



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ, ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ
ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΓΕΩΡΓΙΟΣ Δ. ΜΠΛΙΟΥΧΑΣ

ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΗΣ
ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΝΕΑΣ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑΣ,
ΔΗΜΟΥ ΩΡΑΙΟΚΑΣΤΡΟΥ, ΝΟΜΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2021





ΜΠΑΛΙΟΥΧΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5553

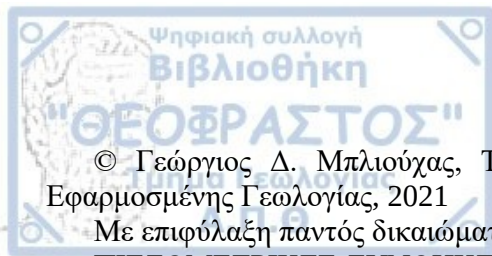
ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ
ΤΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΝΕΑΣ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑΣ, ΔΗΜΟΥ ΩΡΑΙΟΚΑΣΤΡΟΥ, ΝΟΜΟΥ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Τεκτονικής, Ιστορικής και Εφαρμοσμένης
Γεωλογίας,

Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων

Δρ. Μάττας Χρήστος (ΕΔΙΠ)



© Γεώργιος Δ. Μπλιούχας, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέα Τεκτονικής, Ιστορικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΝΕΑΣ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑΣ, ΔΗΜΟΥ ΩΡΑΙΟΚΑΣΤΡΟΥ, ΝΟΜΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

– Διπλωματική Εργασία

© Georgios D. Bliouchas, School of Geology, Department of Structural, Historical & Applied Geology, 2021

All rights reserved.

PIEZOMETRIC CONDITIONS OF GROUNDWATER IN NEA FILADELFEIA BROADER AREA, MUNICIPALITY OF ORAIOKASTRO, THESSALONIKI REGIONAL UNIT

– Bachelor Thesis

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

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



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία συντάχθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης του προγράμματος προπτυχιακών σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ και του μαθήματος. Σκοπός αυτής ήταν να μελετηθούν οι πιεζομετρικές συνθήκες του κεντρικού τμήματος της λεκάνης απορροής του Γαλλικού ποταμού καθώς και να συγκριθούν τα όποια ευρήματα με παλαιότερες μελέτες που είχαν πραγματοποιηθεί στην περιοχή τα προηγούμενα χρόνια.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Χρήστο Μάττα ΕΔΙΠ του Τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ για την ανάθεση της εργασίας και την πολύτιμη καθοδήγηση χωρίς την οποία δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ τον οικογενειακό φίλο Γιώργο Ταυλαρίδη για την πολύ σημαντική βοήθεια που μου παρείχε υποδεικνύοντας μου θέσεις γεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή έρευνας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τον πατέρα μου για την συντροφιά και την βοήθεια του καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων που πραγματοποιήσαμε στην περιοχή την περίοδο του Σεπτεμβρίου του 2020.



Στην παρούσα εργασία μελετώνται οι πιεζομετρικές συνθήκες του κεντρικού τμήματος της λεκάνης απορροής του Γαλλικού ποταμού στην ευρύτερη περιοχή της κοινότητας Νέας Φιλαδέλφειας. Αρχικά γίνεται αναφορά σε γενικά στοιχεία που αφορούν την περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια, περιγράφονται τα γεωλογικά και κλιματικά χαρακτηριστικά της της περιοχής μελέτης. Στο τελευταίο κεφάλαιο αναλύεται και το κεντρικό θέμα της εργασίας το οποίο αφορά τις πιεζομετρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή και την σύγκριση τους με παλαιότερα δεδομένα. Περιγράφονται κάποιες υδραυλικές παράμετροι των γεωλογικών σχηματισμών του υπό μελέτη υδροφορέα και γίνεται απεικόνιση της χωρικής κατανομής της πιεζομετρίας της περιόδου του Σεπτεμβρίου του 2020 με την μέθοδο Ordinary Kriging με τη χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ή GIS όπως έχει επικρατήσει να αναφέρονται στη βιβλιογραφία) και συγκρίνονται 5 διαφορετικά ημιβαριογράμματα με σκοπό να βρεθεί το πιο αντιπροσωπευτικό. Τέλος, γίνεται σύγκριση των ευρημάτων της περιόδου του Σεπτεμβρίου του 2020 με τις αντίστοιχες περιόδους του 2004 και του 2005 και εκτιμάται η μεταβολή των αποθεμάτων. Αξίζει να αναφερθεί ότι για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκε εξοπλισμός του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ (σταθμήμετρο, GPS) για την μέτρηση στάθμης 19 γεωτρήσεων.



ABSTRACT

In this bachelor thesis, the piezometric conditions of the central part of the Gallikos River Basin, at the broader area of Nea Filadelfeia village, are investigated. At first, general information regarding the study area is given. Then a description of the area's geological and climate characteristics follows. The last chapter deals with the paper's main topic which is the presentation of the piezometric conditions of the area and a comparison of the new data with older. The main hydraulic parameters of the area's geological formations are described. The spatial distribution of the piezometric conditions of the September 2020 period is presented using the Ordinary Kriging method. Five different semivariograms are compared in order to find the most suitable for the study area in the context of GIS software. The findings of the September 2020 period are compared with those of September 2004 and September 2005 and an estimation of the groundwater reserves changes is made. In the frame of this bachelor thesis, the equipment from the Laboratory of Engineering Geology and Hydrogeology of the Dept. of Geology AUTH (groundwater level meter, GPS device) was used for the measurement of the groundwater level in 19 boreholes.



Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	2
2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	4
3. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	8
4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	12
4.1 ΓΕΝΙΚΑ	12
4.2 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ORDINARY KRIGING	14
4.3 ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	14
4.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 2020. ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ORDINARY KRIGING ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΗΜΙΒΑΡΙΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	15
4.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΗΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 2004 & 2005 ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ	23
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	29
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	30



Το νερό αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αγαθά τα οποία έχει ανάγκη ο άνθρωπος προκειμένου να επιζεί, να αναπτύσσεται και να βελτιώνει την ποιότητα της ζωής του. Για αυτόν το λόγο κρίνεται απαραίτητη η συχνή παρακολούθηση των αποθεμάτων του υπογείου νερού σε έναν κόσμο όπου οι ανάγκες συνεχώς αυξάνονται και τα αποθέματα αυτά αποτελούν την κύρια πηγή για την κάλυψη των αναγκών της ύδρευσης και της άρδευσης.

Στην εργασία αυτή επιχειρείται να περιγραφούν οι πιεζομετρικές συνθήκες σε μία περιοχή με αγροκτηνοτροφική και βιομηχανική δραστηριότητα και να τις συγκρίνει με παλαιότερα δεδομένα προκειμένου να εκτιμηθεί η μεταβολή των αποθεμάτων με την πάροδο των χρόνων.

Για τους σκοπούς αυτούς πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω εργασίες:

- Συλλογή βιβλιογραφίας σχετική με υδρογεωλογικά θέματα και πληροφοριών σχετικά με την περιοχή μελέτης.
- Συλλογή γεωλογικών χαρτών και πληροφοριών σχετικά με την περιοχή.
- Χρήση εξοπλισμού του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ (σταθμήμετρο, GPS) για την μέτρηση της στάθμης του υπογείου νερού σε 19 γεωτρήσεις.
- Συλλογή κλιματολογικών στοιχείων σχετικά με την περιοχή.
- Χρήση λογισμικού GIS για την κατασκευή χαρτών και σχημάτων και Excel για την κατασκευή πινάκων.

1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η λεκάνη απορροής του Γαλλικού ποταμού έχει επίμηκες σχήμα και εκτείνεται από τα ΒΑ όρια της Π.Ε. Κιλκίς ως τον Θερμαϊκό όπου και εκβάλλει ο Γαλλικός ποταμός. Μοναδική λίμνη εντός της λεκάνης είναι η Πικρολίμνη και βρίσκεται στα δυτικά και κεντρικά της.

Το υδρογραφικό δίκτυο του Γαλλικού ποταμού είναι πολύ καλά ανεπτυγμένο και ο βασικός κλάδος ο οποίος είναι 7^{ης} τάξης κατά Strahler έχει μήκος 45.5 km (Mattas & Soulios, 2011).

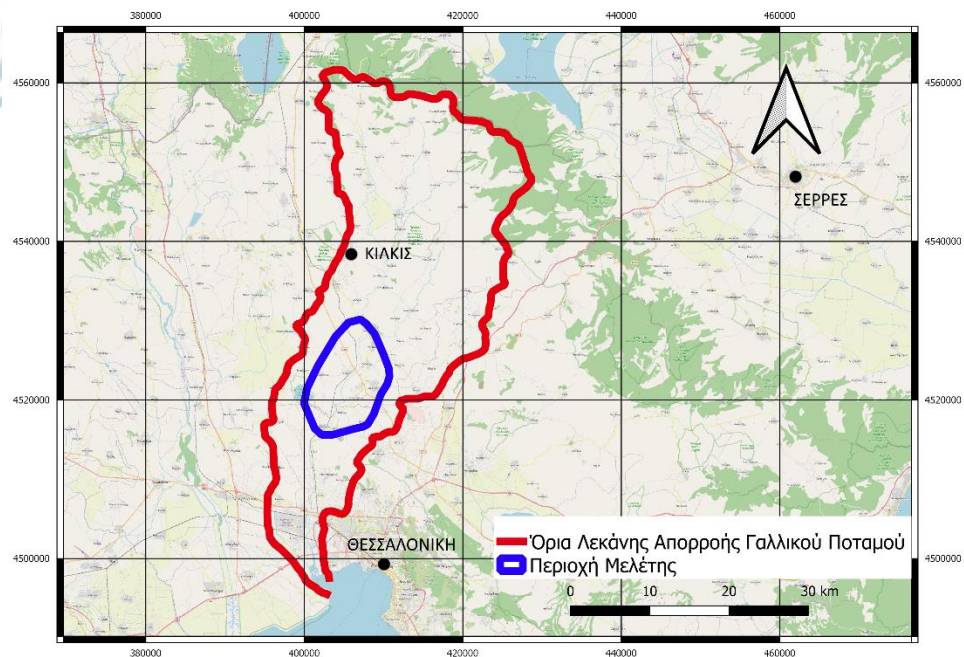
Η έκταση της λεκάνης είναι περίπου 1056 km^2 και η περίμετρος της 181 km, ενώ η έκταση της περιοχής μελέτης είναι περίπου 105 km^2 και η περίμετρος της 39 km όπως υπολογίστηκαν με την χρήση GIS.

Παρακάτω στο Σχήμα 1.1 φαίνεται η οριοθέτηση της λεκάνης απορροής και της περιοχής μελέτης.

Τα ψηλότερα υψόμετρα απαντώνται στα βόρεια, στα Κρούσσια Όρη ($>1000\text{m}$) τα οποία οριοθετούν την λεκάνη (όρια λεκάνης Γαλλικού με λεκάνη Στρυμόνα) σταδιακά όμως και μέχρι το κέντρο της λεκάνης τα υψόμετρα χαμηλώνουν όπου απαντώνται πεδινές εκτάσεις με εξαίρεση μία έξαρση στα ανατολικά και κεντρικά όρια της λεκάνης. Το μέσο υψόμετρο της περιοχής είναι περίπου 300 m.

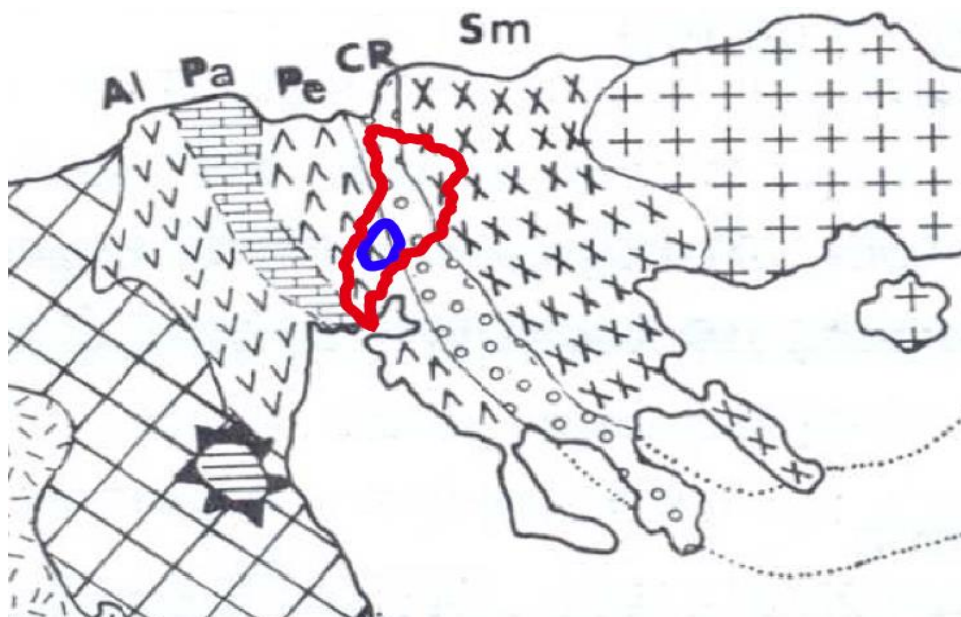
Η περιοχή μελέτης αφορά το κεντρικό τμήμα της λεκάνης του Γαλλικού περίξ των οικισμών Νέα Φιλαδέλφεια, Μεσαίο, Πετρωτό, Μονόλοφο, Παντελεήμων, Νέα Σάντα, Μάνδρες, Γαλλικός, Καμπάνη, Πεδινό, Πέρινθος, Ξυλοκερατιά, Πικρολίμνη και Μπακαίκα.

Η οικονομική δραστηριότητα της περιοχής σχετίζεται με την γεωργία και την κτηνοτροφία καθώς και με την βιομηχανία στις περιοχές της Νέας Σάντας και του Παντελεήμων να βρίσκονται σε λειτουργία (επεξεργασία τροφίμων, καπνοβιομηχανία, κλωστοϋφαντουργία, κεραμουργία, αγροτικά προϊόντα, βιομηχανία πλαστικών).



Σχήμα 1.1. Χάρτης με τα όρια της λεκάνης απορροής του Γαλλικού ποταμού και της περιοχής μελέτης (κατασκευασμένος από το συγγραφέα)

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ



Σχήμα 2.1. Σχέδιο με τα όρια της λεκάνης απορροής του Γαλλικού ποταμού (κόκκινο χρώμα) και της περιοχής μελέτης (μπλε χρώμα) σε σχέση με τις γεωτεκτονικές ζώνες (Sm: Σερβομακεδονική Μάζα, CR: Περιοδοπική Ζώνη, Pe: Υποζώνη Παιονίας, Pa: Υποζώνη Πάικου, Al: Υποζώνη Αλμωπίας) (Μουντράκης Δ. 2010)

Η περιοχή μελέτης αφορά ένα μικρό κομμάτι της λεκάνης απορροής του Γαλλικού ποταμού όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 2.1) το οποίο βρίσκεται κυρίως εντός της Περιοδοπικής Ζώνης και της Υποζώνης Παιονίας η οποία καλύπτεται από τεταρτογενείς αποθέσεις. Για τον λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητο να γίνει αναφορά στους γεωλογικούς σχηματισμούς που καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος του υπό μελέτη υδροφορέα. Το μεγαλύτερο μέρος των γεωτρήσεων που μετρήθηκαν για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας έχουν ανορυχθεί εντός των τεταρτογενών αποθέσεων της περιοχής, οι οποίες σε πολλά σημεία βρίσκονται σε επαφή με ιζηματογενή πετρώματα. Η περιγραφή των σχηματισμών αυτών ακολουθεί παρακάτω και απεικονίζεται στα Σχήματα 2.2 και 2.3.



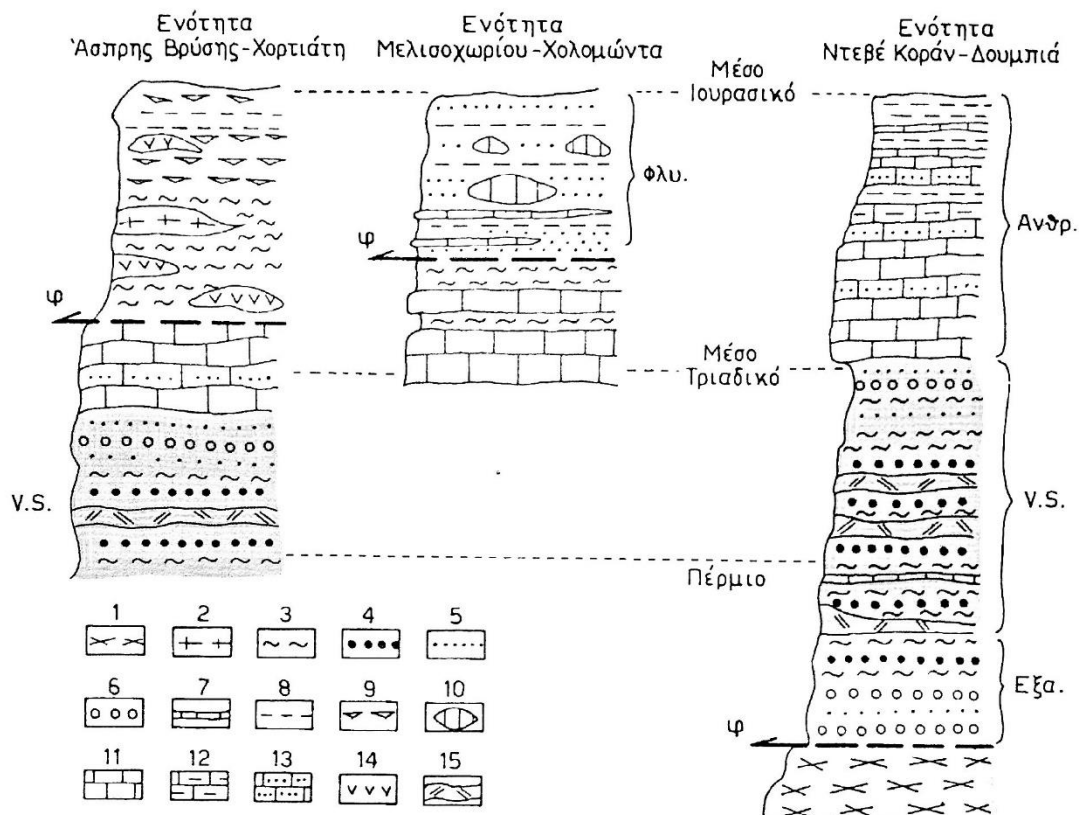
Οι τεταρτογενείς αποθέσεις καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας της περιοχής μελέτης. Αποτελούνται από λιμναία ιζήματα, αποθέσεις στις κοίτες ποταμών και χειμάρρων, ελουβιακούς μανδύες, τρία συστήματα αναβαθμίδων αποτελούμενα από άργιλο, άμμο, χαλίκια και κροκάλες, ερυθρές αργίλους με ασβεστολιθικά συγκρίματα, πλευρικά κορήματα και ριπίδια προσχώσεων (Kockel F. & Ioannides K., 1979).

ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Τα ιζηματογενή πετρώματα που εντοπίζονται στην περιοχή μελέτης είναι τα εξής:

- Μία μικρή εμφάνιση κροκαλοπαγών κοντά στον οικισμό του Γαλλικού ηλικίας Άνω Ιουρασικού της Υποζώνης Παιονίας (Ζώνη Αξιού)
- Ασβεστόλιθος απολιθωματοφόρος ηλικίας Μέσο-Άνω Τριαδικού της Ενότητας Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη (Περιοδοπική Ζώνη)
- Ψαμμίτες ηλικίας Κάτω Τριαδικού της Ενότητας Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη (Περιοδοπική Ζώνη)
- Ασβεστόλιθος απολιθωματοφόρος ,με έναν ορίζοντα δολομίτη να παρεμβάλλεται, ηλικίας Μέσο-Άνω Τριαδικού της Ενότητας Ντεβέ Κοράν-Δουμπιών (Περιοδοπική Ζώνη)
- Μικρή εμφάνιση στα κεντρικά και ανατολικά της περιοχής μελέτης Ηφαιστειο-Ιζηματογενής σειρά αποτελούμενη από χαλαζίτες της Ενότητας Ντεβέ Κοράν-Δουμπιών (Περιοδοπική Ζώνη) και ηλικίας Κάτω Τριαδικού

Παρακάτω παρουσιάζονται ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης και οι λιθοστρωματογραφικές στήλες των ενοτήτων της Περιοδοπικής Ζώνης.



Λιθοστρωματογραφικές στήλες των τριών ενοτήτων της Περιοδοπικής ζώνης, 1: κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής, 2: πράσινοι γνεύσιοι της Θεσσαλονίκης και άλλα μετα-πυριγενή πετρώματα της «Μαγματικής σειράς Χορτιάτη», 3: σχιστόλιθοι και φυλλίτες, 4: πυροκλαστικά υλικά, 5: μεταψαμμίτες, χαλαζίτες, 6: μετα-κροκαλοπαγή, 7: ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, 8: αργιλικοί σχιστόλιθοι και μάρμες, 9: κερατόλιθοι, 10: ολιθόλιθοι Τριαδικών μαρμάρων, 11: ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, 12: μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 13: ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι, 14: οφειολιθικά πετρώματα, 15: ηφαιστειακά υλικά (σχιστοποιημένοι ρυόλιθοι, πορφυροειδή κ.ά.), φ: τεκτονική επαφή, Εξα: σχηματισμός Εξαμιλίου, V.S.: ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά, Ανθρ.: ανθρακική νηριτική σειρά, Φλυ: φλύσχης.

Σχήμα 2.2. Λιθοστρωματογραφικές στήλες των ενοτήτων της Περιοδοπικής Ζώνης (Μουντράκης Δ. 2010)

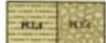
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ ΟΛΟΚΑΙΝΟ

Λιμναία ιζήματα: αμμούχες άργιλοι υλός και άμμοι της Πικρολίμνης



Αποθέσεις στις κοίτες ποταμών και χειμάρρων: αμμούχες άργιλοι, άμμοι και ψηφίδες και κυρίως χαλίκια της κατώτερης βαθμίδας του κατώτερου συστήματος αναβαθμίδων, με αργιλώδες κάλυμμα



Ελουβιακός μανδύας: αποσασθρώματα και λατύπες κυρίως από σχιστολιθικά πετρώματα



Κατώτερη βαθμίδα του κατώτερου συστήματος αναβαθμίδων: κυρίως αμμούχες άργιλοι, άμμοι ή χαλίκια



ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ

Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων: κυρίως χαλίκια ή χαλίκια με αργιλώδες κάλυμμα της αναβαθμίδας



Μεσαίο σύστημα αναβαθμίδων: κυρίως κροκάλες και χαλίκια



Ερυθρές άργιλοι με ασβεστολιθικά συγκρίματα: πλούσιες σε μαρμαρυγία, εναλλάσσονται με πάγκους ασβεστιτικών συγκριμάτων πολύ συνεκτικών και οριζόντων χαλικιών, μερικές φορές διάσπαρτων



ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ ΑΔΙΑΙΡΕΤΟ

Πλευρικά κορήματα: κυρίως από ασβεστολιθικά πετρώματα συνεκτικά, με ερυθρή ασβεστιτική συγκολλητική ύλη



Ρητίδια προσχώσεων: διαφορετικής ηλικίας



ΑΝΩΤΕΡΟ ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ – ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ;

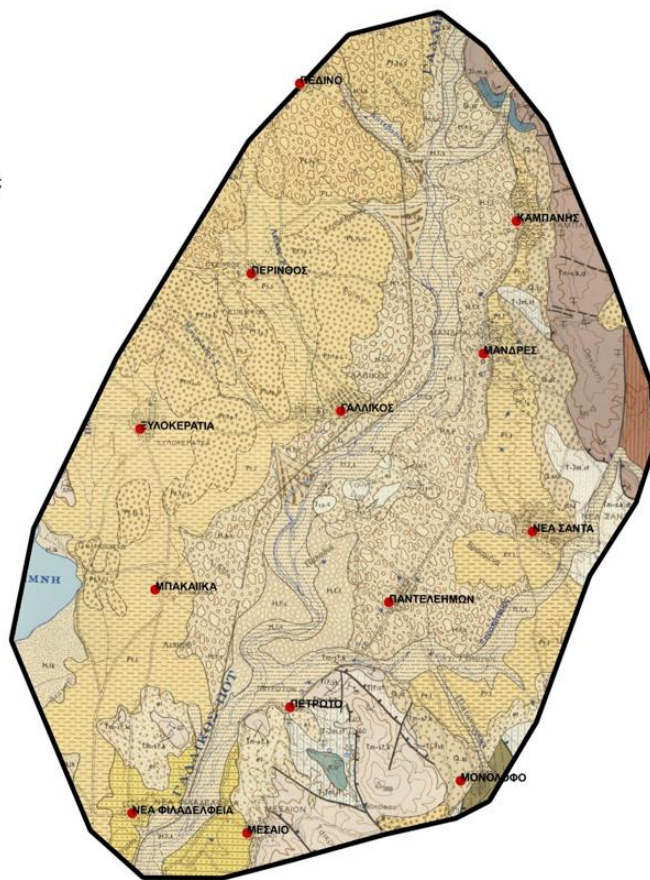
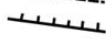
Ψαμμιτομαργακική σειρά: ψαμμίτες συμπαγείς έως πολύ συνεκτικοί που εναλλάσσονται με μικροκροκαλοπαγή και οριζόντες αμμούχων μαργών



Ρήγμα

Ρήγμα πιθανό ή καλυμμένο

Εφίπνευση



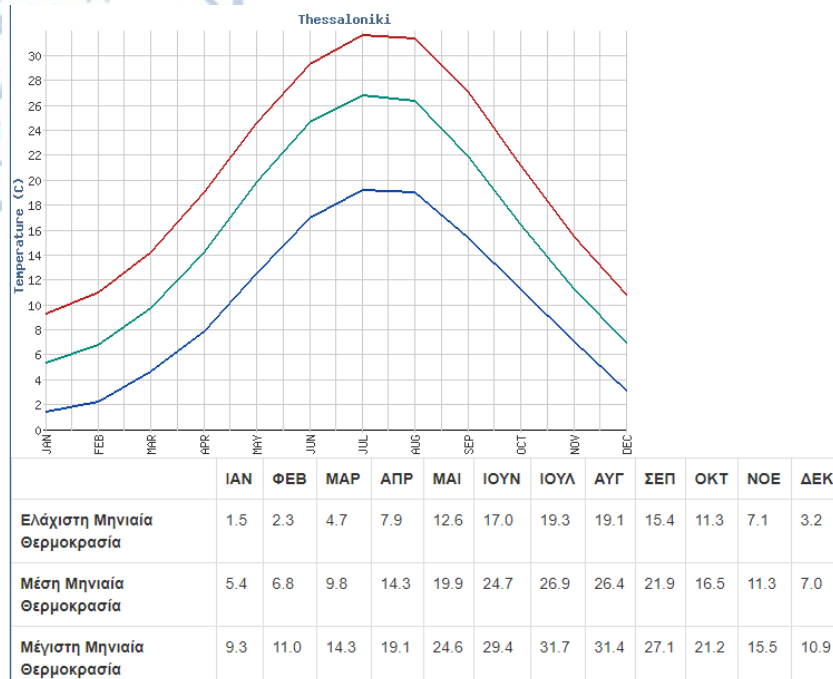
Σχήμα 2.3. Γεωλογικός Χάρτης με τα ονόματα των οικισμών και τους σχηματισμούς που κυριαρχούν στην περιοχή μελέτης (Kockel F. & Ioannides K., 1979)

3. ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

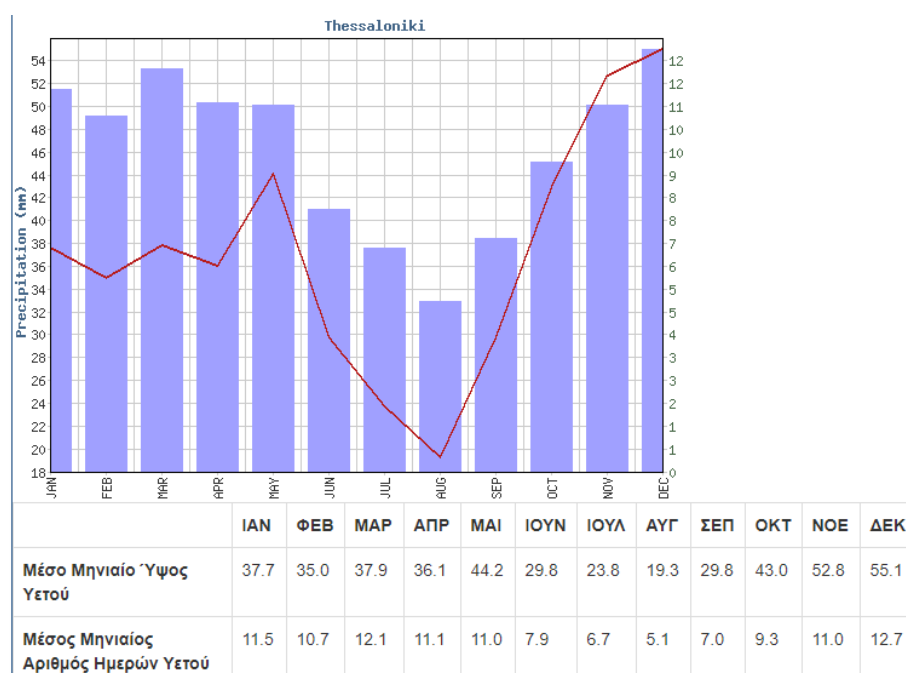
Τα κλιματολογικά στοιχεία μίας περιοχής παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση των υδρολογικών συνθηκών της, καθώς η βροχόπτωση (υετός) αποτελεί την βάση για τον καθορισμό του υδρολογικού ισοζυγίου.

Λόγω της μικρής έκτασης της περιοχής μελέτης, αλλά και της απουσίας πυκνού δικτύου μετεωρολογικών σταθμών στην ευρύτερη περιοχή (έχει εγκατασταθεί πυκνό δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών στην Π.Ε. Κιλκίς το οποίο ξεκίνησε να λειτουργεί από τον Οκτώβριο του 2020 συνεπώς δεν υπάρχουν ακόμα χρονοσειρές δεδομένων που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν σε αυτή την εργασία) δεν ήταν δυνατόν να ληφθούν δεδομένα από πολλές θέσεις εντός της περιοχής μελέτης. Για τον λόγο αυτό παρακάτω θα γίνει αναφορά σε μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν και παρέχει η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) γενικότερα για την περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας αλλά και σε δεδομένα ενός μετεωρολογικού σταθμού του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών ο οποίος βρίσκεται στην πόλη του Κιλκίς σε υψόμετρο 290 m και λειτουργεί από τον Νοέμβριο του 2006.

Η κοντινότερη πόλη για την οποία παρέχονται κλιματολογικά δεδομένα από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία είναι η Θεσσαλονίκη. Παρακάτω παραθέτονται τα δεδομένα θερμοκρασίας και υετού για την πόλη της Θεσσαλονίκης (Σχήματα 3.1 & 3.2).



Σχήμα 3.1. Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (°C) που επικρατούν στην πόλη της Θεσσαλονίκης για την περίοδο 1959-2010 (ΕΜΥ)



Σχήμα 3.2. Ιστόγραμμα μέσου μηνιαίου ύψους υετού και μέσου μηνιαίου αριθμού ημερών υετού (ΕΜΥ)

Σύμφωνα με τις μετρήσεις του δικτύου της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας το κλίμα της Κεντρικής Μακεδονίας χαρακτηρίζεται ως ξηρό ψυχρό κλίμα στέπας των μέσων γεωγραφικών πλατών (BSk) κατά την ταξινόμηση των Köppen – Geiger (Kottek et al, 2006)

Από την μελέτη των δεδομένων βροχόπτωσης και θερμοκρασίας (Πίνακες 3.1 & 3.2) του μετεωρολογικού σταθμού του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών στο Κιλκίς την περίοδο 2006-2020 προκύπτει ότι:

- Το έτος με το μεγαλύτερο ύψος βροχόπτωσης ήταν το 2014 με 1111,8 mm, ενώ αυτό με το μικρότερο το 2007 με 354.8 mm.
- Ο μήνας με το μεγαλύτερο μέσο ύψος βροχόπτωσης είναι Ιούνιος με 65.8 mm, ενώ αυτός με το μικρότερο ο Ιούλιος με 30.9 mm.
- Το θερμότερο έτος ήταν το 2019 με μέση θερμοκρασία 15.5 °C, ενώ το ψυχρότερο το 2011 με μέση θερμοκρασία 13.9 °C.
- Οι θερμότεροι μήνες του έτους είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος με μέσες θερμοκρασίες 25.6 °C και 25.7 °C αντίστοιχα, ενώ ο ψυχρότερος είναι ο Ιανουάριος με 4.3 °C.

Πίνακας 3.1. Μηνιαίες βροχοπτώσεις που καταγράφηκαν στον σταθμό του Κιλκίς από τον Νοέμβριο του 2006 μέχρι τον Νοέμβριο του 2020 (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)

	Σταθμός : Κιλκίς (LG42) (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)												
	Υψόμετρο : 290 m												
	Βροχόπτωση (mm)												
	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝΟΛΟ
2006											35,4	38,4	
2007	15,0	24,8	21,8	10,4	85,4	77,4	0,0	0,6	0,2	70,4	34,8	14,0	354,8
2008	26,6	18,8	14,4	60,4	45,6	82,4	9,6	0,0	85,4	15,2	17,4	35,4	411,2
2009	91,0	15,2	44,0	35,4	20,4	93,8	9,4	66,8	19,8	39,4	38,6	160,6	634,4
2010	30,8	139,5	70,4	28,2	35,2	123,9	77,2	1,8	26,8	246,4	41,6	45,6	867,4
2011	22,1	32,0	33,2	18,8	101,6	89,8	9,8	26,2	50,2	42,4	19,4	9,9	455,4
2012	38,8	29,2	30,0	38,6	134,4	9,6	0,0	69,2	69,0	37,4	35,2	83,2	574,6
2013	45,0	112,6	47,4	24,0	28,8	65,0	11,8	3,6	47,8	16,8	51,4	35,0	489,2
2014	50,0	79,8	101,2	161,8	58,0	27,4	57,0	42,4	175,6	65,4	88,6	204,6	1111,8
2015	21,0	66,0	74,2	22,0	14,4	69,6	38,6	78,0	66,8	132,6	28,0	0,4	611,6
2016	45,8	35,6	98,4	11,6	53,2	80,4	14,0	86,6	47,8	13,0	0,0	0,0	486,4
2017	47,2	32,6	41,6	14,2	120,2	14,8	85,2	7,2	29,4	33,2	112,0	20,6	558,2
2018	13,6	69,6	75,0	13,0	82,6	66,2	75,0	28,2	2,6	0,4	52,0	25,2	503,4
2019	82	2,4	8,6	50,2	28,4	80,4	27,2	0,6	85	44,4	130	75,8	615,0
2020	4,2	21	114,2	97,4	6,2	41	18	71,4	29	36	11,4		
M.O.	38,1	48,5	55,3	41,9	58,2	65,8	30,9	34,5	52,5	56,6	46,4	53,5	

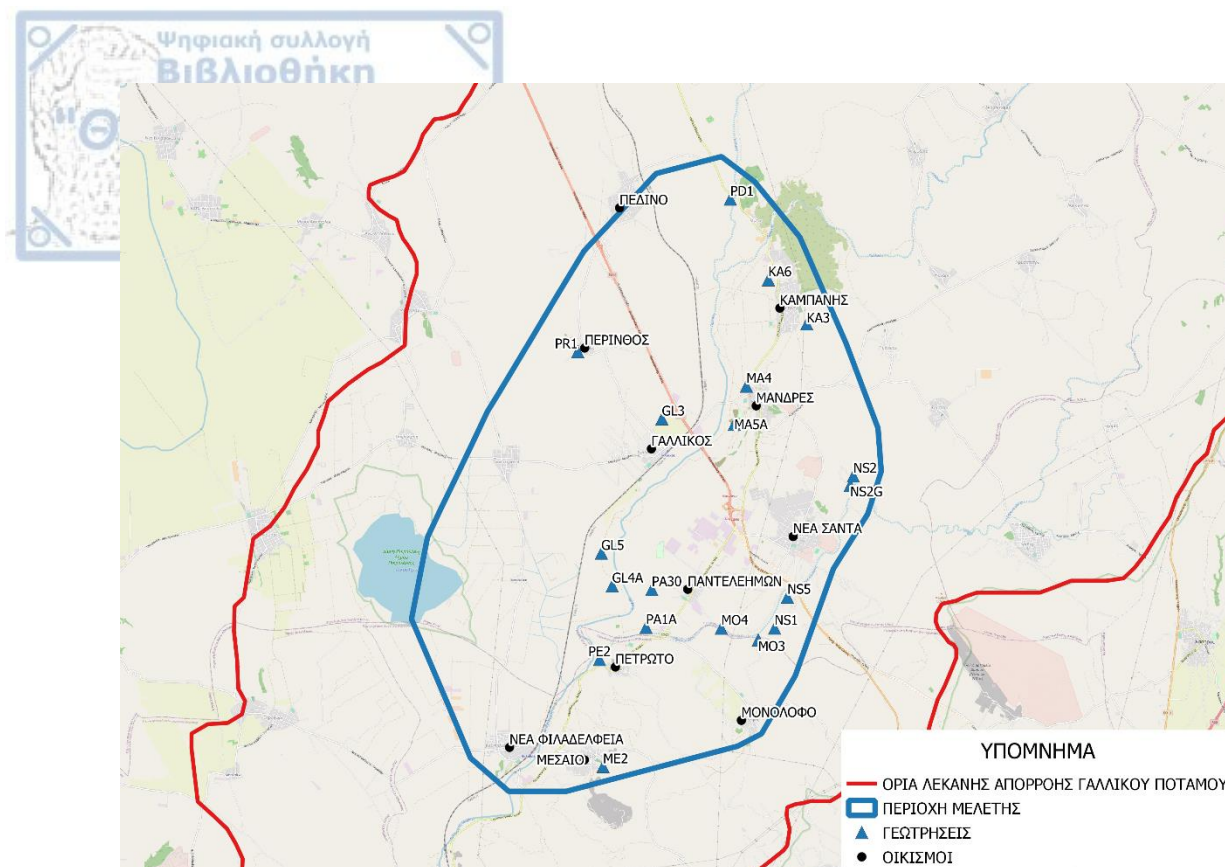
Πίνακας 3.2. Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες που καταγράφηκαν στον σταθμό του Κιλκίς από τον Νοέμβριο του 2006 μέχρι τον Νοέμβριο του 2020 (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)

	Σταθμός : Κιλκίς (LG42) (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)												
	Υψόμετρο : 290 m												
	Θερμοκρασία (°C)												
	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Μ.Ο.
2006											8,6	4,6	
2007	6,8	6,3	9	12,7	18,6	24	27,1	25,6	19	14,5	7,8	3,5	14,6
2008	4	6,4	10,2	13,1	17,7	22,9	25	26,6	19	15,4	10	6,6	14,7
2009	4,2	4,3	7,9	12,9	18,8	22,3	25,4	24,7	19,8	14,9	11,1	7,7	14,5
2010	4,3	6,1	8,4	13,3	18,1	21,9	24,6	27	20,2	12,4	13,4	5,8	14,6
2011	4,4	5,2	8,1	11,9	16,7	21,6	25,7	24,9	22,7	12,7	8	5,3	13,9
2012	1,6	3,1	9,4	13,3	17,5	24,3	28,1	26,2	21,3	17,6	11,8	3,8	14,8
2013	4,8	6,9	8,7	14,4	19,8	22,4	25	26,2	20,6	15,3	11,6	5,1	15,1
2014	7	8,4	10,7	12,8	17,1	22,1	24,5	25	19	14,6	10,6	7,1	14,9
2015	5,6	5,8	7,4	12,2	19,1	21,3	26,2	25,2	21,7	14,9	12,6	6,8	14,9
2016	4,6	10,4	9,8	15,3	17,1	23,8	25,7	24,9	17,9	13,7	9,5	3,9	14,7
2017	-0,2	7,4	11,5	13,2	18,3	23,7	25,9	26,2	21,4	15,1	9,8	7,2	15,0
2018	5,7	6,6	10,2	16,7	19,8	22,2	24,8	25,2	21,6	16,6	11	4,5	15,4
2019	2,6	6,6	11,4	13,2	17,4	23,7	25,2	26,7	21,6	17,2	13,5	6,9	15,5
2020	4,5	7,6	9,2	12,1	18,5	21,9	25,5	24,8	22,6	16,6	9,9		
Μ.Ο.	4,3	6,5	9,4	13,4	18,2	22,7	25,6	25,7	20,6	15,1	10,6	5,6	

4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η περιοχή μελέτης όπως έχει ήδη αναφερθεί αφορά το κεντρικό μέρος της λεκάνης απορροής του Γαλλικού ποταμού. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στάθμης υπογείου νερού σε 19 γεωτρήσεις της περιοχής αυτής (Σχήμα 4.1) με την χρήση σταθμήμετρου του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ. Οι μετρήσεις που έγιναν αφορούν το τέλος της ξηρής περιόδου του 2020 (Σεπτέμβριος 2020), δηλαδή την περίοδο όπου θεωρητικά η στάθμη του υπογείου νερού βρίσκεται στα χαμηλότερα επίπεδα του υδρολογικού έτους. Οι 19 γεωτρήσεις ήταν στην πλειοψηφία τους παλιές παρατημένες δημοτικές ή αρδευτικές. Όσον αφορά αυτές που είναι ακόμη σε λειτουργία, η μέτρηση της στάθμης έγινε αφού πρώτα διαπιστώθηκε ότι είχαν περάσει αρκετές ώρες από την τελευταία άντληση έτσι ώστε η μέτρηση να είναι αξιόπιστη. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν εντός διαστήματος 2 ημερών και δεν υπήρχε καμία γεώτρηση σε κοντινή απόσταση σε άντληση.



Σχήμα 4.1. Χάρτης με τις θέσεις των γεωτρήσεων (κατασκευασμένος από τον συγγραφέα)

4.2 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ORDINARY KRIGING

Το kriging αποτελεί μία μέθοδο χωρικής κατανομής η οποία χρησιμοποιείται στην γεωστατιστική με σκοπό την πρόβλεψη των τιμών ορισμένων παραμέτρων εκτός του πεδίου όπου έχουμε στην διάθεση μας δεδομένα.

Το ordinary kriging είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος και χρησιμοποιείται πολύ συχνά στην υδρογεωλογία και αυτή χρησιμοποιείται παρακάτω προκειμένου να κατασκευαστεί ο πιεζομετρικός χάρτης της περιοχής και να γίνει η σύγκριση 5 ημιβαριογραμμάτων με σκοπό να επιλεγεί αυτό το οποίο αντιπροσωπεύει καλύτερα την περιοχή. Τα ημιβαριογράμματα που συγκρίνονται είναι τα Circular, Exponential, Gaussian, Spherical και Stable. Το θεωρητικό υπόβαθρο αυτής της μεθόδου έχει περιγραφεί από τους Journel & Huijbregts (1978) για εφαρμογές που σχετίζονται με τον κλάδο της μεταλλευτικής έρευνας.

4.3 ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Δύο πολύ σημαντικές υδραυλικές παράμετροι οι οποίες καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την υδρογεωλογική συμπεριφορά ενός υδροφορέα είναι η υδραυλική αγωγιμότητα (k) και η μεταβιβαστικότητα (T).

Η υδραυλική αγωγιμότητα (k) εκφράζει την ευκολία με την οποία κινείται το νερό μέσα σε ένα μέσο, έχει διαστάσεις ταχύτητας και εξαρτάται από τις ιδιότητες του μέσου και του νερού (Βουδούρης Κ. 2017).

Η μεταβιβαστικότητα (T) αφορά την δυνατότητα απόληψης νερού από έναν υπόγειο υδροφορέα, είναι το γινόμενο της υδραυλικής αγωγιμότητας (k) επί το πάχος του υδροφόρου στρώματος (D) ($T = k * D$) και έχει διαστάσεις L^2/T (Βουδούρης Κ. 2017).

Παρακάτω γίνεται παρουσίαση της εκτίμησης της τιμής των δύο παραπάνω υδραυλικών παραμέτρων (k, T) των σχηματισμών της περιοχής μελέτης από δεδομένα παλαιότερων μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή.

Ο υπό μελέτη υδροφορέας βρίσκεται κυρίως στις τεταρτογενείς αποθέσεις της περιοχής. Από προηγούμενες μελέτες στην περιοχή έχει υπολογιστεί ότι:

- Η υδραυλική αγωγιμότητα (k) έχει διακύμανση τιμών από $4.22 \cdot 10^{-6}$ m/sec έως $8.1 \cdot 10^{-4}$ m/sec με μέση τιμή $2.38 \cdot 10^{-4}$ m/sec και ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται ως υδροπερατός (Μάττας Χ. 2009).
- Η μεταβιβαστικότητα (T) παρουσιάζει μία διακύμανση από $9.49 \cdot 10^{-5}$ m²/sec έως $8.47 \cdot 10^{-3}$ m²/sec και έχει μέση τιμή $4.01 \cdot 10^{-3}$ m²/sec (Μάττας Χ. 2009).

4.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 2020. ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ORDINARY KRIGING ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΗΜΙΒΑΡΙΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Την περίοδο του Σεπτεμβρίου του 2020 πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στάθμης σε 19 γεωτρήσεις της περιοχής. Η περίοδος αυτή αντιστοιχεί στο τέλος της ξηρής περιόδου του υδρολογικού έτους άρα και θεωρητικά στην περίοδο όπου η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται στα χαμηλότερα επίπεδα.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με τις στάθμες των γεωτρήσεων και άλλα στοιχεία (Πίνακας 4.1).

Πίνακας 4.1. Μετρήσεις στάθμης των 19 γεωτρήσεων για την περίοδο του Σεπτεμβρίου 2020

Κωδικός	Υψόμετρο γεώτρησης (m)	Στάθμη από την επιφάνεια του εδάφους (m)	Απόλυτο υψόμετρο στάθμης (m)
PD1	117	3.72	113.28
KA6	110	6.57	103.43
KA3	171	62.27	108.73
MA4	96	3.84	92.16
MA5A	90	4.04	85.96
GL3	92	6.69	85.31
PR1	103	3.27	99.73
PA30	65	2.36	62.64
PA1A	74	3.97	70.03
MO4	91	7.77	83.23
MO3	93	8.52	84.48
NS1	93	7.79	85.21
NS5	101	7.47	93.53
NS2G	121	5.52	115.48
NS2	149	28.12	120.88
PE2	66	2.47	63.53
ME2	159	32.62	126.38
GL5	75	4.32	70.68
GL4A	75	4.07	70.93

Από το Σχήμα 4.2 έως το Σχήμα 4.11 παρουσιάζονται οι χάρτες που προκύπτουν μετά την εφαρμογή της μεθόδου Ordinary Kriging και τα διάφορα ημιβαριογράμματα όπως επίσης και οι γραμμές τάσης που αντιστοιχούν στο καθένα οι οποίες εκφράζουν την σχέση μεταξύ μετρήσιμων και εκτιμώμενων τιμών.



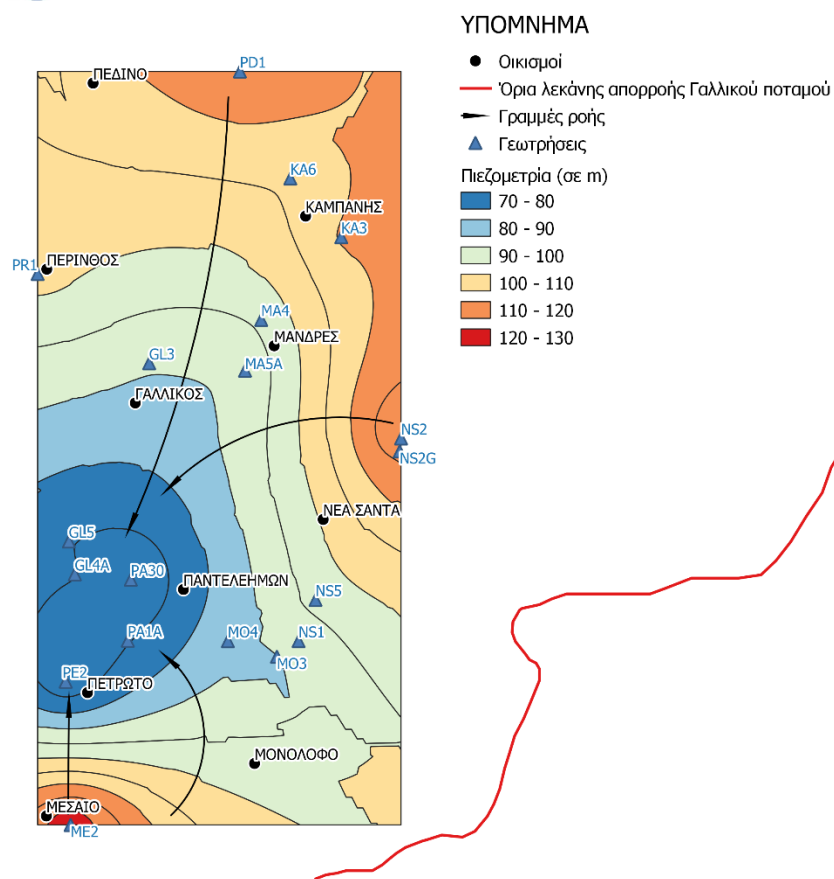
Predicted 10^{-2}

Measured 10^{-2}

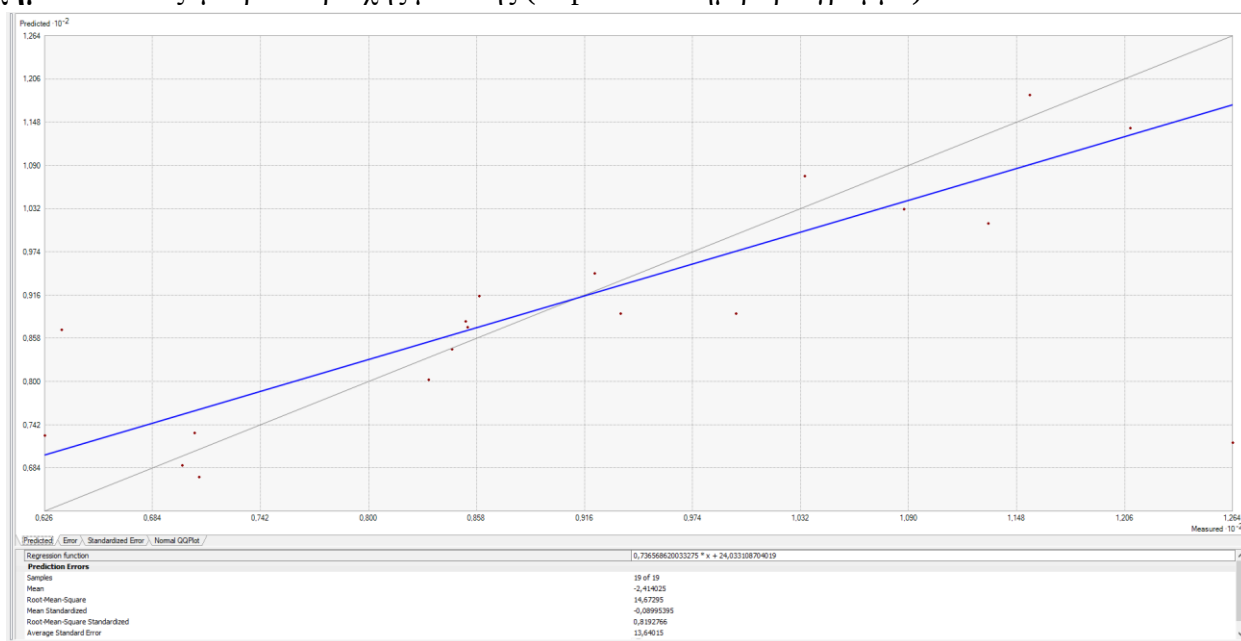
Regression function: $0.781551745236131 * x + 20.6546998158262$

Prediction Errors	
Samples	19 of 19
Mean	-2.502999
Root Mean-Square	14.90052
Mean Standardized	-0.09283693
Root Mean-Square Standardized	0.913841
Average Standard Error	11.32678

Σχήμα 4.3. Γραμμή τάσης (Circular ημιβαριόγραμμα)

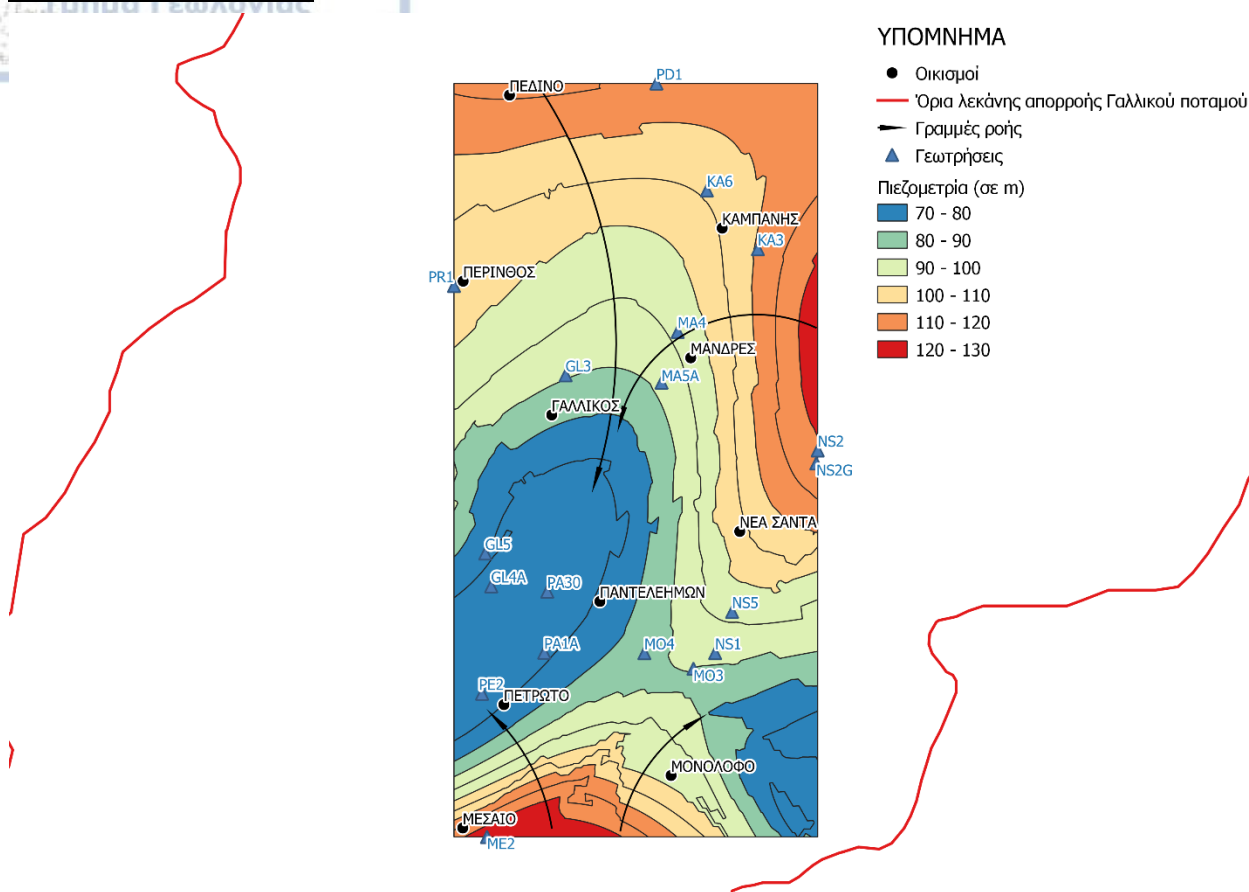


Σχήμα 4.4. Πιεζομετρία περιοχής μελέτης (Exponential ημιβαριόγραμμα)

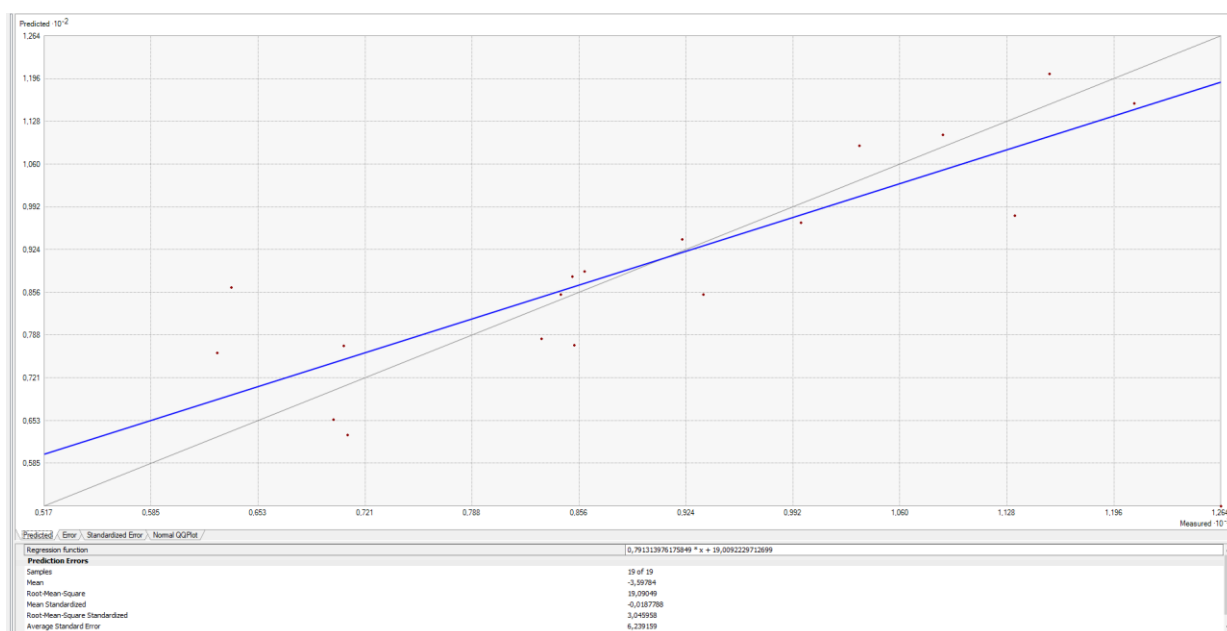


Σχήμα 4.5. Γραμμή τάσης (Exponential ημιβαριόγραμμα)

GAUSSIAN KRIGING

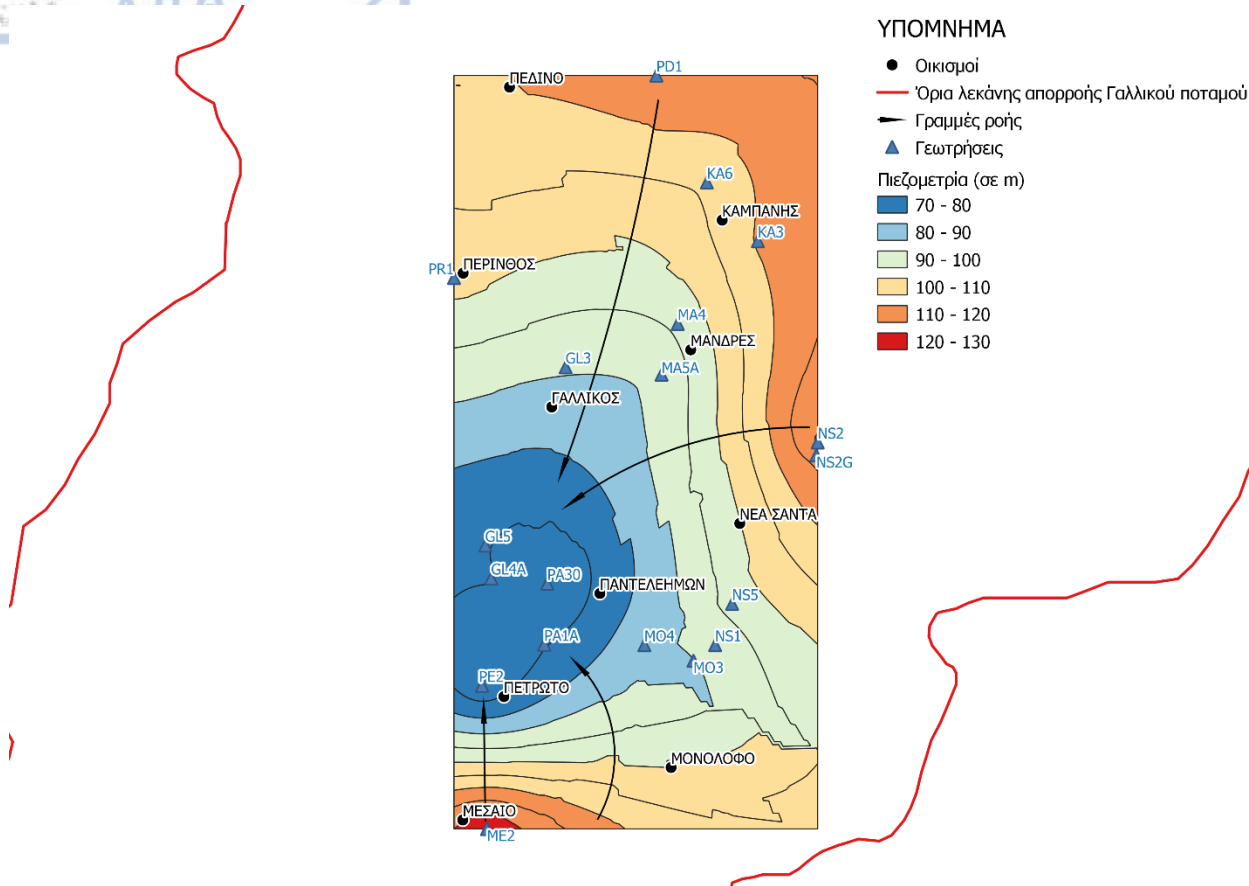


Σχήμα 4.6. Πιεζομετρία περιοχής μελέτης (Gaussian ημιβαριόγραμμα)

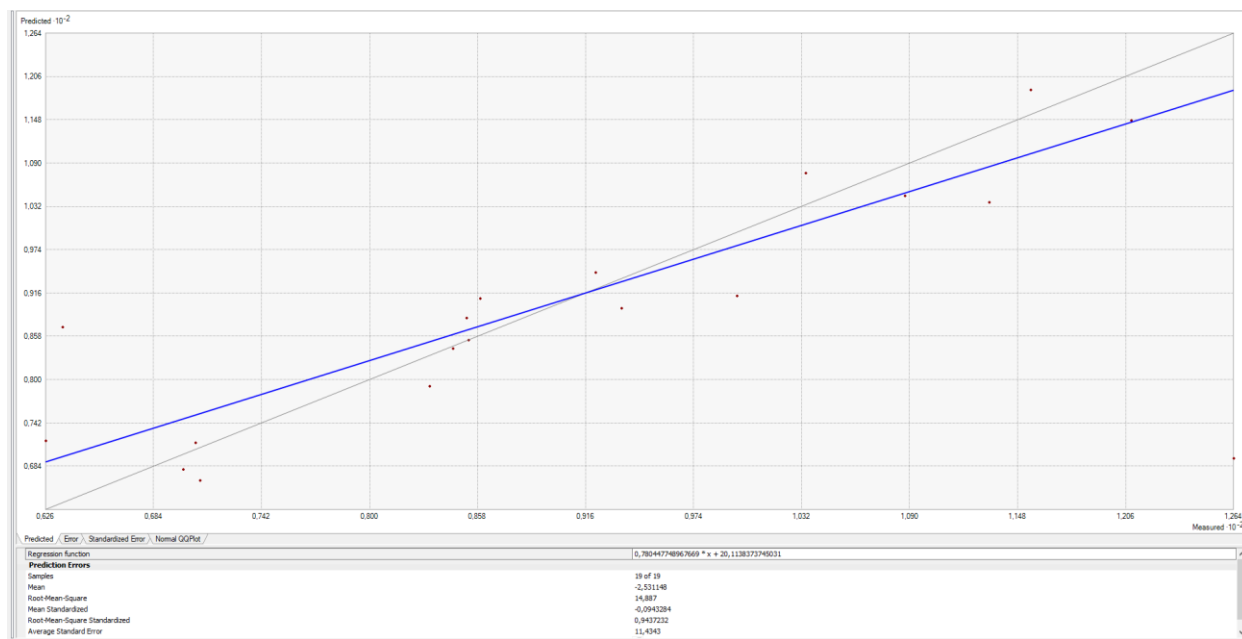


Σχήμα 4.7. Γραμμή τάσης (Gaussian ημιβαριόγραμμα)

SPHERICAL KRIGING

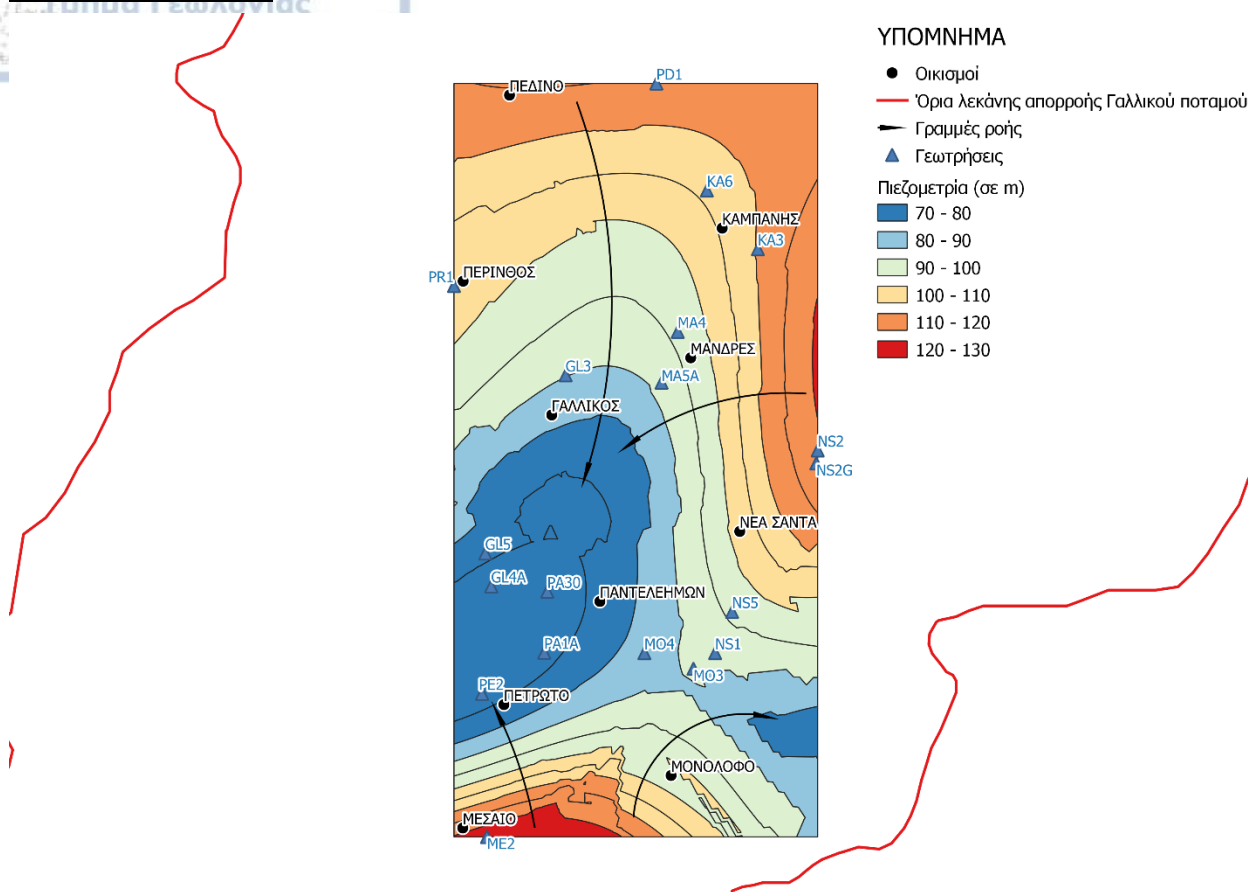


Σχήμα 4.8. Πιεζομετρία περιοχής μελέτης (Spherical ημιβαριόγραμμα)

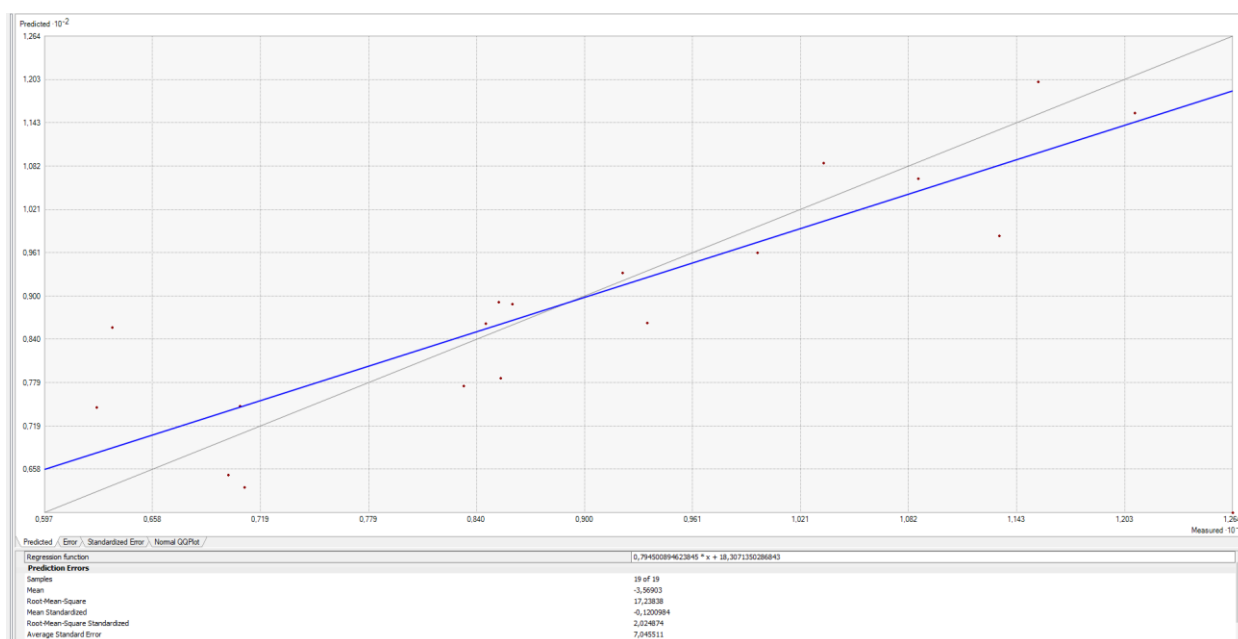


Σχήμα 4.9. Γραμμή τάσης (Spherical ημιβαριόγραμμα)

STABLE KRIGING



Σχήμα 4.10. Πιεζομετρία περιοχής μελέτης (Stable ημιβαριόγραμμα)



Σχήμα 4.11. Γραμμή τάσης (Stable ημιβαριόγραμμα)

Για την καλύτερη αξιολόγηση της μεταβλητότητας στην πρόβλεψη θα πρέπει το Average Standard Error και το Root Mean Square Error να είναι όσο το δυνατόν μικρότερα και πιο κοντά μεταξύ τους και το Root Mean Square Standardized Error να είναι κοντά στο 1 (<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/performing-cross-validation-and-validation.htm>).

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω και τις στατιστικές παραμέτρους που φαίνονται στον Πίνακα 4.2 παρακάτω τα Exponential και Spherical ημιβαριογράμματα φαίνεται να είναι τα πιο αντιπροσωπευτικά για την περιοχή μελέτης.

Πίνακας 4.2. Απεικόνιση των στατιστικών παραμέτρων εκτίμησης του σφάλματος πρόβλεψης για τα διαφορετικά ημιβαριογράμματα (Cross-validation των διάφορων μοντέλων)

	Circular	Exponential	Gaussian	Spherical	Stable
Mean	-2,502599	-2,414025	-3,59784	-2,531148	-3,56903
Root Mean Square	14,90052	14,67295	19,09049	14,887	17,23838
Mean Standardized	-0,09283693	-0,08995395	-0,0187788	-0,0943284	-0,1200984
Root Mean Square Standardized	0,9515641	0,8192766	3,045958	0,9437232	2,024874
Average Standard Error	11,32678	13,64015	6,239159	11,4343	7,045511

4.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΗΣ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 2004 & 2005 ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ

Από τις 19 γεωτρήσεις οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για μετρήσεις στάθμης την περίοδο του Σεπτεμβρίου 2020 οι 16 αφορούσαν γεωτρήσεις οι οποίες μετρήθηκαν και στις περιόδους Σεπτεμβρίου 2004 & 2005 λόγω μελετών που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή.

Παρακάτω στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται οι μετρήσεις στάθμης των γεωτρήσεων για τις περιόδους Σεπτεμβρίου 2020, 2004 & 2005 αλλά και οι μεταβολές μεταξύ των περιόδων 2020-2004 & 2020-2005.

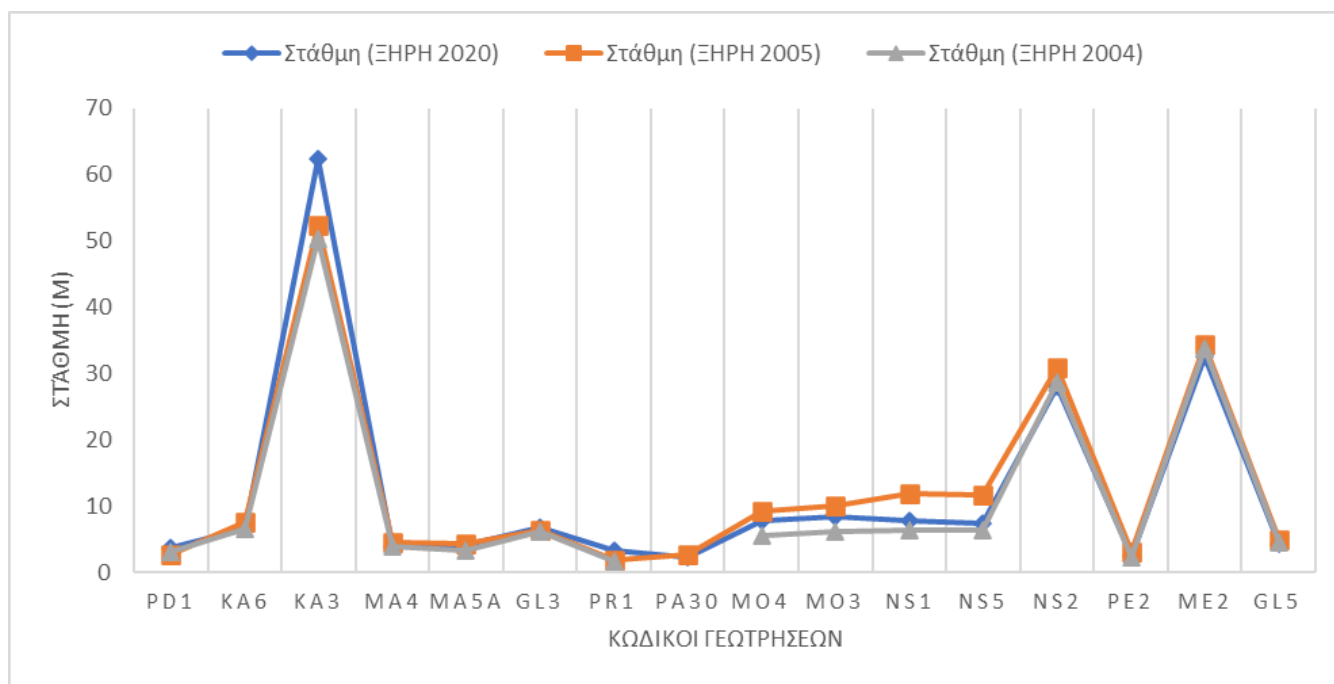
Πίνακας 4.3. Σύγκριση μετρήσεων στάθμης της περιόδου του Σεπτεμβρίου 2020 σε σχέση με τις περιόδους Σεπτεμβρίου 2004 & 2005 (Μάττας Χ. 2009). Οι θετικές τιμές στις μεταβολές συνεπάγονται πτώση της στάθμης του υπογείου νερού και οι αρνητικές άνοδο.

Κωδικός	Βάθος (ΞΗΡΗ 2020)	Βάθος (ΞΗΡΗ 04)	Βάθος (ΞΗΡΗ 05)	Διαφορά 2020-2004 (m)	Διαφορά 2020-2005 (m)
PD1	3.72	3.04	2.6	0.68	1.12
KA6	6.57	6.52	7.6	0.05	-1.03
KA3	62.27	50.35	52.3	11.92	9.97
MA4	3.84	3.9	4.46	-0.06	-0.62
MA5A	4.04	3.36	4.28	0.68	-0.24
GL3	6.69	6.18	6.4	0.51	0.29
PR1	3.27	1.7	1.8	1.57	1.47
PA30	2.36		2.75		-0.39
MO4	7.77	5.46	9.2	2.31	-1.43
MO3	8.52	6.2	10.07	2.32	-1.55
NS1	7.79	6.29	11.85	1.5	-4.06
NS5	7.47	6.29	11.65	1.18	-4.18
NS2	28.12	28.57	30.8	-0.45	-2.68
PE2	2.47	2.26	3.18	0.21	-0.71
ME2	32.62	33.77	34.4	-1.15	-1.78
GL5	4.32	4.63	4.97	-0.31	-0.65

Από τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι στην πλειονότητα των γεωτρήσεων καταγράφεται πτώση της στάθμης του υπόγειου νερού η οποία κυμαίνεται από 0.05 έως 11.92 m μεταξύ των ετών 2004 και 2020. Άνοδος της στάθμης καταγράφεται σε τέσσερις μόνο γεωτρήσεις και κυμαίνεται από 0.06 έως 1.15 m. Η εικόνα είναι διαφορετική μεταξύ των ετών 2005 και 2020 καθώς αύξηση της στάθμης που κυμαίνεται από 0.24 έως 4.18 m καταγράφεται σε 12 γεωτρήσεις ενώ μείωση της στάθμης σε μόλις τέσσερις γεωτρήσεις,

Φαίνεται δηλαδή ότι στη μεγαλύτερη έκταση της λεκάνης η στάθμη το 2020 βρίσκεται πιο ψηλά (κοντά στην επιφάνεια του εδάφους) σε σχέση με το 2005. Όμως η πτώση στάθμης που παρατηρείται στη γεώτρηση ΚΑ3 είναι της τάξης των 10 m περίπου, μια τιμή πολύ μεγάλη.

Η απεικόνιση των μεταβολών της στάθμης για κάθε γεώτρηση παρουσιάζεται παρακάτω στο σχήμα 4.12



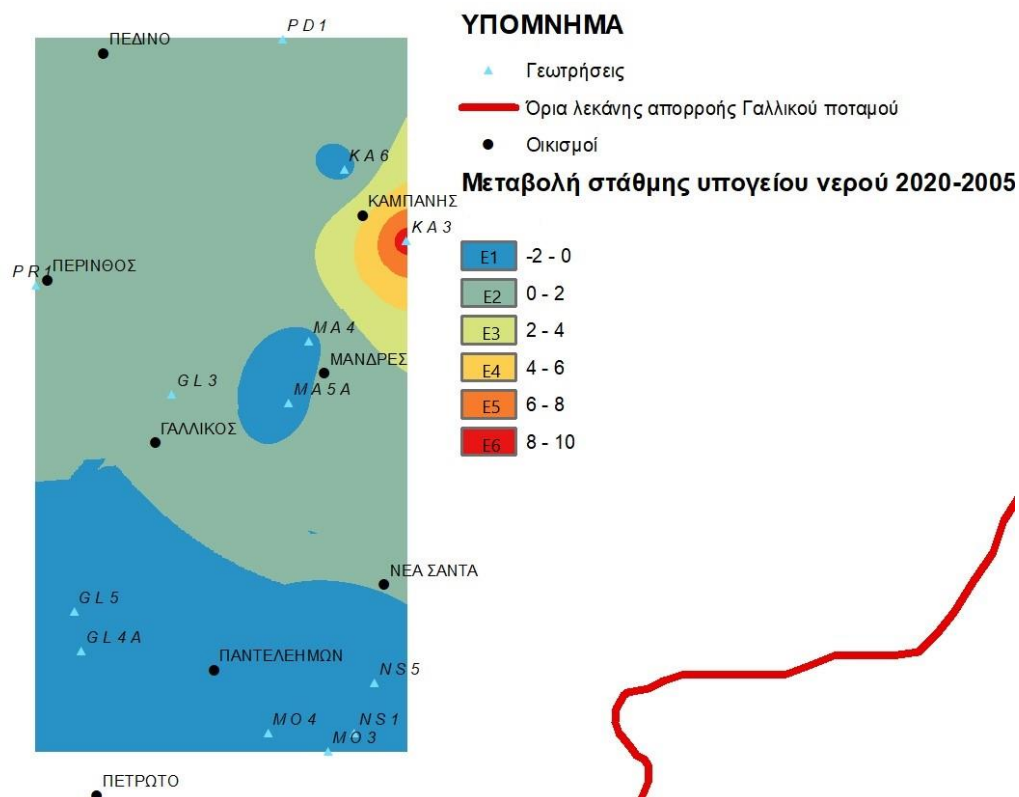
Σχήμα 4.12. Διάγραμμα μεταβολής στάθμης του υπογείου νερού μεταξύ των περιόδων Σεπτεμβρίου 2020, 2005 & 2004

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ

Για την εκτίμηση της μεταβολής των αποθεμάτων μεταξύ των περιόδων Σεπτεμβρίου 2020-2005 και Σεπτεμβρίου 2020-2004 θα χρησιμοποιηθούν μόνο οι γεωτρήσεις που μετρήθηκαν σε όλες τις περιόδους και όσες βρίσκονται στις τεταρτογενείς αποθέσεις. Για τον σκοπό αυτό παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες μεταβολής της στάθμης των δύο περιόδων οι οποίοι κατασκευάστηκαν με λογισμικό GIS. Ο χάρτης που αφορά την περίοδο Σεπτεμβρίου 2020-2005 έχει κατασκευαστεί με την μέθοδο Ordinary Kriging με Stable ημιβαριόγραμμα και αυτός που αφορά την περίοδο Σεπτεμβρίου 2020-2004 με την μέθοδο Ordinary Kriging με Gaussian ημιβαριόγραμμα για τους ίδιους λόγους που έχουν αναφερθεί στην προηγούμενη παράγραφο

καθώς αποτελούν τις πιο αντιπροσωπευτικές μεθόδους. Οι χάρτες μεταβολής στάθμης δίνουν τη δυνατότητα ζωνοποίησης της περιοχής χωρίζοντας την μεταβολή της πτώσης στάθμης σε διάφορες κλάσεις μεταξύ της ελάχιστης και μέγιστης τιμής (Σχήματα 4.13 & 4.14). Στη συνέχεια πολλαπλασιάζοντας την έκταση κάθε ζώνης με τη μέση τιμή της πτώσης στάθμης και το πορώδες των σχηματισμών υπολογίζεται η μεταβολή των αποθεμάτων.

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2020-2005

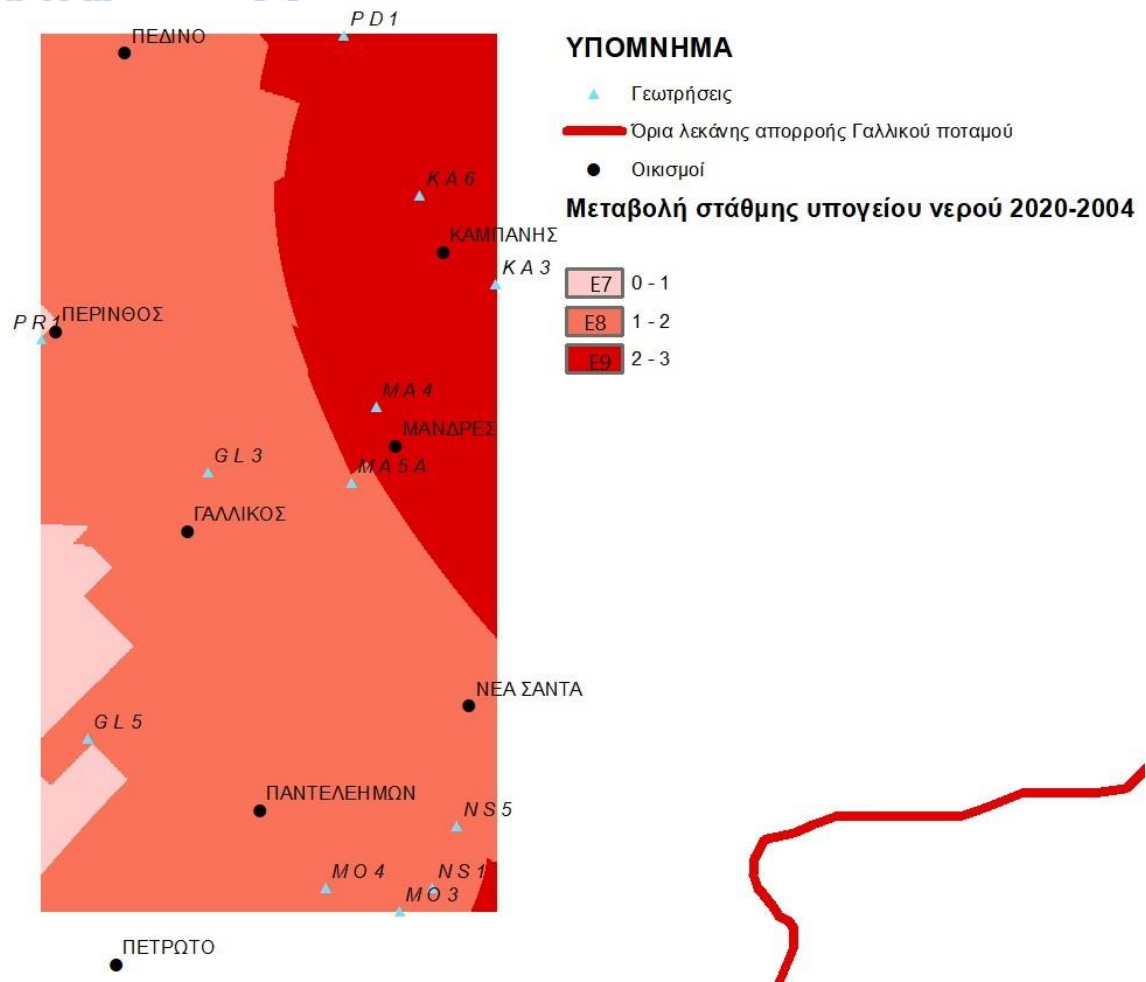


Σχήμα 4.13. Μεταβολή στάθμης υπογείων νερών περιόδου Σεπτεμβρίου 2020-2005 (σε m). Οι αρνητικές τιμές (μπλε χρώμα) συνεπάγονται άνοδο της στάθμης και οι θετικές πτώση αυτής.

Πίνακας 4.4. Εκτίμηση μεταβολής αποθεμάτων περιόδου Σεπτεμβρίου 2020-2005 (σε m³). Οι θετικές τιμές αφορούν απώλειες και οι αρνητικές αναπλήρωση αποθεμάτων.

Μεταβολή 2020-2005			
	Εμβαδόν (m ²)	Μέση μεταβολή στάθμης (m)	Μεταβολή αποθεμάτων (m ³)
E1 (-2 - 0)	17648723	-0,46	-2841444
E2 (0 - 2)	33225058	0,75	8721577
E3 (2 - 4)	1681606	2,8	1647973
E4 (4 - 6)	668178	4,8	1122539
E5 (6 - 8)	253933	6,81	605249
E6 (8 - 10)	52332	8,6	157519
Σύνολο	-	-	9413413

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 2020-2004



Σχήμα 4.14. Μεταβολή στάθμης υπογείων νερών περιόδου Σεπτεμβρίου 2020-2004 (σε m). Οι θετικές τιμές αφορούν πτώση στάθμης.

Πίνακας 4.5. Εκτίμηση μεταβολής αποθεμάτων περιόδου Σεπτεμβρίου 2020-2004 (σε m³). Οι θετικές τιμές αφορούν απώλειες αποθεμάτων.

Μεταβολή 2020-2004			
	Εμβαδόν (m ²)	Μέση μεταβολή στάθμης (m)	Μεταβολή αποθεμάτων (m ³)
E7 (0 - 1)	2297295	0,86	691485
E8 (1 - 2)	37730372	1,6	21129008
E9 (2 - 3)	13483781	2,37	11184796
Σύνολο	-	-	33005289

Σύμφωνα με τον Καλλέργη (1999) τα χαλίκια έχουν ολικό πορώδες 24% - 38%, οι άμμοι 26% - 53%, η ιλύς 34% - 61% και η άργιλος 34% - 60%.

Δεδομένου ότι στην περιοχή επικρατεί η άργιλος, για της ανάγκες της συγκεκριμένης εργασίας θα θεωρηθεί ένα μέσο πορώδες για την περιοχή μελέτης της τάξεως του 35%.

Η μεταβολή των αποθεμάτων για το συγκεκριμένο πορώδες φαίνεται παραπάνω στους Πίνακες 4.4 & 4.5.

Επειδή οι θετικές τιμές που προκύπτουν και για τις δύο περιόδους σημαίνουν απώλειες αποθεμάτων, παρατηρούνται απώλειες της τάξεως των $9.4 \cdot 10^6$ m³ για την περίοδο 2020-2005 και $33 \cdot 10^6$ m³ για την περίοδο 2020-2004.

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις εργασίες υπαίθρου που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας είναι τα παρακάτω.

- Από τις μετρήσεις στάθμης 19 γεωτρήσεων και την εφαρμογή της μεθόδου Ordinary Kriging με την χρήση GIS έγινε σύγκριση 5 ημιβαριογραμμάτων και προκύπτει ότι τα πιο αντιπροσωπευτικά για την περιοχή μελέτης είναι τα ημιβαριογράμματα Exponential και Spherical καθώς τα Average Standard Error και Root Mean Square Error δεν έχουν μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους, εμφανίζουν τις μικρότερες τιμές συγκρινόμενα με τα υπόλοιπα ημιβαριογράμματα και το Root Mean Square Standardized είναι κοντά στο 1.
- Ο χάρτης μεταβολής της στάθμης των υπογείων νερών μεταξύ των περιόδων Σεπτεμβρίου 2020 και Σεπτεμβρίου 2005 κατασκευάστηκε με την χρήση GIS και την μέθοδο Ordinary Kriging με Stable ημιβαριόγραμμα καθώς ήταν το πιο αντιπροσωπευτικό. Η εκτίμηση της μεταβολής των αποθεμάτων για την περίοδο αυτή είναι ότι υπάρχουν απώλειες $\sim 9.4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.
- Ο χάρτης μεταβολής της στάθμης των υπογείων νερών μεταξύ των περιόδων Σεπτεμβρίου 2020 και Σεπτεμβρίου 2004 κατασκευάστηκε με την χρήση GIS και την μέθοδο Ordinary Kriging με Gaussian ημιβαριόγραμμα καθώς ήταν το πιο αντιπροσωπευτικό. Η εκτίμηση της μεταβολής των αποθεμάτων για την περίοδο αυτή είναι ότι υπάρχουν απώλειες $\sim 33 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.



Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Journel AG, Huijbregts CHJ. (1978). Mining Geostatistics. London: Academic Press.

Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., Rubel F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, 15(3), 259-263.

Kockel F., Ioannides K. (1979): Geological map of Greece, Kilgis Sheet. Athens, Greece: IGMR.

Mattas C., Soulios G. (2011). Hydrogeological conditions of the upper part of Gallikos river basin, Advances in the Research of Aquatic Environment, 1, 331-338

Ελληνική Βιβλιογραφία

Βουδούρης Κ. (2017). Εκμετάλλευση και διαχείριση υπογείου νερού, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Μάττας Χ. (2009). Υδρογεωλογική έρευνα στη λεκάνη του Γαλλικού ποταμού, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.

Μουντράκης Δ. (2010). Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας, UniversityStudioPress, Θεσσαλονίκη.

Καλλέργης Γ. (1999). Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. Αθήνα: Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας.

Διαδικτυακές Πηγές

<http://www.hnms.gr> (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία)

<https://www.meteo.gr> (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)

<https://pro.arcgis.com> (ESRI)