του.

Η περιοχή μελέτης είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος και χρήζει περαιτέρω μελέτης, καθώς αποτελεί περιοχή με αγροτική και βιομηχανική δραστηριότητα οι οποίες στηρίζονται κατά κύριο λόγο στο υπόγειο νερό το οποίο είναι επιβαρυνμένο. Πριν την κατασκευή οποιουδήποτε υδρομαστευτικού έργου στην περιοχή προτείνεται να γίνουν περαιτέρω ηλεκτρικές τομογραφίες.

Επισημαίνεται ότι στις γεωτρήσεις των οποίων τα στοιχεία αξιοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα, παρατηρήθηκε αυξημένη αγωγιμότητα των αντλούμενων υδάτων παρ' ότι είχε προηγηθεί γεωφυσική διαγραφή της οποίας ο στόχος είναι η βέλτιστη τοποθέτηση φιλτροσωλήνων στη γεώτρηση για την διασφάλιση της ποιότητας του νερού.

Από την αξιολόγηση των δεδομένων των γεωηλεκτρικών τομογραφιών, που σημειώνεται ότι πρόκειται για επιφανειακές μετρήσεις, εκτιμήθηκαν με σημαντικό βαθμό διακριτικής ικανότητας, τα υδροφόρα στρώματα και με βάση τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά.

Συνεπώς, και με δεδομένο ότι η προστασία των υδάτων από περαιτέρω υποβάθμιση, που μπορεί να προκύψει από την υπεράντληση και την διάθεση ρυπασμένων υδάτων, είναι άμεσης προτεραιότητας, πιστεύεται ότι η πρότερη επιφανειακή γεωφυσική έρευνα πριν από κάθε απόπειρα ανόρυξης νέων υδρογεωτρήσεων στην περιοχή είναι επιβεβλημένη.

6 Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

Βουτσά Δ., Διδακτορική Διατριβή (1993): «Μελέτη και χαρακτηρισμός των υπογείων νερών της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης». Θεσσαλονίκη. p.34-37.

Ολοκληρωμένος Ενεργειακός Σχεδιασμός 2013-2020: «Σχέδιο Δράσης για την Αειφόρο Ενέργεια, Δήμος Χαλκηδόνας». Ιανουάριος 2013. p.7-14.

Κουτσουρέλης, Σταμάτης, Καλομοίρη, Βασιλείου: «Προέλευση των Υφάλμυρων Νερών στους Καρστικούς Σχηματισμούς της Λεκάνης Θηβών». 10ο Διεθνές Υδρογεωλογικό Συνέδριο. Πρακτικά Συνεδρίου, Τόμος 2^{ος}. p.173.

Κουτσομάρκος Α., Κουτσομάρκος Κ., Διπλωματική εργασία(2012): «Διερεύνηση της αντίστασης γείωσης στηριγμάτων –θεμελίων φωτοβολταϊκών πάνελ μέσω του λογισμικού προσομοίωσης COMSOL Multiphysics». Θεσσαλονίκη.

Αψηλίδης Ν., Διπλωματική Εργασία (Νοέμβριος 2014): «Διερεύνηση Πλημμυρικής Επικινδυνότητας στον Αξιό ποταμό». Θεσσαλονίκης. p.10-12

Ν.Π.Νικολαΐδης, Α.Καραγεωργής, Β.Καψιμάλης, Ν.Σκουλικίδης, Π.Δρακοπούλου, Χ.Κοντογιάννης, Κ.Πάγκου, Η.Behrendt: «Διαχείριση των Εκπομπών των Θρεπτικών του Αξιού ποταμού και Θερμαϊκού Κόλπου». Σελ. 337.

Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας: «Τεύχος Αναγκαστικών Απαλλοτριώσεων και Πολεοδομικών Θεμάτων». Αρ. Φύλλου 31, 28 Ιανουαρίου 2009.

ΒΙ.ΠΑ.ΘΕ. (2008): «Κανονισμός λειτουργίας σιδηροδρομικού σταθμού Φόρτωσης-Εκφόρτωσης εμπορευμάτων και container». Νοέμβριος.

Διπλωματική Εργασία(2004-2005): «Καταγραφή και χαρακτηρισμός των ρυπογόνων βιομηχανιών του νομού Θεσσαλονίκης». Θεσσαλονίκη.

Ναρασάνη Ε., Διπλωματική εργασία (Ιούνιος 2009): «Χωροταξική προσέγγιση και διαχείριση- προστασία του Δέλτα Αξιού- Λουδία- Αλιάκμονα και της Αλυκής Κίτρους». Βέροια. p.33 ,45, 85-86.

Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας: Τεύχος Δεύτερο. Αρ. Φύλλου 2257, 5 Νοεμβρίου 2008 «Έγκριση Περιφερειακού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας».

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (2014): «Έλεγχος χημικής ποιότητας αρδευτικών υδάτων (επιφανειακών και υπόγειων) σε κλίμακα λεκανών απορροής ποταμών Μακεδονίας- Θράκης και Θεσσαλίας. Αποτελέσματα λεκάνης Αξιού, Υδρογεωλογικά στοιχεία». p.4-9, p. 11-18, p.23.

Ειδική Γραμματεία Υδάτων: «Σχέδιο διαχείρισης των λεκανών απορροής των ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος κεντρικής Μακεδονίας». Αθήνα.p.124, p. 192-193.

Βουδούρης Κ. (2009): «Υδρογεωλογία περιβάλλοντος. Υπόγεια νερά και περιβάλλον». Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη

Βουδούρης, Κ. (2015): «Εκμετάλλευση & Διαχείριση Υπόγειου Νερού». Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σελ. 507.

Τσούρλος Π., Βαργεμέζης Γ. Παρουσιάσεις Περιβαλλοντική Γεωφυσική.

Βαργεμέζης Γ.(Ιούλιος 2012): «Γεωφυσική έρευνα στη μονάδα ενσταυλισμού αγελάδων περιοχής Αγίου Αθανασίου με τη μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης». Θεσσαλονίκη.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Ahzebobor P. Aizebeokhai , Kehinde D. Oyeyemi(October 2014): «*The use of the multiple-gradient array for geoelectrical resistivity and induced polarization imaging*». Department of Physics, College of Science and Technology, Covenant University, Ota, Ogun State, Nigeria. Journal of Applied Geophysics, Volume 111, p. 364-376.

Dr. M.H.Loke (February,2000): «*Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies*»,p.12-19.

Prave Chopra, Éva Papp and David Gibson: «*Geophysical well logging*». Department of Geology, Australian National University, Canberra.

Cyril Chibueze Okpoli (August 2013): «*Sensitivity and Resolution Capacity of Electrode Configurations*». Department of Geology and Applied Geophysics, Faculty of Science, Adekunle Ajasin University, Nigeria. Academic Editor: Francesco Soldovieri

A.P. Aizebeokhai. (July, 2007): «*Geoelectrical Resistivity Imaging in Environmental Studies*». Ghana, Africa.

R. Kirsch(2006): «*Groundwater Geophysics. A tool for hydrogeology*».p.9-12, p.86-111.

S. Poulos, A. Papadopoulos, M.B. Collins(1993): «*Deltaic propagation in Thermaikos Bay, Northern Greece and its Socio-Economical Implications*». Department of Oceanography, The University, Southampton. Thessaloniki.

Thomas Wonik and Klaus Hinsby: «*Borehole logging in hydrogeology*». p.108-109, p.113,116,119.

Ahzebobor Philips Aizebeokhai (2014): «*Assessment of soil salinity using electrical resistivity imaging and induced polarization methods*». Nigeria.

K.Knödel, G. Lange, H.-J. Voigt(2007): «*Environmental Geology, Handbook of field methods and case studies*». Editor: BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE. p.218

University of St Andrews: «*Applied Geophysics for Groundwater Studies*». P.1-14

Gregory N. Tsokas, George Vargemezis, Panagiotis Tsourlos, Alexandros Stambolidis, Ilias Fikos, Georgios Tassis, Stamatios Daskalakis(2009): «*Geophysical investigations at the Acropolis of ancient Eleon (modern Arma) in eastern Boeotia*».

Bonazountas Markos, Vasilopoulos Vasilis, Leivadarou Jenny (2006): «*Registration for information assessment for the integral management of the Axios-Vardar river basin*». Athens.

Panagiotis Tsourlos, John Szymanski, Gregory Tsokas (1999): «*The effect of terrain topography on commonly used resistivity arrays*».

A.P Karageorgisa, N.P Nikolaidisb, , H Karamanosc, , N Skoulikidisa (2003): «*Water and sediment quality assessment of the Axios River and its coastal environment*».

Διαδικτυακοί τόποι (Web Sites)

<http://ny.water.usgs.gov/projects/bgag/intro.text.html> (*United States Geological Survey, Water Resources of New York*)

<http://www.orykta.gr/geologia-oryktologia/geologia-elladas>

<http://sos-axios.blogspot.gr/2009/09/blog-post.html>

<http://www.livescience.com/39625-aquifers.html>

<http://www.eeescience.utoledo.edu/faculty/stierman/EEG/notes/FT.htm>

<http://greek-weather.org/viewtopic.php?f=158&t=1462&start=0>

https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=35376

<http://www.frost.com/sublib/display-market-insight-top.do?id=83462501>

<http://diocles.civil.duth.gr/links/home/database/thessaloniki/pr20ge.pdf>

http://www.coastalwiki.org/wiki/Greek_case_studies:_Long_term_geomorphological_changes_in_the_coastal_zone_of_the_Thermaikos_Gulf,_Salonika_Region,_North_Greece

<http://www.intergeo.gr/page.asp?pid=11&gr=1>

<http://www.geo.auth.gr/museum/MammalFiles>