



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΟΥ-ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΣΕΒΑΣΤΗ-ΗΛΙΑΝΑ
ΔΑΓΔΗΛΕΛΗ ΜΥΡΤΩ

ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΟΥ
ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΣΙΝΔΟΥ, Ν.
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2016

ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΟΥ-ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΣΕΒΑΣΤΗ-ΗΛΙΑΝΑ

ΔΑΓΔΗΛΕΛΗ ΜΥΡΤΩ

**ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΟΥ
ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΣΙΝΔΟΥ, Ν.
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας

Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Βουδούρης Κωνσταντίνος

Αναστασιάδου-Αναστασίου Σεβαστή-Ηλιάννα, Δαγδηλέλη Μυρτώ

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΣΙΝΔΟΥ, Ν. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

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

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

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	σελ.5
Περίληψη.....	σελ.7
1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	σελ.11
1.1. Γεωγραφική θέση.....	σελ. 11
1.2. Μορφολογία.....	σελ. 12
1.2.1. Λεκάνη απορροής Αξιού ποταμού	σελ. 13
1.2.2. Λεκάνη απορροής Γαλλικού ποταμού	σελ. 15
2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	σελ.17
2.1. Γεωλογία ευρύτερης περιοχής.....	σελ. 17
2.2. Γεωλογία περιοχής Σίνδου.....	σελ. 23
2.3. Τεκτονική	σελ. 24
3. ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	σελ. 25
4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	σελ. 31
4.1. Διακύμανση της στάθμης του υπογείου νερού	σελ. 31
4.2. Μελέτη και σύγκριση της διακύμανσης της στάθμης του υπογείου νερού μεταξύ των ετών 2005 και 2016	σελ.52
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	σελ. 63
Βιβλιογραφία	σελ. 65

Πρόλογος

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και σε συνεργασία με την Εταιρία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης (ΕΥΑΘ). Το θέμα της πραγματεύεται τις διαχρονικές μεταβολές της στάθμης του υπόγειου νερού για την περιοχή της Σίνδου και συγκεκριμένα για την χρονική περίοδο των ετών 2005-2016.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κ. Βουδούρη για την καλή συνεργασία και την ανάθεση του θέματος της διπλωματικής εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες θέλουμε να απευθύνουμε στον κ. Θ. Σπάχο, γεωλόγο της ΕΥΑΘ, για την πολύτιμη βοήθεια που μας προσέφερε και συγκεκριμένα για την διάθεση σε εμάς απαραίτητων για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας δεδομένων της εταιρίας, την επιτήρηση του κατά τη διάρκεια της λήψης μετρήσεων στην περιοχή της Σίνδου και την παραχώρηση του πολύτιμου χρόνου του.

Αναστασιάδου-Αναστασίου Σεβαστή Ηλιάνα, Δαγδηλέλη Μυρτώ

Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 2016

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρατίθενται τα μορφολογικά, γεωλογικά, τεκτονικά, υδρογεωλογικά στοιχεία της περιοχής της Σίνδου και μελετάται η μεταβολή της στάθμης του υπογείου νερού στην περιοχή. Η μελέτη στηρίζεται σε μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν την περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου 2016 και σε μετρήσεις από τα αρχεία της Εταιρίας Ύδρευσης και Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης για το διάστημα των ετών 2005-2016. Την περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου 2016 μετρήθηκαν οι σχετικές στάθμες του υπογείου νερού σε 27 υδρογεωτρήσεις και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν διαγράμματα διακύμανσης της στάθμης για τις γεωτρήσεις Σ01Ν, Σ02, Σ03, Σ06 και Σ07. Με χρήση του προγράμματος Surfer 9 απεικονίσθηκαν τρισδιάστατα σε πιεζομετρικούς χάρτες οι απόλυτες στάθμες του υπογείου νερού τα έτη 2005 και 2016. Τέλος δημιουργήθηκαν συγκριτικοί πιεζομετρικοί χάρτες των επίπεδων του υπογείου νερού του έτους 2005 και του έτους 2016 για όλες τις γεωτρήσεις για τη ευκολότερη διεξαγωγή των συμπερασμάτων. Το συμπέρασμα είναι η ανοδική πορεία της στάθμης του υπογείου νερού από το 2005 μέχρι σήμερα.

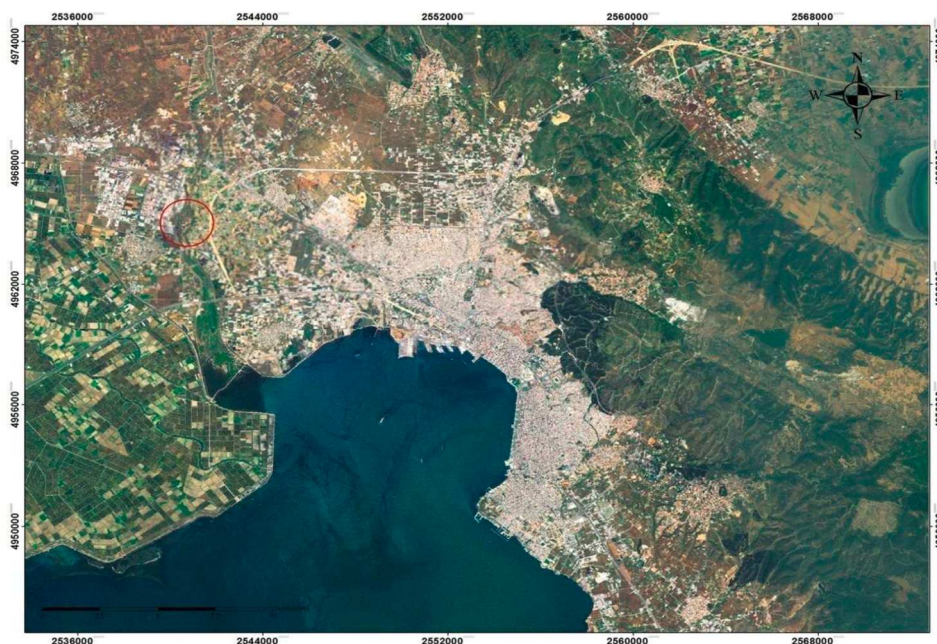
Summary

This thesis presents the morphological, geological, tectonic, hydrogeological data of the area of Sindos and studies the change of the underground water level in the region. The study is based on measurements made in the period February-March 2016 and on measurements based on the files of the Water and Sewage Company of Thessaloniki for the period of years 2005-2016. In the period of February-March 2016 were measured the relative levels of the ground water in 27 wells and then were made diagrams of the fluctuation levels for drilling S01N, S02, R03, S06 and S07. By using the program Surfer 9 were plotted dimensional in piezometric maps the absolute levels of the ground water in 2005 and 2016. Finally, were created comparative maps of piezometric levels of groundwater of the year 2005 and the year 2016 for all drilling for easier carrying conclusions. The conclusion is the rising level of the ground water from 2005 until today.

1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

1.1 Γεωγραφική θέση

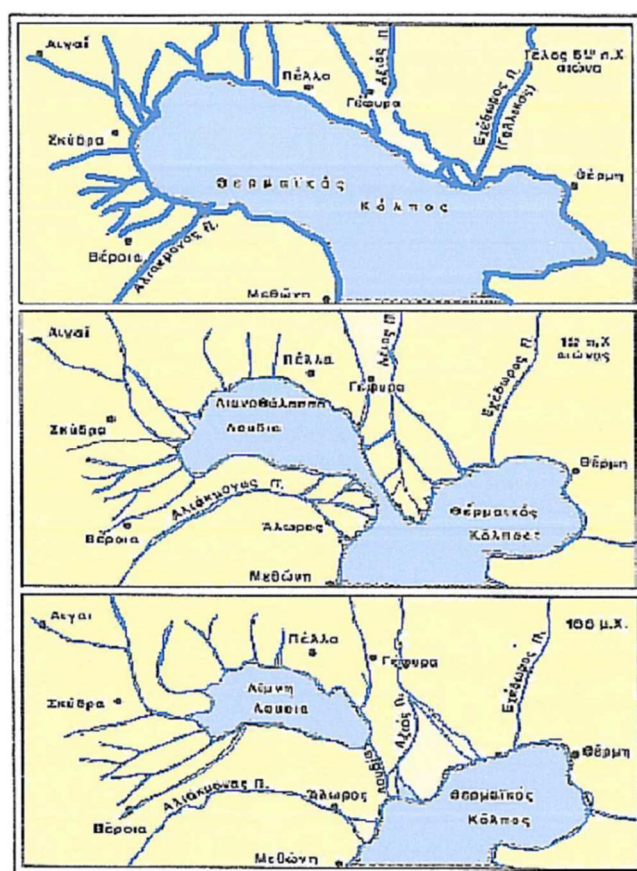
Η περιοχή της Σίνδου βρίσκεται σε απόσταση 14 χιλιομέτρων δυτικά της πόλης της Θεσσαλονίκης. Διοικητικά ανήκει στον δήμο Δέλτα, που προέκυψε το 2011 από τη συνένωση των παλαιότερων δήμων Αξιού, Εχεδώρου και Χαλάστρας, σύμφωνα με το σχέδιο Καλλικράτης, και αποτελεί την έδρα του (Εικόνα 1). Αποτελεί το παράκτιο τμήμα μεταξύ των ποταμών Αξιού και Γαλλικού. Ο πληθυσμός της δημοτικής κοινότητας Σίνδου ανέρχεται στους 9.289 κατοίκους (στοιχεία ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2011). Κοντά βρίσκεται η βιομηχανική περιοχή Θεσσαλονίκης (ΒΙ.ΠΕ.). Πρόκειται για βιοτεχνικές και βιομηχανικές μονάδες που αξιοποιούν κυρίως τοπικές πρώτες ύλες (π.χ. γεωργικές βιομηχανίες) και εξυπηρετούν τις τοπικές ανάγκες (π.χ. τυροκομεία, ελαιοτριβεία), καθώς και γεωργικές καλλιεργήσιμες εκτάσεις.



Εικόνα 1. Χάρτης Θεσσαλονίκης - Περιοχή Σίνδου.

1.2 Μορφολογία

Η περιοχή μελέτης εκτείνεται μεταξύ των ποταμών Αξιού και Γαλλικού και αποτελεί μέρος της ευρύτερης πεδιάδας Θεσσαλονίκης- Γιαννιτσών. Η πεδιάδα απλώνεται μεταξύ των ορεινών όγκων των Πιερίων, Βερμίου, Πάικου και Χορτιάτη. Διαρρέεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά από τους ποταμούς Αλιάκμονα, Λουδία, Αξιο και Γαλλικό, οι οποίοι εκβάλλουν στον Θερμαϊκό κόλπο. Διαθέτει όλα τα χαρακτηριστικά ενός τυπικού τεκτονικού βυθίσματος



Εικόνα 2. Σχηματική απεικόνιση της γεωμορφολογικής εξέλιξης της ευρύτερης περιοχής μελέτης (Μελαδιώτης, 1984).

Η εύρεση θαλάσσιων απολιθωμάτων στις Ολοκαινικές αποθέσεις της πεδιάδας Θεσσαλονίκης –Γιαννιτσών αποδεικνύει ότι η περιοχή αποτελούσε στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν τμήμα της θάλασσας του Θερμαϊκού (Εικόνα 2). Η σημερινή

μορφολογία της περιοχής, που διατηρεί την μορφή τεκτονικής τάφρου, αποδίδεται τόσο στις ανοδικές και καθοδικές κινήσεις της διαδικασίας της ηπειρογένεσης, όσο και στην έντονη προσχωματική δράση των ποταμών που διαρρέουν την πεδιάδα. Επίσης, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και οι ανθρώπινες επεμβάσεις ανά τους αιώνες έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση της σημερινής πεδιάδας Θεσσαλονίκης-Γιαννιτσών. Η δημιουργία της χρονολογείται κατά το Ανω Ολιγόκαινο-Κάτω Μειόκαινο.

Το υπέδαφος της περιοχής, άμεσα συνδεδεμένο με τον τρόπο δημιουργίας της, αποτελείται από αλλόχθονες κλαστικές αποθέσεις ηλικίας Τεταρτογενούς. Οι αποθέσεις αυτές αποτελούνται από εναλλαγές στρωμάτων αργίλων, ιλύων, άμμων, χαλικών, κροκάλων και μίγματα αυτών. Επιφανειακά η περιοχή καλύπτεται από ένα αμμοϊλυώδες έως ιλυοαργιλώδες στρώμα.

1.2.1 Λεκάνη απορροής Αξιού ποταμού

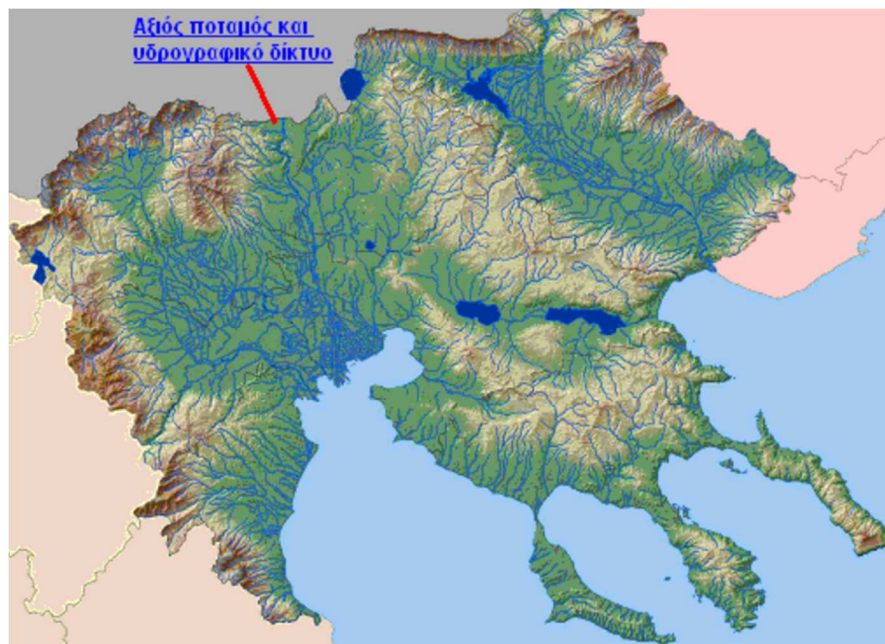
Ο Αξιός ποταμός πηγάζει από το όρος Σκάρδος της FYROM και αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους ποταμούς των Βαλκανίων. Η λεκάνη απορροής του έχει συνολική έκταση 20.061 km² με το ελληνικό της τμήμα να περιορίζεται στο 19,96% , δηλαδή στα 1.457km². Επίσης από τα 380 km του συνολικού μήκους του, μόνο τα 76 km του Αξιού διαρρέουν τον ελλαδικό χώρο και συγκεκριμένα τους νομούς Κιλκίς και Θεσσαλονίκης.

Η λεκάνη απορροής του Αξιού έχει σχήμα περίπου ισόπλευρου τριγώνου με ανώμαλη κυματοειδή βάση και κορυφή στραμμένη προς τον Θερμαϊκό κόλπο. Το συνολικό μήκος της περιμέτρου της ανέρχεται στα 505,5 km. Το μέγιστο μήκος της λεκάνης απορροής ανέρχεται περίπου στα 54 km και το μέγιστο πλάτος της στα 44km (Εικόνες 3,4).

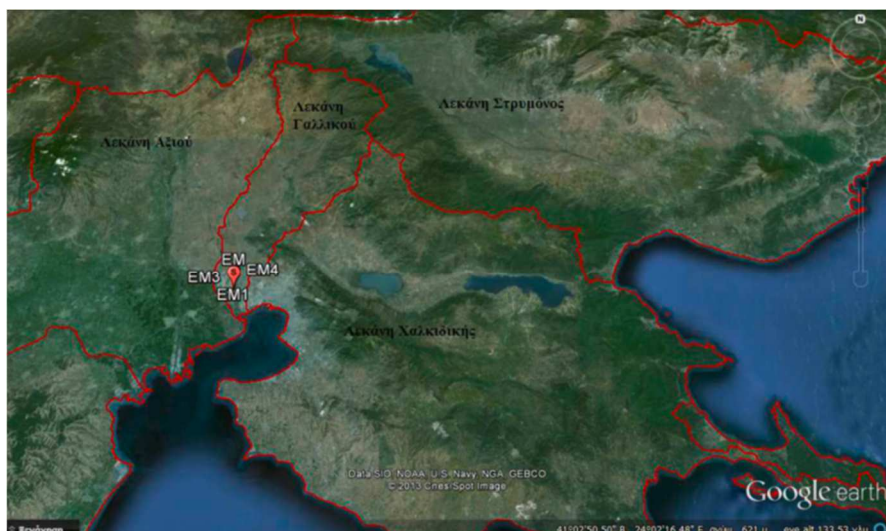
Το ανάγλυφό της ποικίλει καθώς μεταβαίνει από μια ορεινή-ημιορεινή περιοχή σε ένα λοφώδες τμήμα, και στη συνέχεια καταλήγει στη νότια πεδινή περιοχή της, η οποία καταλαμβάνει την μεγαλύτερη έκταση της λεκάνης. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής εκτιμάται στα 256,8m.

Ο ποταμός Αξιός, με διεύθυνση ροής από Βορρά προς Νότο, εκβάλλει στον Θερμαϊκό κόλπο. Οι ποταμοί και οι χείμαρροι του μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες υλικών τα οποία διασκορπίζονται στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης- Γιαννιτσών, λόγω της

στενότητας της κοίτης του. Ο Αξιός χαρακτηρίζεται από την μικρή κλίση της κοίτης του, από την μαιανδρική ροή του και τον σχηματισμό ποτάμιων αναβαθμίδων, ως αποτέλεσμα της πλευρικής δράσης της κοίτης του. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η ροή του Αξιού χαρακτηρίζεται ως υποκρίσιμη ή ποτάμια.



Εικόνα 3. Γεωμορφολογικός χάρτης και υδρογραφικό δίκτυο Κεντρικής Μακεδονίας (Βεράνης, 2008).



Εικόνα 4. Λεκάνες απορροής Αξιού και Γαλλικού ποταμού.

1.2.2. Λεκάνη απορροής Γαλλικού ποταμού

Ο Γαλλικός ποταμός είναι ποταμός της Κεντρικής Μακεδονίας και πηγάζει από τα Κρούσια όρη του νομού Κιλκίς. Το συνολικό του μήκος ανέρχεται στα 70km. Έχει διεύθυνση ροής ΒΒΑ-ΝΝΔ, διαρρέει το ανατολικό τμήμα του νομού Κιλκίς και το βορειοδυτικό τμήμα του νομού Θεσσαλονίκης και καταλήγει στον Θερμαϊκό κόλπο.

Η λεκάνη απορροής του, με έντονα ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο, χαρακτηρίζεται απιοειδούς σχήματος και καταλαμβάνει την έκταση των 950 km². Το συνολικό μήκος της περιμέτρου της εκτιμάται σε 139.84 km, ενώ το μέγιστο μήκος της ανέρχεται περίπου σε 48km και το μέγιστο πλάτος της περίπου σε 25 km. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής υπολογίστηκε 357,7 m (Εικόνες 3, 4).

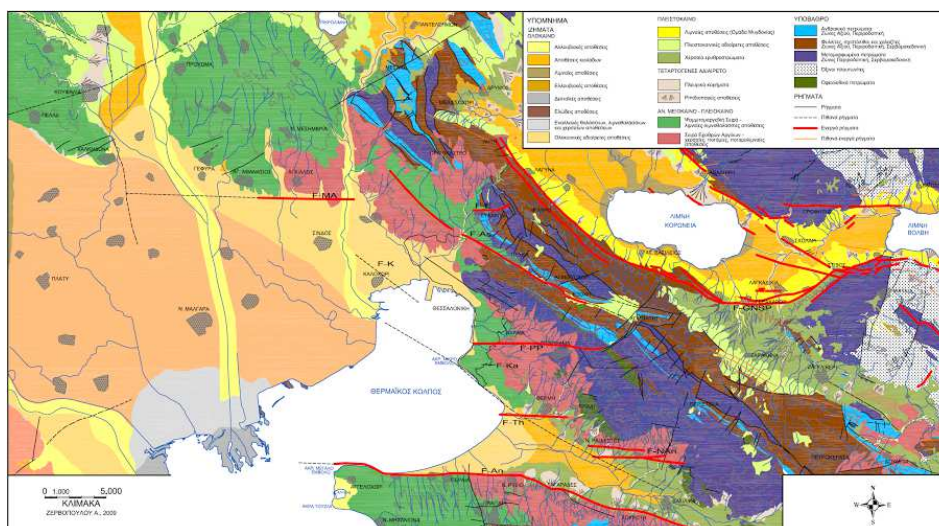
Χαρακτηριστικό του Γαλλικού ποταμού είναι το είδος της ροής του. Έχει παρατηρηθεί ότι η ροή στην κύρια κοίτη του ποταμού δεν είναι μόνιμη και εξαρτάται άμεσα από τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν. Επεξηγηματικά, σε περιόδους με φτωχές τιμές κατακρημνισμάτων η κύρια κοίτη ενδέχεται να μην έχει ροή, ενώ μετά από βροχοπτώσεις μεγάλης έντασης ο ποταμός δημιουργεί συχνά καταστροφικά πλημμυρικά φαινόμενα. Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την μικρές κλίσεις και το μικρό βάθος της κοίτης του, προσδίδουν στον Γαλλικό ποταμό την χαρακτηριστική υπερκρίσιμη ή χειμαρρώδη ροή του (Μάττας, 2009).

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

2.1 Γεωλογία της περιοχής έρευνας

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει το γεωλογικό υπόβαθρο της πεδιάδας Θεσσαλονίκης-Γιαννιτσών, το γεωλογικό υπόβαθρο της λεκάνης απορροής του ποταμού Αξιού και το γεωλογικό υπόβαθρο της λεκάνης απορροής του ποταμού Γαλλικού. Σύμφωνα με τον Μουντράκη (2010) «Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας», η περιοχή μελέτης ανήκει από τα ανατολικά προς τα δυτικά στις εξής γεωτεκτονικές ζώνες:

- Σερβομακεδονική μάζα (ή ζώνη)
- Περιροδοπική ζώνη
- Ζώνη Αξιού



Εικόνα 5. Λεπτομερής γεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής μελέτης. Στον χάρτη αυτό τα πετρώματα του υποβάθρου εμφανίζονται συνοπτικά σε σχέση με τα νεότερα ιζήματα. Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται τα υπό μελέτη ρήγματα. Όπου: F-Th Θέρμης, F-An Ανθεμούντα, F-PP Πυλαίας–Πανοράματος, F-As Ασβεστοχωρίου, F-E Ευκαρπίας, F-NAn Βόρειου Ανθεμούντα, F-MA Ν. Μεσημβρίας–Αγχιάλου, F-K Καλοχωρίου, F-GNSP Γερακαρούς–Νοκμιδηνού–Στίβου-Περιστερώνας και F-Ka Καλαμαριάς. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί έχουν προέλθει από ψηφιοποίηση χαρτών του ΙΓΜΕ.

Ακολουθεί η ανάλυση των γεωτεκτονικών αυτών ζωνών. Αναφέρονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί της κάθε ζώνης και ενότητας που σχετίζεται με την περιοχή μελέτης, από τους κατώτερους προς τους ανώτερους. Οι σχηματισμοί καλύπτονται κατά θέσεις από τριτογενή και τεταρτογενή ιζήματα (Εικόνα 5).

I. ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΜΑΖΑ

Αποτελείται από πετρώματα προαλπικής ηλικίας. Διαιρείται στις ενότητες α) Κερδυλλίων και β) Βερτίσκου (Kockel & Walther 1968). Στην ενότητα Βερτίσκου εντοπίζεται τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Γαλλικού.

- **Ενότητα Βερτίσκου**

Αποτελείται κυρίως από γενέσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και αμφιβολίτες. Συγκεκριμένα εντοπίζεται μια κατώτερη ακολουθία μιγματιτικών, οφθαλμοειδών ορθογενεσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και λεπρών στρωμάτων μαρμάρων, ενώ ανώτερα οι ορίζοντες αποτελούνται από μεταγάββρους, μεταδιαβάσες και ορθοαμφιβολίτες ως φακοειδή στρώματα μέσα στους γενέσιους (Kockel & Ioannides 1979).

II. ΠΕΡΙΡΟΔΟΠΙΚΗ ΖΩΝΗ

Η Περιοδοπική ζώνη περιλαμβάνει τρεις ενότητες πετρωμάτων:

1. Ενότητα Ντεβέ Κοράν- Δουμπιά
2. Ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα
3. Ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη

Οι ενότητες αυτές αποτελούνται από πετρώματα του δυτικού περιθωρίου της Σερβομακεδονικής και ορισμένα αντίστοιχα τμήματα της υποζώνης Παιονίας της ζώνης Αξιού. Συγκεκριμένα, αποτελούν τμήματα των ενοτήτων: Λεβεντοχωρίου, Μεταλλικού, Μεγάλης Στέρνας, Άσπρης Βρύσης, Βαφειοχωρίου και Αρτζάν, της Παιονίας (Kauffmann et al 1976). Το όριο Περιοδοπικής ζώνης και Υποζώνης Παιονίας αποτελεί παλιό γεωλογικό πρόβλημα καθώς δεν έχει εντοπιστεί. Έτσι, είναι πιθανόν η Παιονία και η Περιοδοπική να αποτελούν ουσιαστικά την ίδια ζώνη.

Στην Περιοπική ζώνη εντοπίζεται τμήμα της λεκάνης απορροής τόσο του Γαλλικού όσο και του Αξιού ποταμού.

- Ενότητα Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά.

- ❖ «Σχηματισμός Εξαμιλίου». Πρόκειται για έναν σχηματισμό μετακλαστικών ιζημάτων και συγκεκριμένα μεταψαμμιτών, χαλαζιτών, χαλαζιακών σχιστολίθων και μετακροκαλοπαγών (ηλικίας Περμίου).
- ❖ Ηφαιστειοιζηματογενής σειρά, αποτέλεσμα bimodal ηφαιστειότητας που υποδηλώνει συνθήκες αρχικής ηπειρωτικής διάρρηξης. Αποτελείται από χαλαζιακά πορφυροειδή, χαλαζιακούς σχιστολίθους, χαλαζίτες, πυροκλαστικά, ρυόλιθους, ανδεσίτες, βασάλτες και δολερίτες (ηλικίας Πέρμιο-Κάτω Τριαδικό).
- ❖ Ανθρακική νηριτική σειρά. Αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, ψαμμιτικούς και μαργαϊκούς με φύκη και κοράλλια (ηλικίας Μέσου Τριαδικού-Μέσου Ιουρασικού).

- Ενότητα Μελισσοχωρίου- Χολομώντα

- ❖ Κατώτερος σχηματισμός αποτελούμενος από μάρμαρα και ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους που μεταβαίνει σε γραφιτικούς φυλλίτες και σερικιτικούς σχιστολίθους (ηλικίας Μέσου-Άνω Τριαδικού).
- ❖ «Φλύσχης Σβούλας». Ανώτερος σχηματισμός με τουρβιδιτικές εναλλαγές μεταψαμμιτών, φυλλιτών, ασβεστόλιθων. Μέσα σε αυτά παρατηρούνται μεγάλοι ολισθόλιθοι Τριαδικών μαρμάρων (ηλικίας Κάτω-Μέσου Ιουρασικού).

- Ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη

- ❖ Κατώτερη ηφαιστειοιζηματογενής σειρά, έχει όμοια λιθολογική σύσταση με την αντίστοιχη σειρά της ενότητας Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά.
- ❖ Ενδιάμεση ανθρακική νηριτική σειρά, έχει όμοια σύσταση λιθολογική σύσταση με την αντίστοιχη σειρά της ενότητας Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά.
- ❖ Ανώτερη σειρά αποτελούμενη από 1) ιζήματα βαθιάς θάλασσας όπως κερατόλιθοι, αργιλικόι σχιστόλιθοι, φυλλίτες, μάργες, από 2) οφειόλιθους όπως γάββρους, διορίτες, διαβάσεις, σερπεντινίτες και από 3) μεταμορφωμένα όξινα

πυριγενή πετρώματα όπως γρανοδιορίτες, γρανίτες και διορίτες πρασινοσχιστολιθικής φάσης μεταμόρφωσης.

III. ΖΩΝΗ ΑΞΙΟΥ

Διαιρείται από τα ανατολικά προς τα δυτικά στις εξής υποζώνες:

1. Υποζώνη Παιονίας
2. Υποζώνη Πάικου
3. Υποζώνη Αλμωπίας

Χαρακτηριστικό της ζώνης Αξιού είναι οι μεγάλες οφειολιθικές μάζες που συνιστούν την γνωστή ελληνική «εσωτερική οφειολιθική λωρίδα, ΙΡΟ» (Osswald 1938). Η παρουσία αυτών των πετρωμάτων, που αποδεικνύουν την ύπαρξη ωκεάνιου φλοιού, έχει καθορίσει την ζώνη Αξιού ως τον χώρο του παλιού ωκεανού που υπήρξε κατά την διάρκεια του Μεσοζωικού αιώνα και αποτελούσε τμήμα της Τηθύος.

Τμήματα της λεκάνης απορροής των ποταμών Αξιού και Γαλλικού εντοπίζονται στην υποζώνη Παιονίας. Τμήμα του Αξιού εντοπίζεται και στην υποζώνη Πάικου.

ο Υποζώνη Παιονίας

Αποτελείται από τεκτονικά λέπια, αποτέλεσμα της συμπίεστικής τεκτονικής του Τριτογενούς. Τα τεκτονικά αυτά λέπια έχουν γενικά κλίση προς τα ΒΑ και με συνεχείς επιππεύσεις προς τα Δ,ΝΔ τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο. Οι επιμέρους ενότητες που αντιπροσωπεύουν αυτά τα λέπια είναι οι εξής: Ενότητα Γευγελής, Ωραιοκάστρου, Βαφειοχωρίου, Αρτζάν, Άσπρης Βρύσης, Μεταλλικού, Λεβεντοχωρίου.

- Ενότητα Γευγελής
- ❖ «Σχηματισμός Γκόλα-Τσούκα». Περιλαμβάνει ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους και μάρμαρα (ηλικίας Τριαδικού).
- ❖ «Σχηματισμός Καστανερής». Αποτελεί ηφαιστειοιζηματογενή σειρά με σερικιτιωμένους πορφυροειδείς ρυόλιθους, τοφφίτες, πυροκλαστικούς ψαμμίτες, φακούς και ενστρώσεις πλακωδών ασβεστολίθων και κλαστικά ιζήματα (ηλικίας Τριαδικού-Ιουρασικού).

- ❖ «Σχηματισμός Γρίβα». Αποτελείται από σερικιτικούς και ασβεστιτικούς σχιστόλιθους και ασβεστόλιθους (ηλικίας Ιουρασικού).
- ❖ Οφειολιθική ακολουθία αποτελούμενη από γάββρους, δολερίτες, pillow lavas, βασικά ηφαιστειακά. Σε αυτήν διεισδύει ένας μεγάλος νεότερος γρανιτικός όγκος (Άνω Ιουρασικού). Πρόκειται για τον γρανίτη του Φανού-Αξιούπολης, η ακριβής ηλικία του οποίου έχει υπολογιστεί 150 Ma, σύμφωνα με ραδιοχρονολογήσεις.

- Ενότητα Ωραιοκάστρου

- ❖ Πάνω στο υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής, του οποίου η παρουσία είναι αποτέλεσμα τεκτονικής τοποθέτησης, εμφανίζεται μια ηφαιστειοιζματογενής σειρά από ψαμμίτες και κροκαλοπαγή ερυθρού χρώματος (ηλικίας Περμίου-Κάτω Τριαδικού) και ρυόλιθοι.
- ❖ Πλακώδεις και μαζώδεις ασβεστόλιθοι με απολιθώματα τρηματοφόρων *Meadrospira dinarica* (ηλικίας Μέσου Τριαδικού) και πελαγικοί ασβεστόλιθοι κατόπιν αλλαγής των συνθηκών ιζηματογένεσης (ηλικίας Λαδινίου).
- ❖ Ασβεστοκλαστικά ιζήματα (ηλικίας Ανώτερου Τριαδικού-Κάτω Ιουρασικού).
- ❖ Τεκτονικά τοποθετημένοι οφειόλιθοι γαββρικής σύστασης.
- ❖ Επικλυσιογενή ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή με συνοδεία ασβεστολιθικών και μαργαικών στρωμάτων (ηλικίας Ανώτερου Ιουρασικού).

- Ενότητα Βαφειοχωρίου-Αρτζάν.

- ❖ Μεταμορφωμένα πετρώματα πρασινοσχιστολιθικής φάσης, όπως μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, χαλαζίτες, μάρμαρα και σιπολίνες (πιθανής ηλικίας Τριαδικού-Ιουρασικού).
- ❖ Οφειολιθικά πετρώματα όπως γάββροι, δολερίτες και διαβάσες με διεισδύσεις νεότερων όξινων πλουτώνιων σωμάτων.
- ❖ Κλαστικά ιζήματα, όπως κροκαλοπαγή με κροκάλες οφειολίθων, ψαμμίτες, ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι, πηλίτες. Αποτελούν μια μεγάλου πάχους τυπική επικλυσιογενή σειρά (ηλικίας Ανώτερου Ιουρασικού). Η σειρά περιέχει ασβεστόλιθους του Προτλανδίου.
- ❖ Φλύσχη από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και πηλίτες (ηλικίας Κρητιδικού).

- Ενότητες Μεταλλικού, Λεβεντοχωρίου, Άσπρης Βρύσης
- ❖ Κατώτερη ανθρακική διάπλαση αποτελούμενη απο ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους (ηλικίας Τριαδικού- Κάτω Ιουρασικού)
- ❖ Ανώτερη τεκτονικά σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφειολίθους που αποτελείται από ωκεάνια ιζήματα βαθιάς θάλασσας συμπτυχωμένα με οφειολιθικά πυριγενή πετρώματα. Συγκεκριμένα αποτελείται από κερατόλιθους, πρασινοσχιστόλιθους και ψαμμίτες με διαβάσες, δολερίτες. (ηλικία κοινή με την επώθηση των οφειολίθων πάνω στην ανθρακική διάπλαση, πριν το Ανώτερο Ιουρασικό).

○ Υποζώνη Πάικου

Αντιπροσωπεύει τα ιζήματα εκείνα που αποτέθηκαν στην ανοιχτή βαθιά θάλασσα. Το Πάικο χαρακτηρίστηκε ως ύβωμα που διαχώριζε την Παιονία και την Αλμωπία (Mercier 1966). Σήμερα είναι γνωστή η δράση του ως νησιώτικο ηφαιστειακό τόξο που λειτούργησε κατά το Ιουρασικό.

- ❖ «Σειρά Κοκκινόπετρας», αποτελούμενη από εναλλαγές χλωριτικών και σερικιτικών σχιστολίθων, μάρμαρα και σιπολίνες.
- ❖ «Σχηματισμός Λειβαδίων». Πρόκειται για ηφαιστειοιζηματογενής σειρά με χλωριτικούς σχιστόλιθους, μικροκροκαλοπαγή, ψαμμίτες και ηφαιστίτες.

○ Τριτογενή ιζήματα

Πρόκειται για σχηματισμούς του Παλαιογενούς και Νεογενούς. Συγκεκριμένα εντοπίζονται μάργες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και βιοκλαστικοί ασβεστόλιθοι.

○ Τεταρτογενή ιζήματα

Οι νεότερες αυτές αποθέσεις καλύπτουν κατά κανόνα το πεδινό κομμάτι της περιοχής μελέτης. Πρόκειται για ιζήματα χερσαίου, λιμναίου, ποτάμιου και ποταμοχειμάρριου περιβάλλοντος. Εντοπίζονται άργιλοι, άμμοι, αργιλόαμμοι, κροκαλοπαγή. Επίσης κατά θέσεις υπάρχουν ελλουβιακές αποθέσεις, κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα στις παρυφές των ορεινών όγκων.

2.2. Γεωλογία της περιοχής Σίνδου

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης Γιαννιτσών και συγκεκριμένα ενδιάμεσα στις λεκάνες απορροής των ποταμών Αξιού και Γαλλικού. Έτσι, η περιοχή αποτελείται κυρίως από τεταρτογενή ιζήματα. Πρόκειται για ιζήματα λιμναίας, χερσαίας, ποτάμιας και ποταμοχειμάριας φάσης. Με βάση την ηλικία τους διακρίνονται σε παλαιότερα Πλειστοκαινικά και νεότερα Ολοκαινικά ιζήματα.

- ❖ Πλειστοκαινικές αποθέσεις
- ❖ Χαλαρά κροκαλοπαγή, κεραμόχρωμες αργιλώδεις άμμοι και χαλαροί ψαμμίτες που κατά θέσεις καλύπτονται από ελλουβιακές αποθέσεις σχηματίζουν ένα σύστημα ποτάμιων αναβαθμίδων με κατώτερο, μεσαίο και ανώτερο αντίστοιχα επίπεδο. Εντοπίζονται κατά μήκος της κοίτης του Γαλλικού καθώς και στην λεκάνη απορροής του.
- ❖ Ολοκαινικές αποθέσεις
- ❖ Επάλληλα στρώματα άμμων, χαλίκων, κροκαλών, ιλύων και αργίλων συνιστούν τις προσχώσεις των κοιλάδων.
- ❖ Αμμούχοι άργιλοι, χάλικες και κροκάλες συνιστούν τις σύγχρονες αποθέσεις στις κοίτες των δύο ποταμών.
- ❖ Οι ελλουβιακές αποθέσεις καλύπτουν το γεωλογικό υπόβαθρο και τις Πλειστοκαινικές αποθέσεις και αποτελούν έναν σαθρό επιφανειακό μανδύα από αποσαθρωμένους σχιστόλιθους και λατύπες.
- ❖ Τα αλλουβιακά ριπίδια καλύπτουν τις παρυφές των ορεινών όγκων και αποτελούνται από χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα υλικά.

2.3. Τεκτονική

Οι λεκάνες απορροής των ποταμών Αξιού και Γαλλικού αποτελούν τεκτονικά βυθίσματα τα οποία δημιουργήθηκαν από τις διάφορες ορογενετικές και ηπειρογενετικές κινήσεις που έλαβαν χώρα κατά το γεωλογικό παρελθόν και διαμόρφωσαν την δομή της Σερβομακεδονικής μάζας, της Περιοδοπικής ζώνης και της ζώνης Αξιού. Η πολυπλοκότητα της δομής των τεκτονικών αυτών βυθισμάτων που προέκυψε από γεγονότα συμπίεσης και εφελκυσμού υποδηλώνεται από τις λεπιώσεις, εφιππεύσεις και αναστροφές των στρωμάτων τους καθώς και τις πλαστικές ή ρηξιγενείς παραμορφώσεις των πετρωμάτων της περιοχής.

3. ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Για την μελέτη των βροχομετρικών στοιχείων της περιοχής Σίνδου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που λήφθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό Σίνδου. Αρχικός σκοπός ήταν να χρησιμοποιηθούν τα βροχομετρικά δεδομένα της περιόδου των ετών 2006-2016. Αυτό όμως κατέστη πρακτικά αδύνατο καθώς κάποιοι μήνες παραμένουν χωρίς μετρήσεις. Η απουσία αυτή των μετρήσεων οφείλεται σε τεχνικούς λόγους. Επομένως, το διάστημα που θα μελετηθεί έχει αρχή τον Φεβρουάριο του 2008 και πέρας τον Ιούνιο του 2016 (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Μηνιαία ύψη βροχής (mm) για τον σταθμό Σίνδου, περίοδος ετών 2008-2016

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Max	Min	M.O.
Οκτ		36.6	40.2		32	45.8	19.2	145.2		145.2	19.2	53.167
Νοε		51.8	40.6		54.6	42.6	52	303		303	40.6	90.767
Δεκ		61.6			57	64.4	29	244.6		244.6	29	91.32
Ιαν		127.8			46.6	30.6	116.6	52.6	31.8	127.8	30.6	67.667
Φεβ	5.4	6.8			43.6	32	269.2	17.4	62	269.2	5.4	62.343
Μαρ	0	41.2		20.8	47.6		119.2	103.4	86.8	119.2	0	59.857
Απρ		18		18.8				20.2	25.6	25.6	18	20.65
Μαϊ		21.4		57			16.4		121.6	121.6	16.4	54.1
Ιουν		57.6		5.2	2.4	25	10.4	53.6	0.6	57.6	0.6	22.114
Ιουλ		9.8		3.4	0	9.6	251.2	6.6		251.2	0	46.767
Αυγ		18.8		5.2	1	13.2	151.8	7		151.8	1	32.833
Σεπ	112.8	26		47.6	56.4	19.2	169.2			169.2	19.2	71.867
Σύνολο	118.2	477.4	80.8	158	341.2	282.4	1204.2	953.6	328.4			

Το υδρολογικό έτος για την Ελλάδα ξεκινάει τον μήνα Σεπτέμβριο ή Οκτώβριο και ολοκληρώνεται τον Μάιο ή Σεπτέμβριο του επόμενου έτους. Τα πρώτα κατακρημνίσματα εμφανίζονται τον Σεπτέμβριο ή Οκτώβριο, μετά το πέρας της ξηρής θερινής περιόδου, και συνεχίζουν μέχρι τον Απρίλιο-Μάιο. Έχουν ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων.

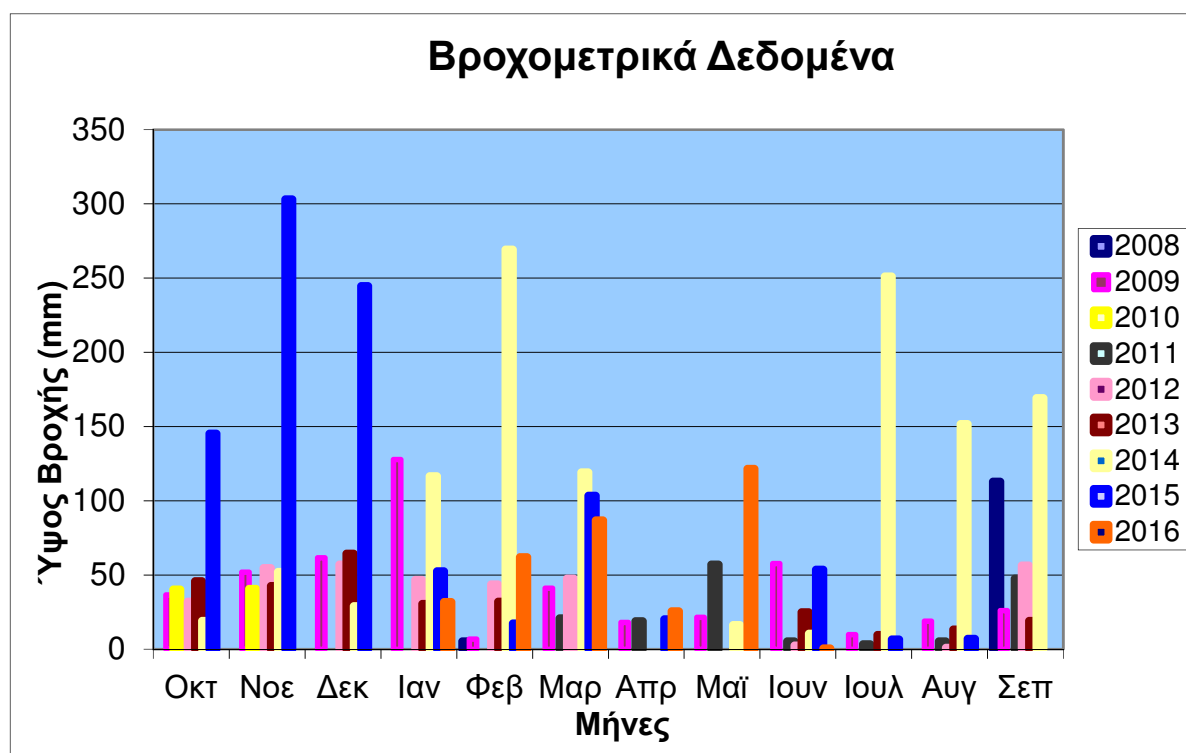
Από τα βροχομετρικά δεδομένα παρατηρείται ότι το μέγιστο μηνιαίο ύψος βροχής εμφανίζεται τον Νοέμβριο του 2015 και είναι 303mm ενώ το ελάχιστο είναι 0mm και εμφανίζεται τον Μάρτιο του 2008 και τον Ιούλιο του 2012.

Πίνακας 2. Ακραίες τιμές μηνιαίου ύψους βροχής

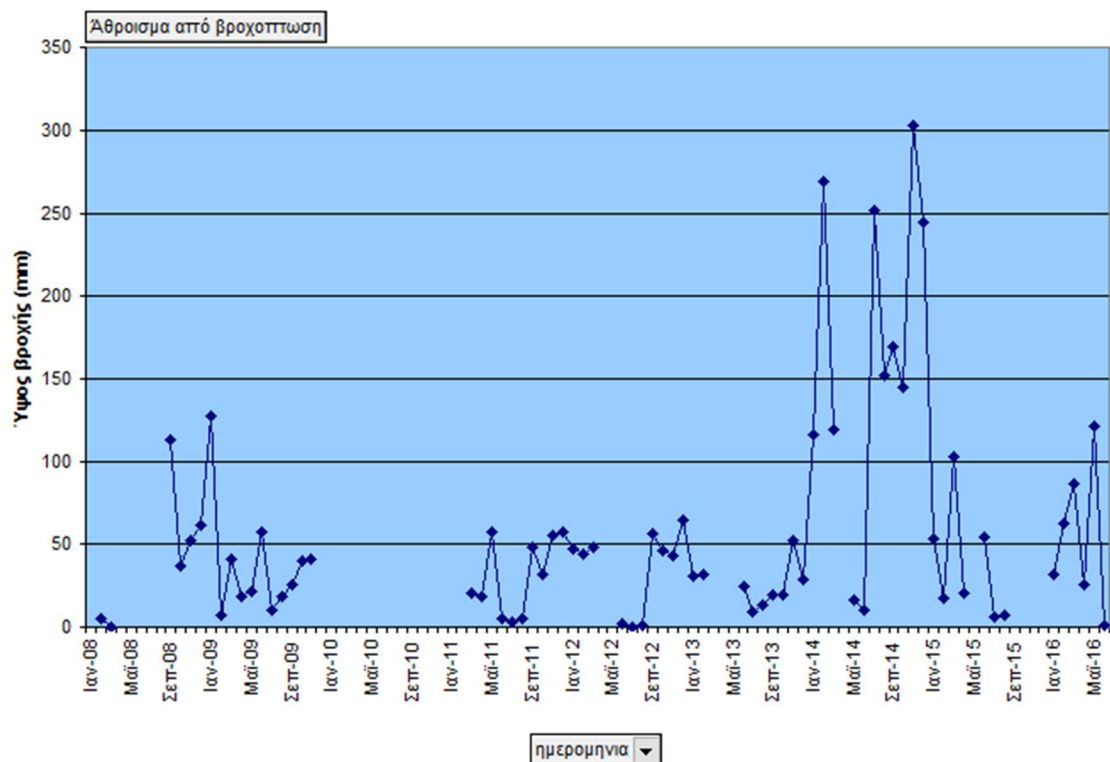
Υδρολογικό Έτος	Μήνας	Ύψος Βροχής (mm)
2008	Σεπτέμβριος	112,8
2009	Ιανουάριος	127,8
	Ιούνιος	57,6
2011	Μάιος	57
2014	Ιανουάριος	166,6
	Φεβρουάριος	269,2
	Μάρτιος	119,2
	Ιούλιος	251,2
	Αύγουστος	151,8
	Σεπτέμβριος	169,2
2015	Οκτώβριος	145,2
	Δεκέμβριος	244,6
	Μάρτιος	103,4
2016	Μάρτιος	86,8
	Μάιος	121,6

Στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζεται η μηνιαία κατανομή της βροχόπτωσης ανά έτος για την χρονική περίοδο των ετών 2008-2016. Παρατηρείται ότι:

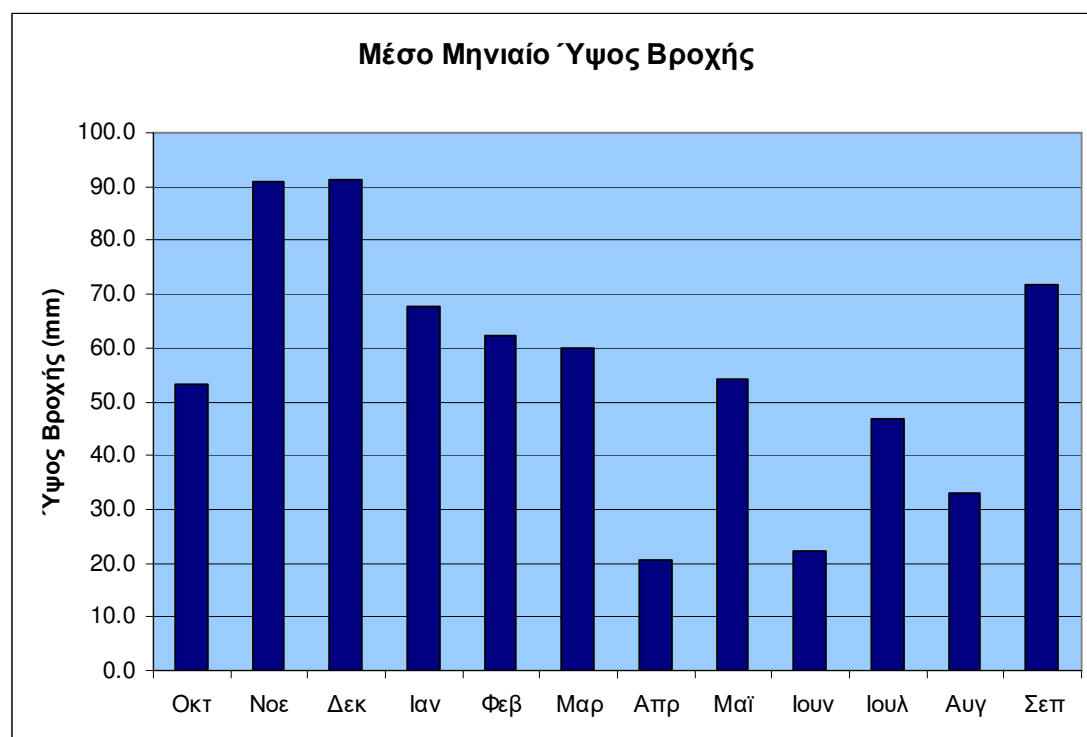
- Για τους χειμερινούς μήνες η κατανομή είναι πυκνή. Οι τιμές του ύψους βροχής κυμαίνονται μεταξύ 30-60 mm.
- Αντίθετα, οι τιμές του ύψους βροχής των θερινών μηνών είναι πολύ χαμηλότερες, της τάξεως των 0-25 mm.
- Καταγράφονται ακραία ύψη βροχής, ασυνήθιστα για την περιοχή, τόσο για την χειμερινή όσο και για την θερινή περίοδο. Οι ακραίες αυτές τιμές παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Ουσιαστικά, εντοπίζονται ορισμένα μεγάλα επεισόδια βροχόπτωσης, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2.



Διάγραμμα 1. Μηνιαία κατανομή βροχόπτωσης ανά έτος (2008-2016)



Διάγραμμα 2. Διακύμανση του μηνιαίου ύψους βροχής, περίοδος ετών 2008-2016



Διάγραμμα 3. Μέσο μηνιαίο ύψος βροχής για τα έτη 2008-2016

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής για την χρονική περίοδο των ετών 1972-2001 έχει υπολογιστεί και είναι της τάξεως των 448.9 mm. Ο ίδιος παράγοντας για την χρονική περίοδο των ετών 2008-2016 δεν μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια καθώς τα στοιχεία που υπάρχουν είναι ελλιπή.

Στο Διάγραμμα 3, αναπαριστάται το μέσο μηνιαίο ύψος βροχής των ετών 2008-2016. Οι μεγαλύτερες τιμές μέσου μηνιαίου ύψους βροχής παρατηρούνται κατά την χειμερινή περίοδο τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο και κυμαίνονται περίπου στα 90 mm βροχής. Το γεγονός αυτό τους καθιστά τους πλέον υγρούς μήνες για την χρονική περίοδο μελέτης. Οι υπόλοιποι μήνες χαρακτηρίζονται από τιμές μεταξύ 50-70 mm ενώ από τους θερινούς μήνες ξεχωρίζει ο Σεπτέμβριος με μέσο μηνιαίο ύψος βροχής περίπου 72 mm. Οι μήνες Απρίλιος και Ιούνιος παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές μέσου μηνιαίου ύψους βροχής, της τάξεως των 20-22 mm και αποτελούν τους πλέον ξηρούς μήνες για την χρονική περίοδο μελέτης. Ακολουθεί ο Αύγουστος με περίπου 32 mm.

4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Αποτελέσματα ερευνών κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το υπέδαφος της περιοχής Σίνδου χωρίζεται σε τρία κύρια υδροφόρα στρώματα, το φρεάτιο υδροφόρο στρώμα και δυο υπό πίεση υδροφορείς. Με βάση τη λιθολογία της περιοχής προκύπτει ότι ο υδροφόρος ορίζοντας είναι ανομοιογενής και ανισότροπος. Υπολογίστηκε ότι η υδραυλική αγωγιμότητα κυμαίνεται μεταξύ $k=6.5 \times 10^{-3} \text{ m/min} - 1.5 \times 10^{-2} \text{ m/min}$, η μεταβιβαστικότητα μεταξύ $T=5.5 \times 10^{-1} - 9.4 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{min}$, ενώ η αποθηκευτικότητα του υδροφορέα έχει τιμή $S=10^{-3}$ (Tsourlos, Vargemezis, Voudouris et al., 2007). Κατά το παρελθόν έχουν παρατηρηθεί στην περιοχή φαινόμενα υφαλμύρισης σε ορισμένα υδροφόρα στρώματα από την εισχώρηση του νερού της θάλασσας σε αυτά. Σύμφωνα με στοιχεία της Εταιρίας Ύδρευσης και Αποχεύευσης Θεσσαλονίκης, το 2007 και το 2011 πραγματοποιήθηκε στην περιοχή τεχνητός εμπλουτισμός ο οποίος, όμως, έγινε στα πλαίσια πειραματικού-ερευνητικού σκοπού. Τόσο ο διαθέσιμος όγκος νερού όσο και η επιλογή της θέσης ήταν ακατάλληλα για τον περιορισμό της υφαλμύρισης.

4.1 Διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού

Η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας είχε ως σκοπό την συλλογή στοιχείων που αφορούν τα παρακάτω:

- Καταγραφή της θέσης των γεωτρήσεων της περιοχής Σίνδου με τις συντεταγμένες.
- Γεωλογικές (λιθολογικές) τομές των γεωτρήσεων.
- Στάθμη ηρεμίας των τελευταίων ετών από γεωτρήσεις της περιοχής.

Για τις παραπάνω ανάγκες χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από μετρήσεις στην περιοχή μελέτης που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, δεδομένα της διπλωματικής εργασίας με τίτλο «Υδρογεωλογικές συνθήκες και διακυμάνσεις της στάθμης του υπόγειου νερού στην περιοχή της Σίνδου, Ν. Θεσσαλονίκης» της Κουκίδου Ειρήνης που εκπονήθηκε το 2005 και δεδομένα που παραχωρήθηκαν από το αρχείο της ΕΥΑΘ. Τα δεδομένα των παρατηρήσεων καλύπτουν την χρονική περίοδο 26/04/2005- 06/05/2016.



Εικόνα 6. Μετρήσεις στην ύπαιθρο με τη βοήθεια του σταθμημέτρου.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζεται η διακύμανση της σχετικής στάθμης για την παραπάνω χρονική περίοδο σε 5 γεωτρήσεις της περιοχής έρευνας, χάρτης με την ακριβή θέση των γεωτρήσεων καθώς και η αντίστοιχη λιθοστρωματογραφική τομή κάθε γεώτρησης. Αναλυτικά:

Πίνακας 3. Γεωγραφική θέση γεωτρήσεων στην περιοχή Σίνδου

Κωδικός γεώτρησης	coordX	coordY	coordZ
Σ01N	400629,219	4499656,837	0,7
Σ02	400797,323	4500214,035	0,7
Σ03	400905,193	4500837,301	3,4
Σ06	399011,596	4500017,754	0,8
Σ07	398530,399	4500117,221	1

Στον Πίνακα 3 δίνονται στοιχεία για την ακριβή θέση των υπό μελέτη γεωτρήσεων της περιοχής. Η πρώτη στήλη φέρει την κωδική ονομασία κάθε γεώτρησης. Η δεύτερη και η τρίτη στήλη αφορούν τις συντεταγμένες των γεωτρήσεων, γεωγραφικό μήκος και πλάτος αντίστοιχα. Η τέταρτη στήλη παρουσιάζει το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται κάθε γεώτρηση, σε σχέση πάντα με την επιφάνεια της θάλασσας.

Γεώτρηση Σ01N

Κωδικός γεώτρησης	coordX	coordY	coordZ
Σ01N	400629,219	4499656,837	0,7



Εικόνα 7. Τοποθεσία γεώτρησης Σ01.

Από τον Πίνακα 4 και το Διάγραμμα 4 βγαίνουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η σχετική στάθμη του υπόγειου νερού της γεώτρησης Σ01N κυμαίνεται μεταξύ 19,02-0m από την επιφάνεια του εδάφους. Η ελάχιστη τιμή καταγράφηκε στις 27/04/2005 και η μέγιστη στις 04/03/2016, κατά την οποία το υπόγειο νερό φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους.
- Στο διάστημα 27/04/2005-20/05/2011 διακρίνεται η απότομη ανοδική πορεία της στάθμης κατά την οποία η στάθμη από τα 19,02m ανήλθε στα 2,08m.
- Το διάστημα 20/05/2011-04/03/2016 χαρακτηρίζεται από αυξομειώσεις της σχετικής στάθμης της γεώτρησης. Συγκεκριμένα η στάθμη ταπεινώνεται έως τις 06/11/2011 που η τιμή της φτάνει τα 4,06m, ενώ στη συνέχεια αυξάνεται μέχρι τις 20/05/2012 με τιμή 0,73m. Έπειτα ακολουθεί η ελάχιστη μείωση της στάθμης στις 05/11/2014 κατά την οποία η τιμή της φτάνει τα 1,19m, με την άνοδό της όμως να συνεχίζεται από το διάστημα εκείνο και μετά. Έτσι, η σχετική στάθμη της γεώτρησης Σ01N βρίσκεται σήμερα στα 0 m, δηλαδή η απόλυτή της στάθμη είναι ίση με 0,7m

Πίνακας 4. Μετρήσεις στάθμης γεώτρησης Σ01Ν

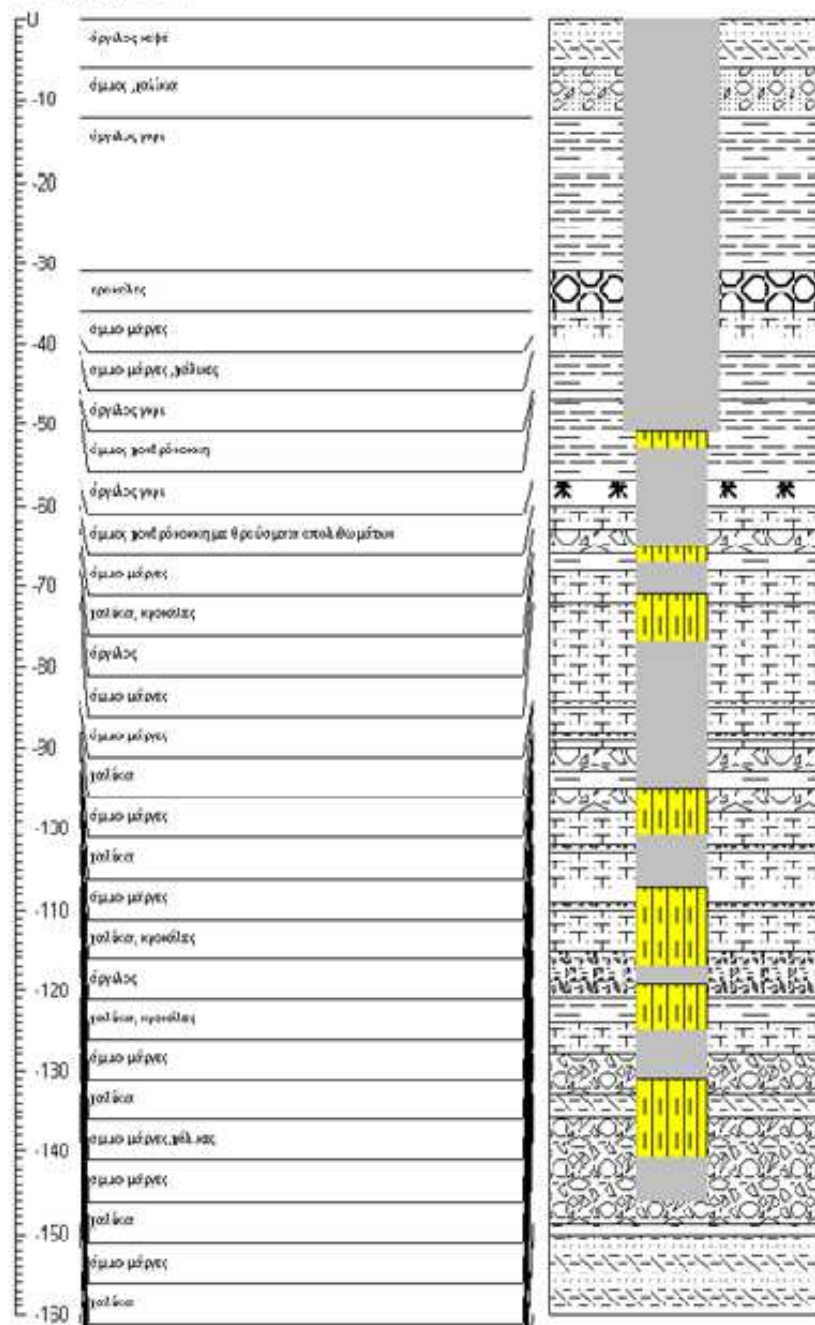
Γεώτρηση	Ημέρα Παρατήρησης	Σχετική Στάθμη (m)	Απόλυτη Στάθμη (m)
Σ01Ν	27/4/2005	19.02	-18.32
Σ01Ν	8/7/2005	17.63	-16.93
Σ01Ν	15/7/2005	17.97	-17.27
Σ01Ν	18/7/2005	17.99	-17.29
Σ01Ν	24/10/2005	14.77	-14.07
Σ01Ν	7/6/2006	12.28	-11.58
Σ01Ν	31/8/2009	6.78	-6.08
Σ01Ν	3/11/2009	6.94	-6.24
Σ01Ν	26/4/2010	6.93	-6.23
Σ01Ν	11/10/2010	6.23	-5.53
Σ01Ν	20/5/2011	2.08	-1.38
Σ01Ν	14/7/2011	3.56	-2.86
Σ01Ν	16/11/2011	4.06	-3.36
Σ01Ν	7/5/2012	1.45	-0.75
Σ01Ν	20/5/2012	0.73	-0.03
Σ01Ν	11/5/2014	1.15	-0.45
Σ01Ν	5/11/2014	1.19	-0.49
Σ01Ν	10/11/2015	0.33	0.37
Σ01Ν	4/3/2016	0	0.7



Διάγραμμα 4. Διακύμανση σχετικής στάθμης γεώτρηση Σ01Ν.

Στο Σχήμα 1, απεικονίζεται η στρωματογραφική στήλη της γεώτρησης Σ01Ν, καθώς επίσης και οι περιοχές στις οποίες τοποθετήθηκαν φιλτροσωλήνες (περιοχές κίτρινου χρώματος), στα αδρόκοκκα και πιο υδροπερατά στρώματα. Οι φιλτροσωλήνες βρίσκονται στα βάθη 51-54m, 63-67m, 71-77m, 95-100m, 108-117m, 119-124m και 130-140m. Στα στρώματα όπου επικρατούν λεπτόκοκκα υλικά τοποθετήθηκαν τυφλοί σωλήνες (περιοχές γκριζου χρώματος). Η γεωλογική τομή χαρακτηρίζεται από εναλλαγές άμμων, χαλικιών, κροκάλων, μαργών και αργίλων. Το βάθος της γεώτρησης φτάνει στα 148m.

Γεώτρηση Σ01N



Σχήμα 2. Λιθοστρωματογραφική στήλη γεώτρησης Σ01N

Γεώτρηση Σ02

Κωδικός γεώτρησης	coordX	coordY	coordZ
Σ02	400797,323	4500214,035	0,7



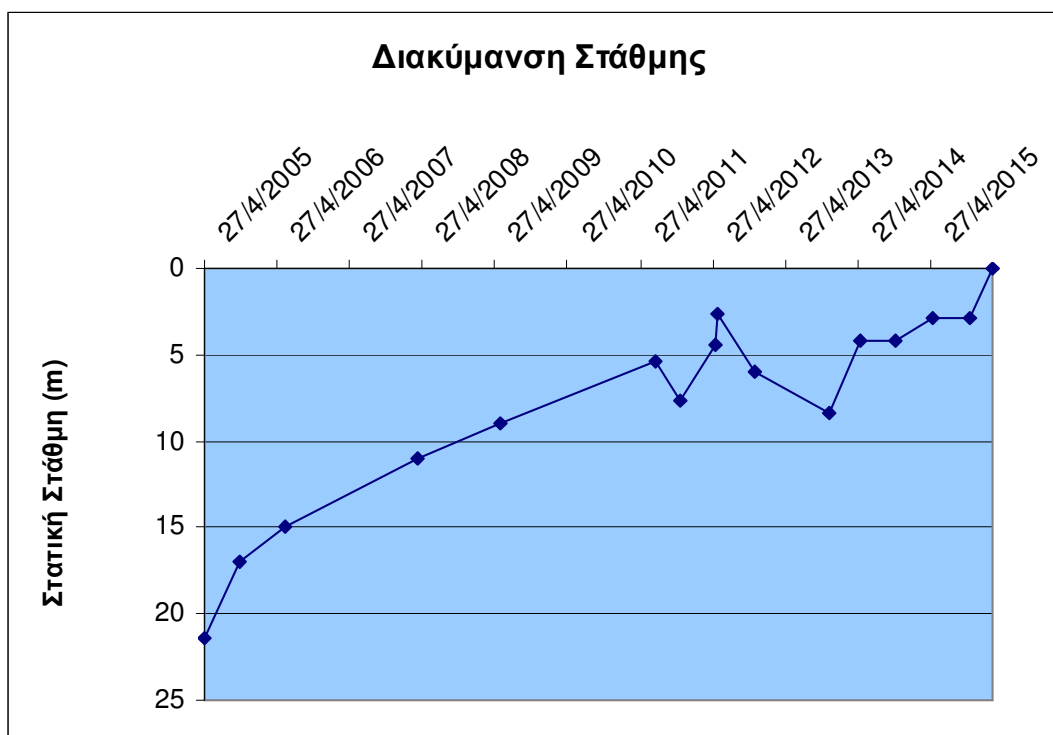
Εικόνα 8. Τοποθεσία γεώτρησης Σ02.

Από τον Πίνακα 5 και το Διάγραμμα 5 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η σχετική στάθμη του υπόγειου νερού της γεώτρησης Σ02 κυμαίνεται μεταξύ 21,42-0m από την επιφάνεια του εδάφους. Η ελάχιστη τιμή καταγράφηκε στις 27/04/2005 και η μέγιστη στις 04/03/2016, κατά την οποία το υπόγειο νερό φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους.
- Στο διάστημα 27/04/2005-14/07/2011 διακρίνεται η απότομη ανοδική πορεία της στάθμης κατά την οποία η στάθμη από τα 19,02m ανήλθε στα 5,35m.
- Το διάστημα 14/07/2011-04/03/2016 χαρακτηρίζεται από αυξομειώσεις της σχετικής στάθμης της γεώτρησης. Συγκεκριμένα η στάθμη ταπεινώνεται στις 16/11/2011 φτάνοντας το βάθος των 7,71 m, ενώ στη συνέχεια αυξάνεται μέχρι τις 20/05/2012 με τιμή 2,59 m. Έπειτα ακολουθεί η μείωση της στάθμης στις 04/12/2013 κατά την οποία η τιμή της φτάνει τα 8,35m. Ακολουθεί η σταδιακή ανοδική πορεία της στάθμης μέχρι και σήμερα. Η σημερινή κατάσταση της στάθμης του υπόγειου νερού που φτάνει μέχρι την επιφάνεια του εδάφους (0 m) προσδίδει στην γεώτρηση Σ02 τον χαρακτηρισμό ως αρτεσιανή.

Πίνακας 5. Μετρήσεις στάθμης γεώτρησης Σ02

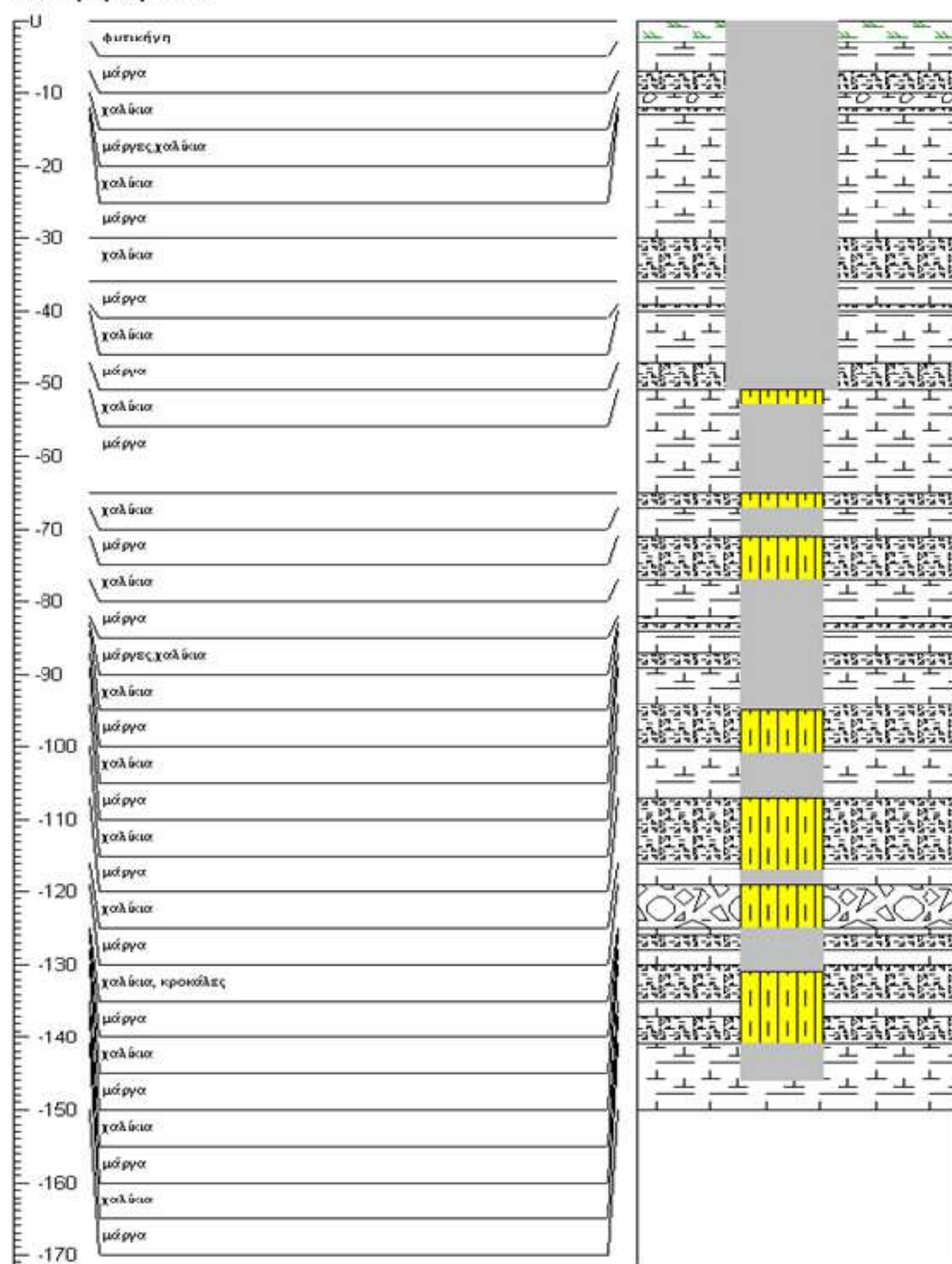
Ημέρα Παρατήρησης	Σχετική στάθμη (m)	Απόλυτη στάθμη (m)
27/4/2005	21.42	-20.72
24/10/2005	17.03	-16.33
7/6/2006	14.91	-14.21
2/4/2008	10.95	-10.25
21/5/2009	8.96	-8.26
14/7/2011	5.35	-4.65
16/11/2011	7.71	-7.01
7/5/2012	4.45	-3.75
20/5/2012	2.59	-1.89
27/11/2012	5.99	-5.29
4/12/2013	8.35	-7.65
11/5/2014	4.13	-3.43
5/11/2014	4.13	-3.43
6/5/2015	2.92	-2.22
10/11/2015	2.92	-2.22
4/3/2016	0	0.7



Διάγραμμα 5. Διακύμανση σχετικής στάθμης γεώτρησης Σ02

Στο Σχήμα 2, απεικονίζεται η στρωματογραφική στήλη της γεώτρησης Σ02. Η γεώτρηση φτάνει σε βάθος 142m. Αποτελείται κατά κύριο λόγο από εναλλαγές μαργών (λεπτόκοκκα υλικά) και χαλικιών (αδρόκοκκα υλικά) με μικρές παρεμβολές κροκάλων στο βάθος των 119-125m. Οι φιλτροσωλήνες (περιοχές γκρίζου χρώματος) έχουν τοποθετηθεί στα πιο υδροπερατά στρώματα με σκοπό την καλύτερη απόδοση της γεώτρησης και την εξασφάλιση της καλύτερης ποιότητας αντλούμενου νερού. Εντοπίζονται σε βάθη 51-54m, 65-67m, 71-77m, 95-101m, 107-117m, 119-125m και 131-141m.

Γεώτρηση Σ02



Σχήμα 3. Στρωματογραφική στήλη γεώτρησης Σ02

Γεώτρηση Σ03

Κωδικός γεώτρησης	coordX	coordY	coordZ
Σ03	400905,193	4500837,301	3,4



Εικόνα 9. Τοποθεσία γεώτρησης Σ03.

Από τον Πίνακα 6 και το Διάγραμμα 6 προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η χαμηλότερη σχετική στάθμη καταγράφηκε στις 24/10/2005 με τιμή 17,17m και η υψηλότερη σχετική στάθμη στις 06/05/2016 με τιμή 1,07m από την επιφάνεια του εδάφους. Αυτό σημαίνει ότι η απόλυτη στάθμη στις 06/05/2016 βρισκόταν 2,33 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.
- Η διακύμανση της στάθμης χαρακτηρίζεται από μια σταδιακή ανοδική πορεία με ενδιάμεσες αυξομειώσεις της στάθμης. Συγκεκριμένα, παρατηρείται άνοδος της στάθμης στις 04/05/2007 στα 9,61m, ενώ στα χρονικά διαστήματα 10/10/2007-21/05/2009, 26/04/2010-20/05/2011 και 16/11/2011-20/05/2012 η στάθμη ανέρχεται στα 6,76m, 3,17m και 2,21m αντίστοιχα. Ενδιάμεσα των παραπάνω διαστημάτων παρατηρείται πτώση της στάθμης. Τέλος, στο διάστημα 11/05/2014-06/05/2016 παρατηρείται άνοδος της στάθμης με μια πολύ μικρή πτώση στις 10/11/2015.

Στο Σχήμα 3 απεικονίζεται η στρωματογραφική στήλη της γεώτρησης Σ03. Η Σ03 φτάνει σε βάθος 122m και η λιθολογία της αποτελείται από εναλλαγές αδρόκοκκων και λεπτόκοκκων υλικών. Πιο συγκεκριμένα αποτελείται από εναλλαγές πηλών και

χαλικιών με παρεμβολές άμμου-χαλικιών στο βάθος των 20-25 m και παρεμβολές κροκαλών σε βάθος 108-113 m.

Οι φιλτροσωλήνες (κίτρινου χρώματος) έχουν τοποθετηθεί στα πιο υδροφόρα στρώματα σε βάθη 26-35 m, 48-52 m, 59-69 m, 76-82 m, 88-98 m και 118-120 m και οι τυφλοί σωλήνες (γκρίζου χρώματος) παρεμβάλλονται μεταξύ αυτών.

Πίνακας 6. Μετρήσεις στάθμης γεώτρησης Σ03.

Ημέρα Παρατήρησης	Σχετική στάθμη (m)	Απόλυτη στάθμη (m)
24/10/2005	17.17	-13.77
4/5/2007	9.61	-6.21
15/6/2007	10.58	-7.18
6/7/2007	11.52	-8.12
10/10/2007	11.29	-7.89
2/4/2008	7.66	-4.26
21/5/2009	6.76	-3.36
3/11/2009	9.85	-6.45
26/4/2010	7.89	-4.49
14/10/2010	7.52	-4.12
20/5/2011	3.17	0.23
14/7/2011	4.91	-1.51
16/11/2011	5.13	-1.73
7/5/2012	2.78	0.62
20/5/2012	2.21	1.19
27/11/2012	3.69	-0.29
4/12/2013	4.19	-0.79
11/5/2014	2.58	0.82
5/11/2014	2.48	0.92
6/5/2015	1.31	2.09
10/11/2015	1.63	1.77
19/2/2016	1.3	2.1
6/5/2016	1.07	2.33



Γεώτρηση Σ06

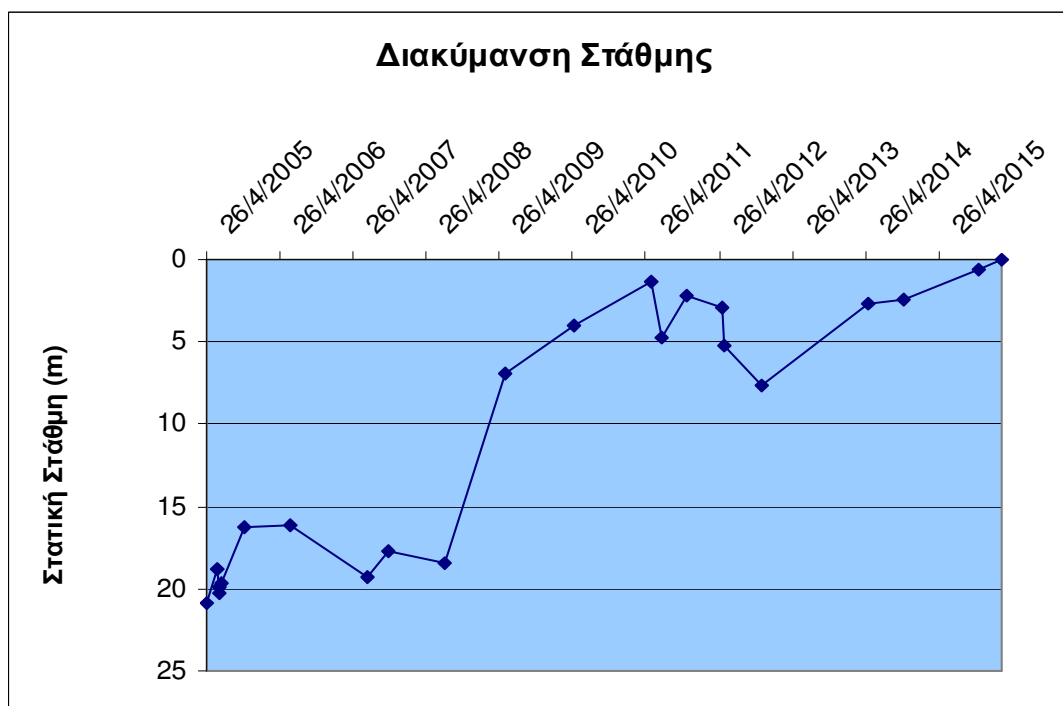
Κωδικός γεώτρησης	coordX	coordY	coordZ
Σ06	399011,596	4500017,754	0,8

Πίνακας 7.Μετρήσεις στάθμης γεώτρησης Σ06

Ημέρα Παρατήρησης	Σχετική Στάθμη (m)	Απόλυτη Στάθμη (m)
26/4/2005	20.82	-20.02
15/6/2005	18.8	-18
22/6/2005	20.22	-19.42
24/6/2005	19.92	-19.12
1/7/2005	19.87	-19.07
4/7/2005	19.7	-18.9
27/10/2005	16.3	-15.5
16/6/2006	16.2	-15.4
6/7/2007	19.32	-18.52
16/10/2007	17.75	-16.95
28/7/2008	18.48	-17.68
20/5/2009	6.97	-6.17
28/4/2010	3.95	-3.15
20/5/2011	1.34	-0.54
14/7/2011	4.73	-3.93
16/11/2011	2.21	-1.41
7/5/2012	2.92	-2.12
20/5/2012	5.18	-4.38
27/11/2012	7.62	-6.82
12/5/2014	2.69	-1.89
5/11/2014	2.48	-1.68
10/11/2015	0.6	0.2
4/3/2016	0	0.8



Εικόνα 10. Τοποθεσία της γεώτρησης Σ06.



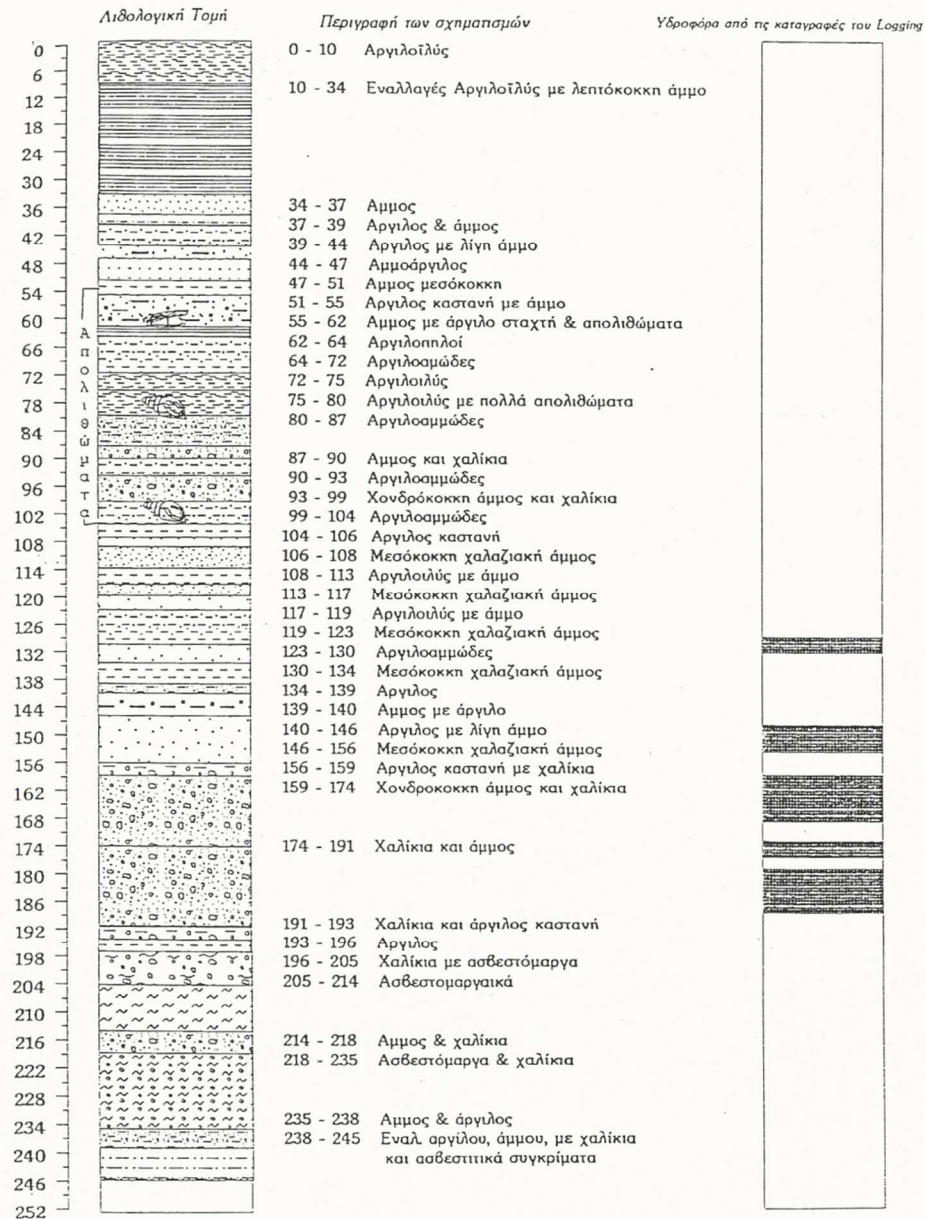
Διάγραμμα 7. Διακύμανση σχετικής στάθμης της γεώτρησης Σ06.

Από τον Πίνακα 7 και το Διάγραμμα 7 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η χαμηλότερη σχετική στάθμη του υπόγειου νερού στην γεώτρηση Σ06 καταγράφηκε στις 26/04/2005 με τιμή 20,82 m από την επιφάνεια του εδάφους και η υψηλότερη σχετική στάθμη καταγράφηκε στις 04/03/2016 με τιμή 0m- γεγονός που χαρακτηρίζει την γεώτρηση αρτεσιανή.
- Η διακύμανση της στάθμης χαρακτηρίζεται από συνεχείς αυξομειώσεις που όμως ακολουθούν μια συνεχή σταδιακή ανοδική πορεία της στάθμης. Συγκεκριμένα, στο χρονικό διάστημα 26/04/2005-16/06/2006 η στάθμη παρουσιάζει μια σταδιακή άνοδο που καταλήγει στα 16,2m από την επιφάνεια του εδάφους. Ακολουθεί μια πτώση της στάθμης και στη συνέχεια πάλι η ανοδική πορεία της στο χρονικό διάστημα 28/07/2008-20/05/2011, κατά το οποίο η τιμή της ανέρχεται στα 1,34m. Στη συνέχεια καταγράφεται απότομη πτώση της στάθμης μέχρι τα 7,62m στις 27/11/2011. Από εκείνη τη στιγμή η στάθμη ακολουθεί ανοδική πορεία μέχρι και σήμερα που φτάνει μέχρι την επιφάνεια του εδάφους (0m).

Λιθολογικά, όπως φαίνεται στην τομή του Σχήματος 4, η γεώτρηση αποτελείται από εναλλαγές αργίλων, άμμων, χαλικιών και ασβεστομάργες που συναντώνται σε μεγαλύτερα βάθη. Το βάθος της Σ06 φτάνει τα 252 m.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ Σ6 (ΣΙΝΔΟΣ)



Σχήμα 5. Λιθολογική τομή γεώτρησης Σ06.

Γεώτρηση Σ07

Κωδικός γεώτρησης	coordX	coordY	coordZ
Σ07	398530,399	4500117,221	1



Εικόνα 11.Τοποθεσία γεώτρησης Σ07.

Από τον Πίνακα 8 και το Διάγραμμα 8 προκύπτουν για την γεώτρηση Σ07 τα εξής συμπεράσματα:

- Η σχετική στάθμη κυμαίνεται από 18,53 έως 0,51 m. Η χαμηλότερη τιμή της σχετικής στάθμης καταγράφηκε στις 24/09/2008 και η υψηλότερη στις 04/03/2016.
- Η διακύμανση της σχετικής στάθμης της γεώτρησης Σ07 χαρακτηρίζεται από έντονες αυξομειώσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η γεώτρηση λειτουργεί κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες για την υδροδότηση της πόλης της Θεσσαλονίκης. Στο χρονικό διάστημα 10/06/2005-27/04/2007 παρατηρείται ανοδική πορεία του υπόγειου νερού με την στάθμη να φτάνει τα 10,18 m. Ακολουθεί απότομη πτώση της στάθμης στις 16/10/2007 με την τιμή της να πέφτει στα 18 m και ξανά άνοδος της στάθμης στα 12,34 m, όπως αυτή καταγράφηκε στις 02/04/2008. Το διάστημα που ακολουθεί, 02/04/2008-24/09/2008 παρατηρείται πάλι πτώση της στάθμης του υπόγειου νερού, με τιμή 18,53 m. Η καταγραφή της στάθμης στις 20/05/2009 έδειξε την απότομη άνοδο της φτάνοντας ως τα 6,71m και ακολουθεί η ταπείνωση της στα 16,46m

στις 30/10/2009. Στις 20/05/2012 η στάθμη ανέρχεται στα 0,7 m, και έπεται η τελευταία περίοδος έντονης πτώσης στάθμης, με την τιμή της να φτάνει τα 12,53 m στις 12/11/2012. Στις 27/11/2012 ξεκινάει η σταδιακή άνοδος της στάθμης μέχρι τα 0,51m, καταγραφή που πραγματοποιήθηκε στις 04/03/2016. Κατά την τελευταία παρατήρηση στις 06/05/2016 εντοπίζεται ελάχιστη πτώση της στάθμης, με τιμή 0,62m.

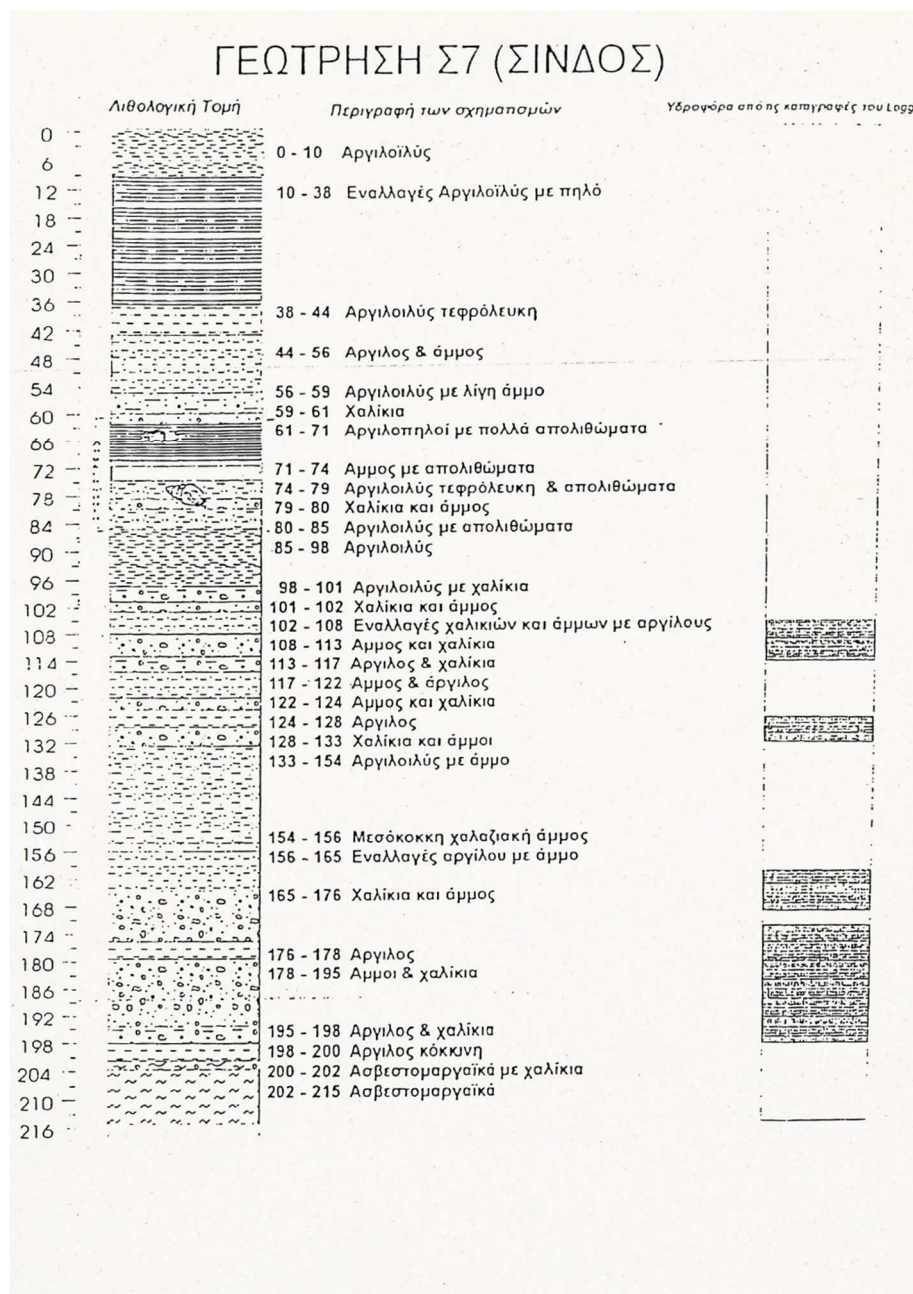
Πίνακας 8.Μετρήσεις στάθμης γεώτρησης Σ07.

Γεώτρηση	Ημέρα Παρατήρησης	Σχετική Στάθμη (m)	Απόλυτη Στάθμη (m)
Σ07N	10/6/2005	16.89	-15.89
Σ07N	27/10/2005	12.63	-11.63
Σ07N	27/4/2007	10.18	-9.18
Σ07N	16/10/2007	18.01	-17.01
Σ07N	2/4/2008	12.34	-11.34
Σ07N	28/7/2008	18.27	-17.27
Σ07N	24/9/2008	18.53	-17.53
Σ07N	20/5/2009	6.71	-5.71
Σ07N	30/10/2009	16.46	-15.46
Σ07N	20/5/2012	0.72	0.28
Σ07N	12/11/2012	12.53	-11.53
Σ07N	27/11/2012	7.85	-6.85
Σ07N	12/5/2014	3.49	-2.49
Σ07N	5/11/2014	3.41	-2.41
Σ07N	2/4/2015	2.81	-1.81
Σ07N	10/11/2015	1.4	-0.4
Σ07N	4/3/2016	0.51	0.49
Σ07N	6/5/2016	0.62	0.38



Διάγραμμα 8. Διακύμανση σχετικής στάθμης Γεώτρησης Σ07Ν.

Η γεώτρηση Σ07 φτάνει τα 215m βάθος. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, λιθολογικά αποτελείται από εναλλαγές ιλύων, αργίλων, άμμων, χαλικιών και μίγματα αυτών. Οι φιλτροσωλήνες τοποθετήθηκαν στα πιο υδροπερατά στρώματα, δηλαδή στα στρώματα των χαλικιών και των άμμων τα οποία είναι απαλλαγμένα από λεπτόκοκκα υλικά, στα βάθη 122-124m, 128-133m, 165-176m, 178-195m.



Σχήμα 6. Στρωματογραφική στήλη της γεώτρησης Σ07

4.2. Μελέτη και σύγκριση της διακύμανσης της στάθμης του υπόγειου νερού για τα έτη 2005 και 2016.

Για τη μελέτη της διακύμανσης της στάθμης του υπόγειου νερού των ετών 2005 και 2016 χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία των μετρήσεων που συλλέχθηκαν τον Οκτώβριο του 2005 και την περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου του 2016. Στον Πίνακα 9 φαίνονται αναλυτικά οι κωδικές ονομασίες των γεωτρήσεων της περιοχής Σίνδου, η ακριβής γεωγραφική τους θέση στο σύστημα συντεταγμένων και οι τιμές τις σχετικής και απόλυτης στάθμης για το κάθε έτος ξεχωριστά. Η σύγκριση τις στάθμης του υπόγειου νερού έγινε με την κατασκευή τρισδιάστατων πιεζομετρικών χαρτών με την βοήθεια του προγράμματος Surfer 9.

Η *ισοπιεζομετρική επιφάνεια* είναι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων της επιφάνειας του νερού που απέχουν συγκεκριμένη απόσταση από το επίπεδο αναφοράς και απεικονίζεται με ισοπιεζομετρικές ή ισοδυναμικές καμπύλες. *Γραμμή ροής* είναι μια φανταστική γραμμή που αποτυπώνει την πορεία που διαγράφει ένα μόριο νερού κατά την κίνηση του σε έναν υπόγειο υδροφόρο.



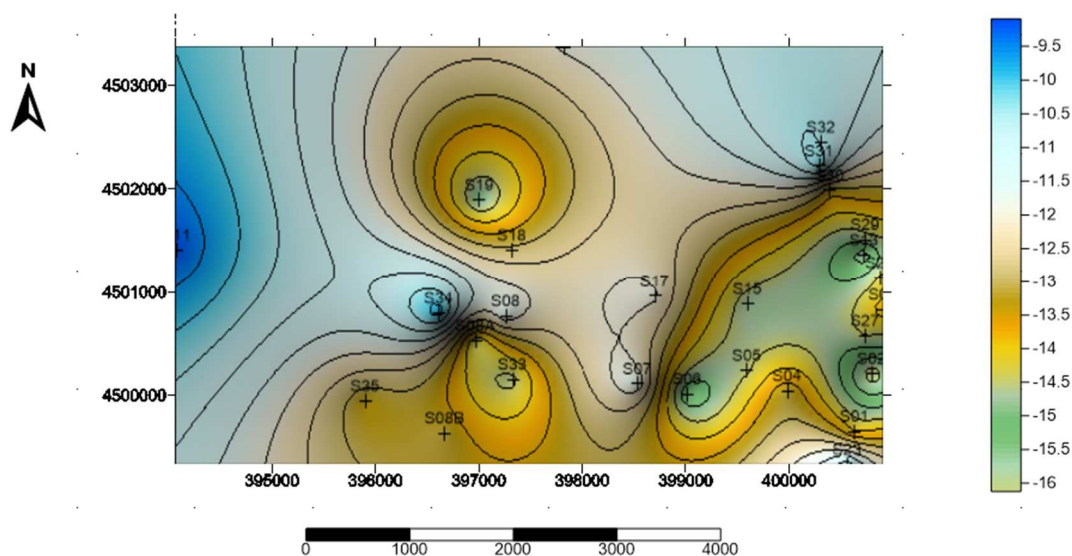
Εικόνα 12. Τοποθεσίες των γεωτρήσεων στην περιοχή της Σίνδου.

Πίνακας 9. Τιμές Σχετικής (Σ.Σ) και Απόλυτης (Α.Σ.) στάθμης για τα έτη 2005, 2016

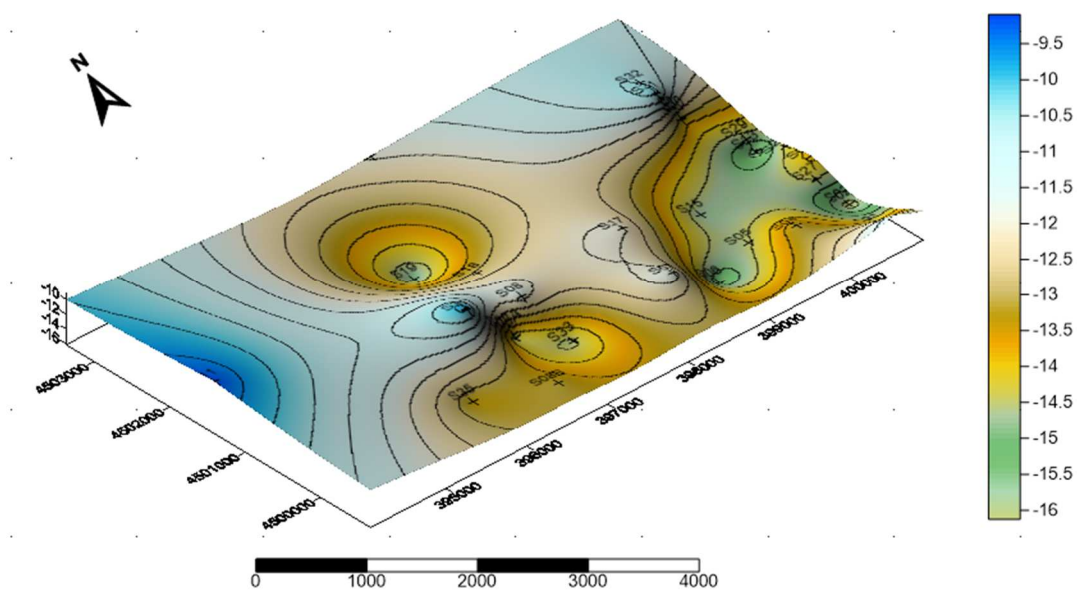
Γεώτρηση	coordX	coordY	Σ.Σ. 2005	Σ.Σ. 2016	Α.Σ. 2005	Α.Σ. 2016
Σ01	400629.219	4499656.837	14.77	0	-14.07	0.7
Σ02	400797.323	4500214.035	17.03	0	-16.33	0.7
Σ03	399978.42	4500047.845	17.17	1.3	-13.77	2.1
Σ04	400028.2	4500272.64	13.91	0	-13.11	0.8
Σ05	399588.4	4500246.54	15.36		-14.56	
Σ06	398958	4500152.73	16.3	0	-15.5	0.8
Σ07	398499.7	4500236.62		0.51	-11.63	0.49
Σ08	397255.2	4500774.07	12.83		-11.63	
Σ08Α	397071.2	4500606.82	16.32	1.54	-14.52	0.26
Σ08Β	396666.5	4499640.55	15.03		-13.13	
Σ09	396176.8	4501131.36		1.01		1.79
Σ10Α	394861.368	4501217.69		0.76		-0.76
Σ11	394064	4501506.01	13.09	2	-9.09	2
Σ13	400698.9	4501413.49	19.88	6.3	-15.88	-2.3
Σ14	399986.702	4501460.76		4.03		
Σ15	399642.2	4501033.74	16.81	0	-14.81	2
Σ16	397722.8	4501525.04				
Σ17	398697.094	4500968.936	14.71	0	-11.91	2.8
Σ18	397278.6	4501366.83	14.28	0	-12.88	1.4
Σ19	396926.8	4501832.56	17.25	0	-15.05	2.2
Σ23	400552.2	4499423.8	11.31	0	-10.61	0.7
Σ24	400018.8	4499745.14				
Σ26Ν	397730.3	4499908.79		0		1.5
Σ27	400742.5	4500599.2	17.29	4.38	-14.49	-1.58
Σ28	400852.1	4501045.12	17.58	3.26	-14.38	-0.06
Σ29	400833	4501224.46	18.59	4.76	-14.69	-0.86
Σ30	400561.4	4501676.16	18.33	4.1	-13.33	0.9
Σ31	400330	4502039.18	17.32	4	-10.22	3.1
Σ32	400269.5	4502404.48	18.83	5.1	-10.53	3.2
Σ33	397413.7	4500306.54	16.24	1.01	-14.64	0.59
Σ34	396691.9	4500777.64	12.17	0.43	-9.67	2.07
Σ35	395898.3	4499949.84	15.79		-13.39	
ΒΗΠΕΘ	397823.22	4503372.77			-11.93	
Max			19.88	6.3	-9.09	3.2
Min			11.31	0	-16.33	-2.3

Για το έτος 2005:

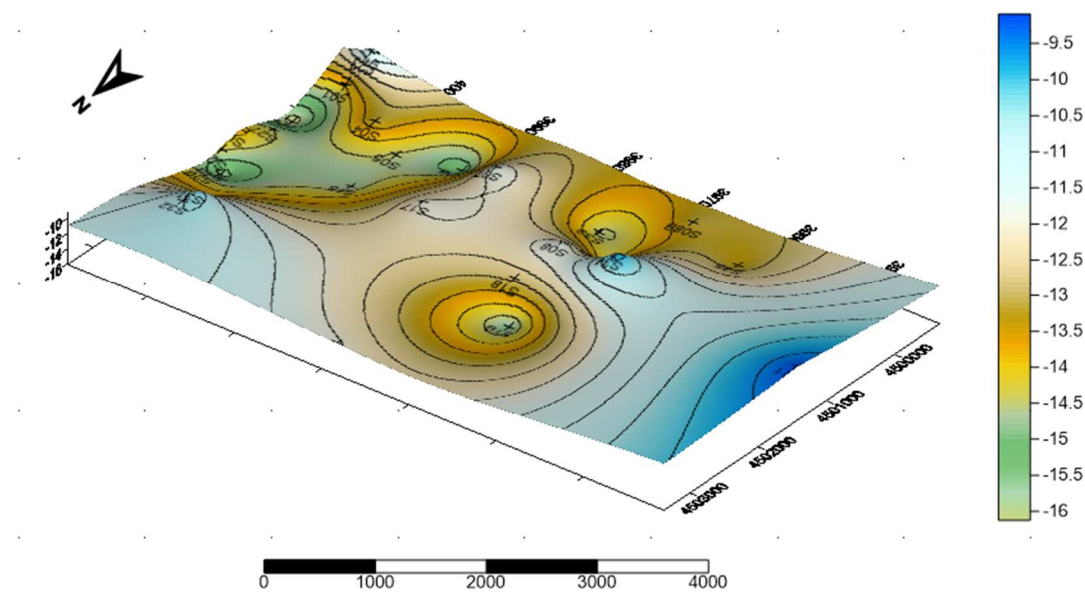
- Η απόλυτη στάθμη του υπόγειου νερού κυμαίνεται μεταξύ -9,09m έως -16,33m. Η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε στη γεώτρηση Σ11 και η χαμηλότερη στη γεώτρηση Σ02.
- Χαρτογραφήθηκαν οι απόλυτες στάθμες των γεωτρήσεων, καθώς και οι ισοδυναμικές καμπύλες. Φαίνεται ότι η διάταξη των ισοπιεζομετρικών καμπυλών είναι αραιή. Αυτό οφείλεται είτε σε μικρή υδραυλική κλίση, δηλαδή μικρή παροχή υπογείου νερού, είτε σε μεγάλη υδροπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών. Τα παραπάνω απεικονίζονται στα Σχήματα 7, 8 και 9 από τρεις διαφορετικές οπτικές γωνίες.
- Στα Σχήματα 10, 11 και 12 απεικονίζονται οι γραμμές ροής οι οποίες αποτυπώνουν την πορεία που ακολουθεί το νερό καθώς κινείται στον υπόγειο υδροφόρα.



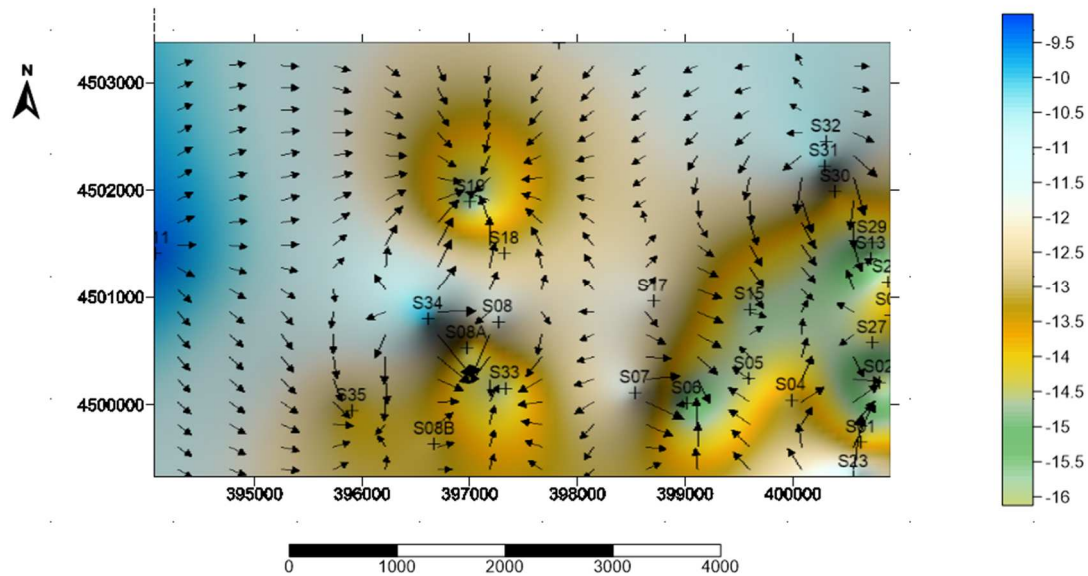
Σχήμα 7. Πιεζομετρικός χάρτης περιοχής Σίνδου για το έτος 2005



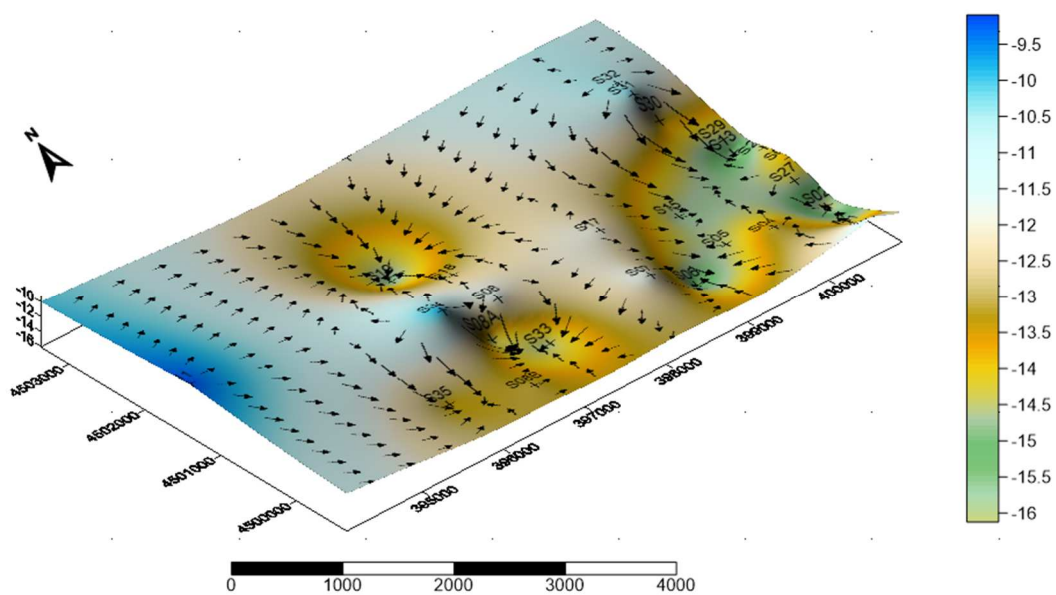
Σχήμα 8. Τρισδιάστατη απεικόνιση πιεζομετρίας για το έτος 2005.



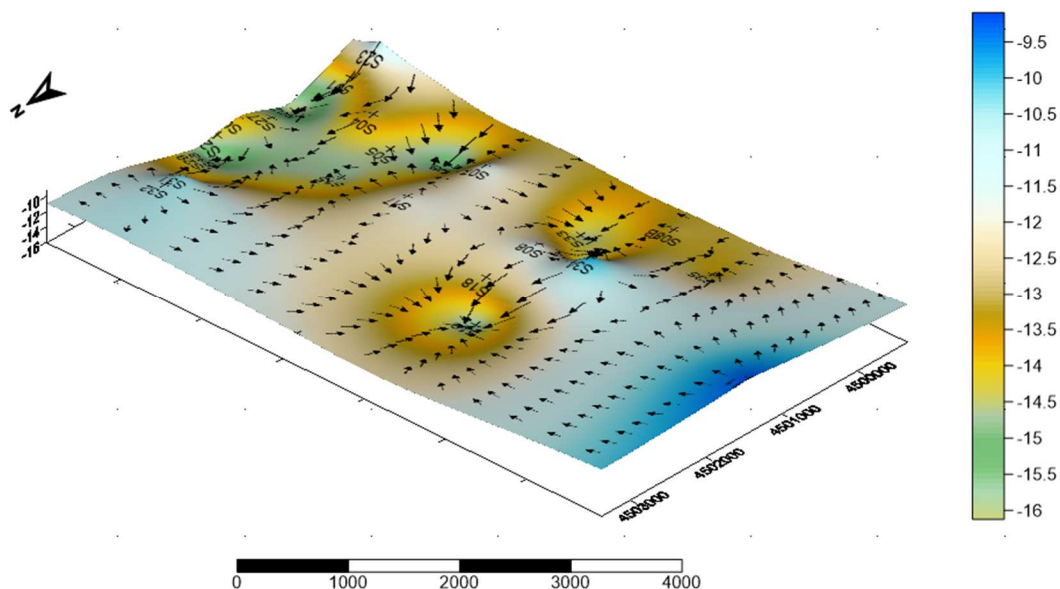
Σχήμα 9. Τρισδιάστατη απεικόνιση πιεζομετρίας για το έτος 2005.



Σχήμα 10. Χάρτης γραμμών ροής περιοχής Σίνδου για το έτος 2005.



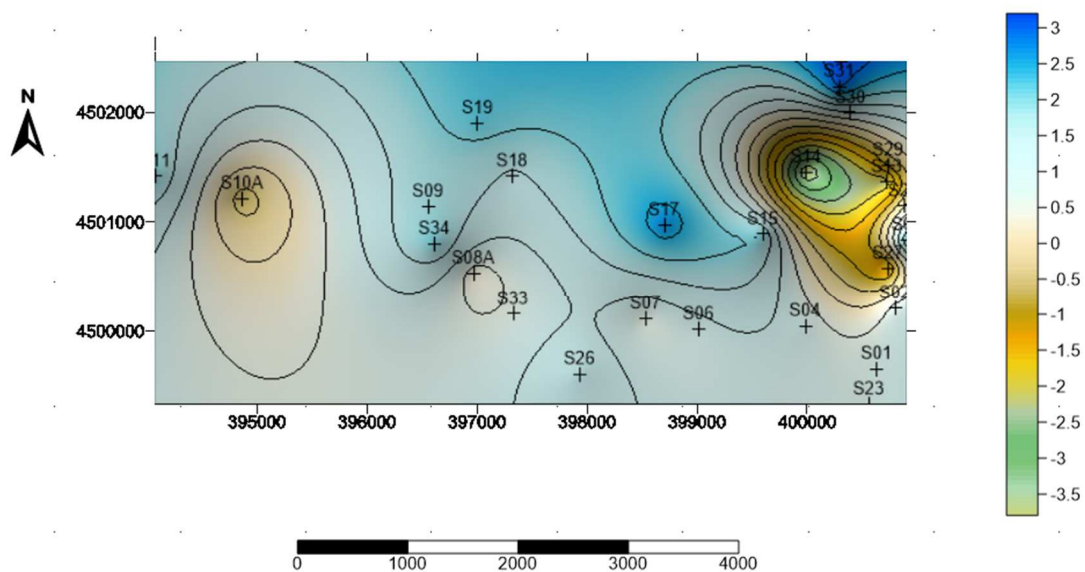
Σχήμα 11. Τρισδιάστατη απεικόνιση γραμμών ροής για το έτος 2005.



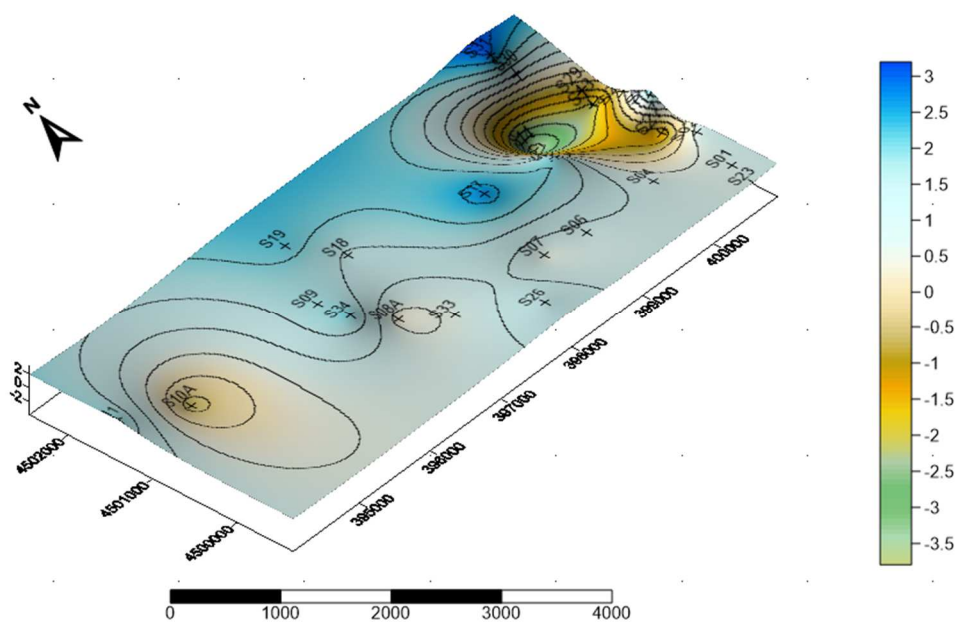
Σχήμα 12. Τρισδιάστατη απεικόνιση γραμμών ροής για το έτος 2005.

Για το έτος 2016:

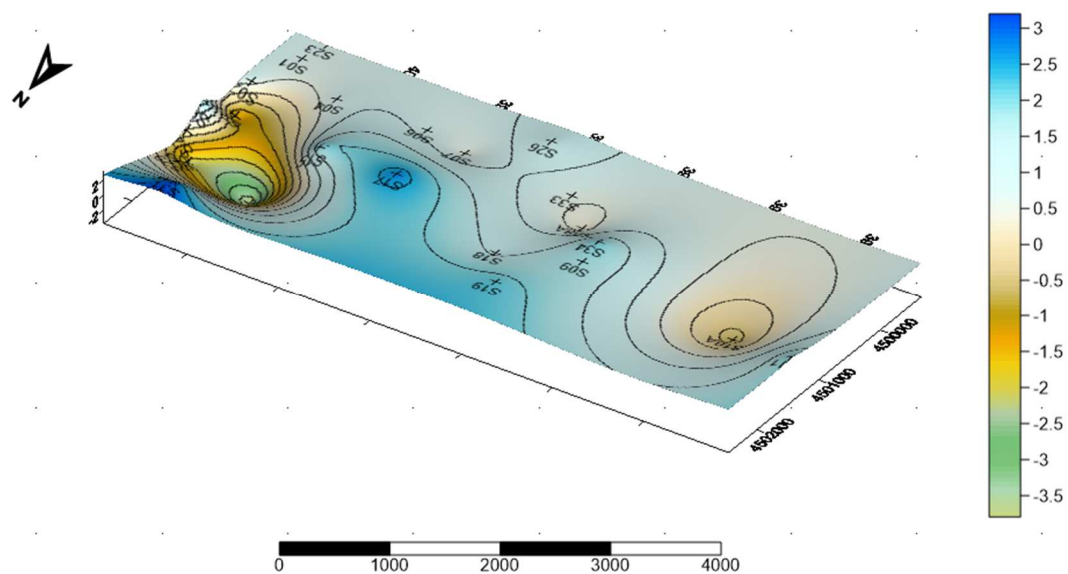
- Η απόλυτη στάθμη του υπόγειου νερού κυμαίνεται μεταξύ +3,2 m έως -2,3 m. Η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε στην γεώτρηση Σ32 και η χαμηλότερη στην γεώτρηση Σ13.
- Στον πιεζομετρικό χάρτη των Σχημάτων 13, 14 και 15 εμφανίζονται σημεία όπου η διάταξη των ισοπιεζομετρικών καμπυλών είναι πολύ πυκνή και σημεία στα οποία η διάταξη τους είναι αραιή. Η πυκνή διάταξη μαρτυρά μεγαλύτερη υδραυλική κλίση, δηλαδή μεγάλη παροχή του υπόγειου υδροφορέα, και η αραιή διάταξη μικρότερη υδραυλική κλίση, δηλαδή μικρή παροχή του υπόγειου υδροφορέα.
- Στα Σχήματα 16, 17 και 18 αποτυπώνονται οι γραμμές ροής του νερού, οι οποίες προσδιορίζουν την διεύθυνση της υπόγειας ροής και της αποστράγγισης.



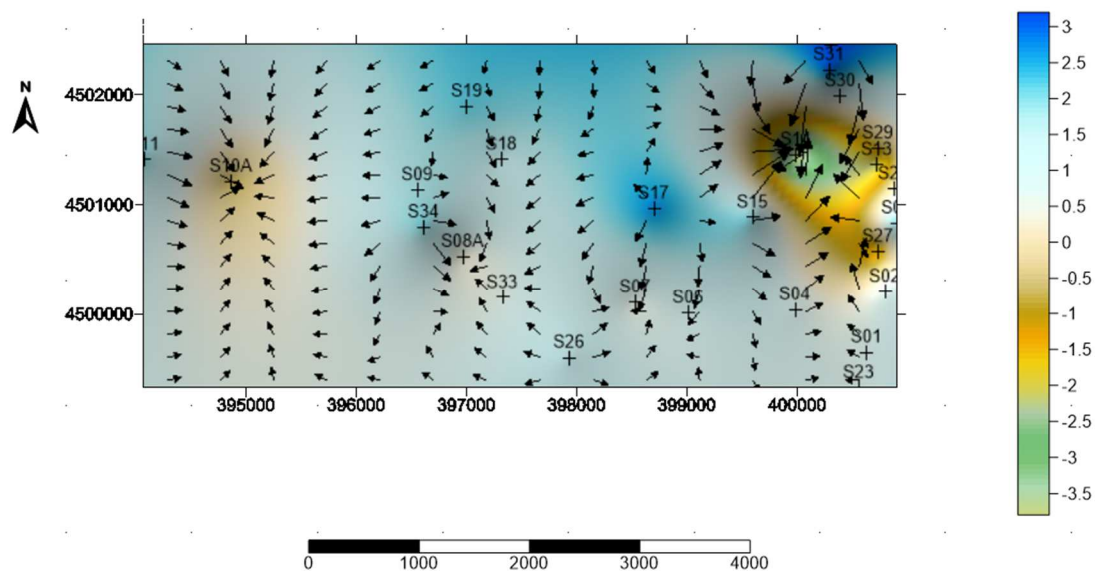
Σχήμα 13. Πιεζομετρικός χάρτης περιοχής Σίνδου για το έτος 2016.



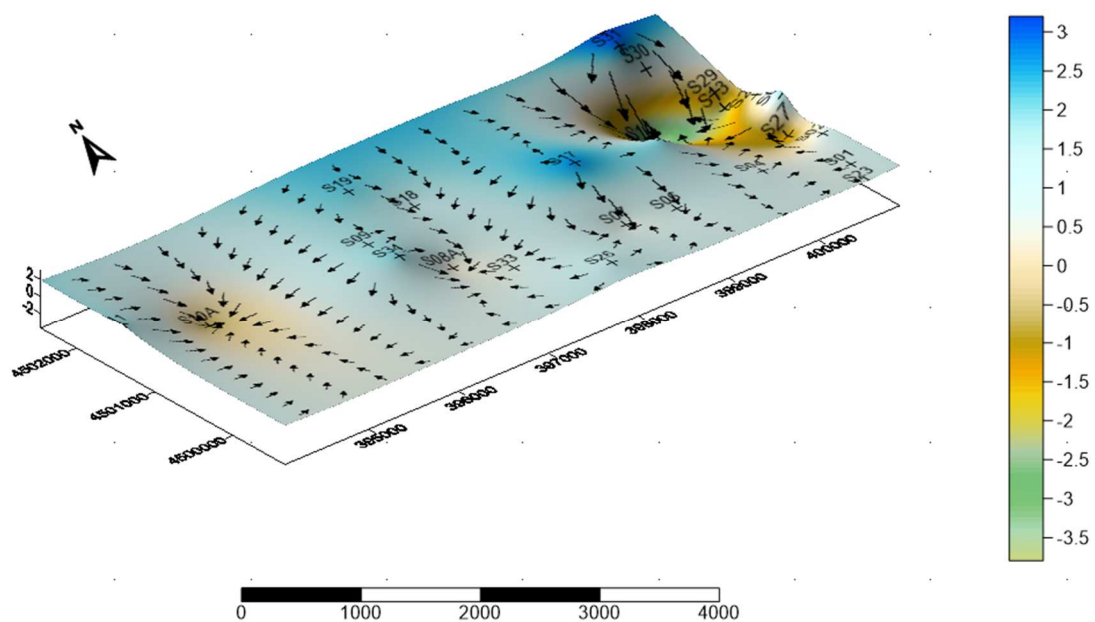
Σχήμα 14. Τρισδιάστατη απεικόνιση της πιεζομετρίας για το έτος 2016.



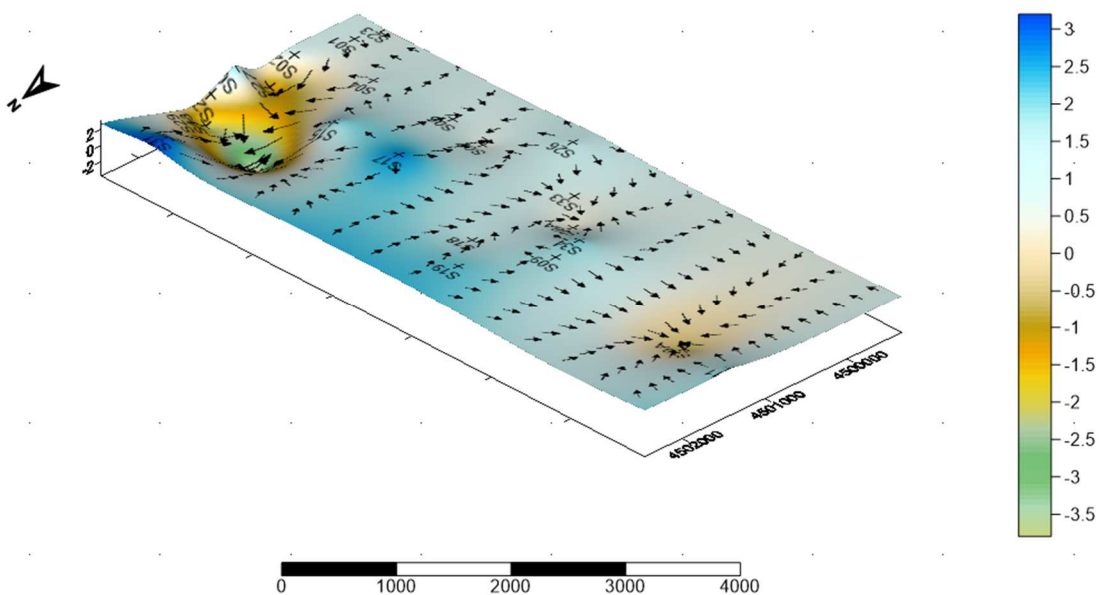
Σχήμα 15. Τρισδιάστατη απεικόνιση της πιεζομετρίας για το 2016.



Σχήμα 16. Χάρτης γραμμών ροής για την περιοχή της Σίνδου το έτος 2016.

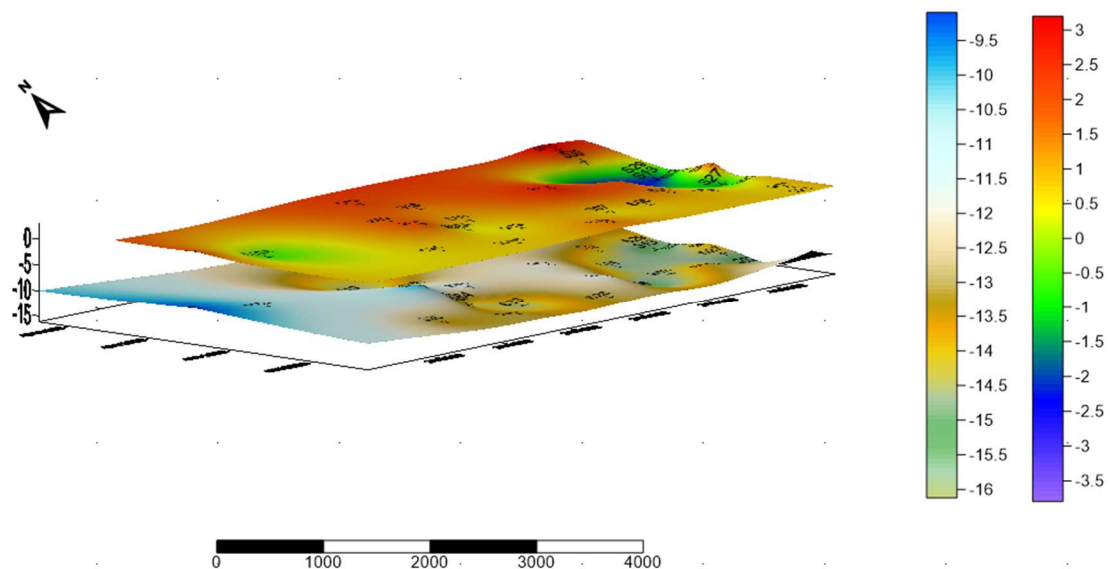


Σχήμα 17. Τρισδιάστατη απεικόνιση γραμμών ροής για το έτος 2016.

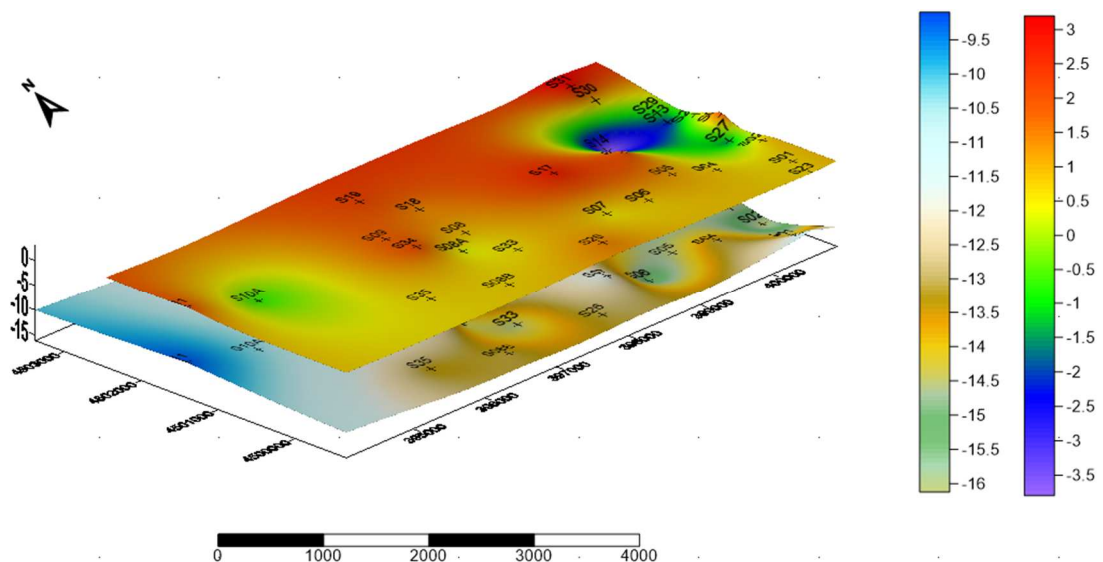


Σχήμα 18. Τρισδιάστατη απεικόνιση γραμμών ροής για το έτος 2016.

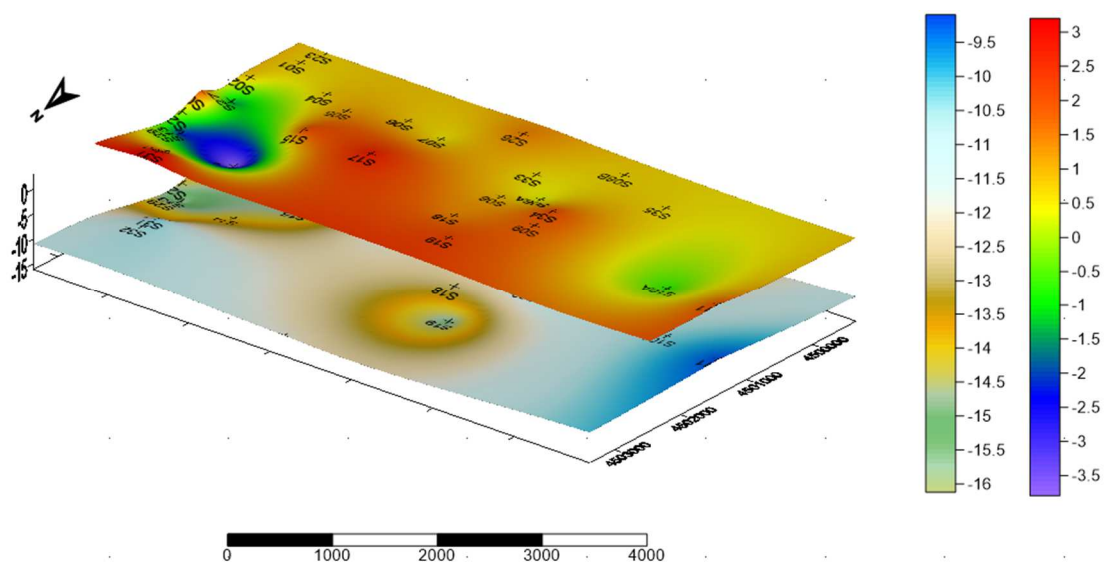
Στα Σχήματα 19, 20 και 21 απεικονίζεται η σύγκριση των τιμών της στάθμης του υπόγειου νερού μεταξύ των ετών 2005 και 2016. Η σύγκριση αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα της αισθητής ανοδικής πορείας της πιεζομετρικής επιφάνειας το έτος 2016.



Σχήμα 19. Τρισδιάστατη συγκριτική τομή για τα έτη 2005, 2016.



Σχήμα 20. Τρισδιάστατη συγκριτική τομή για τα έτη 2005,2016.



Σχήμα 21. Τρισδιάστατη συγκριτική τομή για τα έτη 2005, 2016.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρατέθηκαν σχετικά με τη διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού σε γεωτρήσεις της περιοχής Σίνδου, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Η χαμηλότερη απόλυτη στάθμη για το έτος 2016 βρίσκεται στα -2,3 m (γεώτρηση Σ13) και η υψηλότερη στα 3,2 m (γεώτρηση Σ32). Για το έτος 2005 η χαμηλότερη βρίσκεται στα -16,33 m (γεώτρηση Σ02) και η υψηλότερη στα -9,09 m (γεώτρηση Σ11).
- Η πιεζομετρική επιφάνεια έχει μεταβληθεί αισθητά από το 2005 μέχρι το 2016. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε μεγάλη ανύψωση της στάθμης του υπογείου νερού. Με δεδομένο ότι η διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού εξαρτάται από το υδρολογικό ισοζύγιο των υπόγειων νερών συνεπάγεται μείωση των αντλήσεων τη συγκεκριμένη περίοδο.
- Στη συγκεκριμένη περίπτωση υπήρξε αύξηση των εισροών από το έτος 2005 έως το έτος 2016 αλλά και μείωση των απολήψεων, καθώς πολλές γεωτρήσεις της περιοχής Σίνδου τέθηκαν εκτός λειτουργίας στο χρονικό αυτό διάστημα.
- Χαρακτηριστικό της περιοχής το έτος 2016 είναι ότι πολλές γεωτρήσεις της χαρακτηρίζονται αρτεσιανές. Το φαινόμενο του αρτεσιανισμού εμφανίζεται σε υπό πίεση υδροφορείς στην περίπτωση που η πιεζομετρική επιφάνεια βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Αναγνωρίζεται από την αυτόματη ροή νερού με τη μορφή πίδακα. Το έτος 2016 στη Σίνδο οι 10 από τις 27 υδρογεωτρήσεις εμφανίζουν με το φαινόμενο του αρτεσιανισμού, σε αντίθεση με το έτος 2005 για το οποίο η ανώτατη στάθμη που καταγράφηκε βρισκόταν στα 9,09 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

Τέλος, συνιστάται η συνεχής και συστηματική μέτρηση της στάθμης του υπόγειου νερού γιατί αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων.

Βιβλιογραφία

- 1) Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, ΥΕΤΟΣ Ο.Ε (2013): Έλεγχος χημικής ποιότητας αρδευτικών υδάτων (επιφανειακών και υπόγειων) σε κλίμακα λεκανών απορροής ποταμών Μακεδονίας-Θράκης και Θεσσαλίας-Αποτελέσματα λεκάνης Αξιού. Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων.
- 2) Βουδούρης, Κ. (2015): Εκμετάλλευση και διαχείριση υπόγειου νερού. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- 3) Βουδούρης, Κ. (2013): Τεχνική Υδρογεωλογία. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- 4) Ζερβοπούλου Α. (2010): Νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης σε σχέση με τα εδάφη θεμελίωσης. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ.
- 5) Κουκίδου, Ε. (2005): Υδρογεωλογικές συνθήκες και διακυμάνσεις της στάθμης του υπόγειου νερού στην περιοχή Σίνδου Ν. Θεσσαλονίκης, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.
- 6) Μάττας, Χ. (2009): Υδρογεωλογική έρευνα στη λεκάνη του Γαλλικού ποταμού, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.
- 7) Μελαδιώτης, Ι. (1984): Γεωλογική μελέτη του ανατολικού τμήματος της πεδιάδας Θεσσαλονίκης-Γιαννιτσών και ειδικότερα της περιοχής μεταξύ των ποταμών Αξιού και Γαλλικού όπου αναπτύσσονται εκμεταλλεύσιμοι υπόγειοι υδροφορείς, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ.
- 8) Μουντράκης, Δ. (2010): Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- 9) Πεταλά, Ζ. (2013) : Εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού με επεξεργασμένα αστικά λύματα στον υπόγειο υδροφορέα της περιοχής της Σίνδου, Διατριβή ειδίκευσης, Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών ΑΠΘ.
- 10) Ρεϊζοπούλου, Α., Βουβαλίδης, Κ. (2010): Οι φυσικογεωγραφικές μεταβολές στη λεκάνη Γιαννιτσών-Θεσσαλονίκης όπως αυτές αποτυπώθηκαν σε ιστορικούς χάρτες του 19^{ου} και 20^{ου} αιώνα. 9^ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο.
- 11) Tsourlos, P., Vargemezis, G., Voudouris, K., Spachos, T., Stampolidis, A. (2007): Monitoring recycled water injection into a confined aquifer in Sindos

(Thessaloniki) using Electrical Resistivity Tomography (ERT): Installation and preliminary results. In Proceedings of 11th International Congress of Geological Association, Athens, Greece.

12) ΥΠΕΚΑ (2013): Σχέδιο διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών του υδατικού διαμερίσματος κεντρικής Μακεδονίας.

Προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν

- 1) Surfer 9
- 2) Microsoft Office
- 3) QGIS 2.14.0-Essen, <http://www.qgis.org/en/site/>