



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Σ. ΓΙΑΤΑΓΑΝΑΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ
ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ
ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020





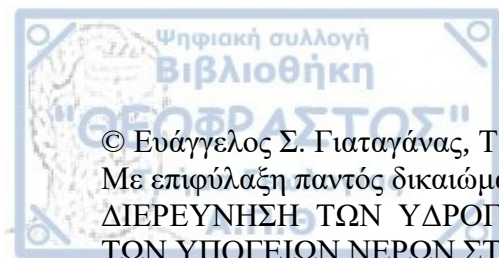
ΓΙΑΤΑΓΑΝΑΣ Σ. ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5399

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ
ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωλογίας,
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων

Δρ. Μάττας Χρήστος



© Ευάγγελος Σ. Γιαταγάνας, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωλογίας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ
ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΦΛΩΡΙΝΑΣ

– Διπλωματική Εργασία

© Evangelos S.Giataganas, School of Geology, Dept. of Geology, 2020

All rights reserved.

INVESTIGATION OF THE HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS AND
GROUNDWATER QUALITY PARAMETERS IN THE FLORINA BASIN

– 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.

Εικόνα Εξωφύλλου:.....

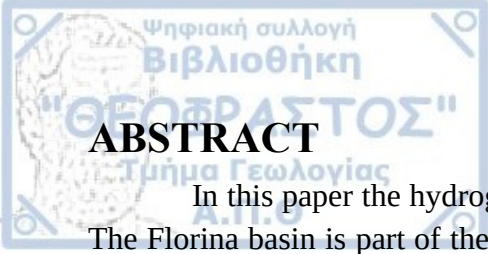




ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT	2
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	4
2.1. Γενικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας	4
2.1.1. Γεωγραφία – Γεωμορφολογία	4
2.1.2. Κλίμα.....	5
2.1.3. Δημογραφικά χαρακτηριστικά	7
2.1.4. Γεωλογία.....	8
3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	10
3.1. Υδροφορείς.....	10
3.2. Μετρήσεις στάθμης του υπόγειου νερού – Πιεζομετρία.....	12
3.3. Υδροχημεία	14
3.4. Χωρική κατανομή στάθμης υπόγειου νερού, νιτρικών και φωσφορικών ιόντων με τη μέθοδο του Ordinary Kriging.....	16
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	34
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	36
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	38

Στην παρούσα εργασία μελετώνται οι υδρογεωλογικές συνθήκες της λεκάνης της Φλώρινας. Η λεκάνη της Φλώρινας αποτελεί κομμάτι της Πελαγονικής ζώνης και βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της Ελλάδος. Συγκεκριμένα, έγινε μέτρηση στάθμης σε 27 γεωτρήσεις τους μήνες Ιούλιο του 2018 και Απρίλιο του 2019 με την υψηλότερη στάθμη να συναντάται σε αρτεσιανές γεωτρήσεις (0,4 m πάνω από το έδαφος) και την χαμηλότερη στάθμη σε βάθος 59,5 m από την επιφάνεια του εδάφους. Στη συνέχεια, τον Ιούλιο του 2018 έγινε δειγματοληψία από 16 διαφορετικές γεωτρήσεις, μετρήθηκαν επιτόπου η ηλεκτρική αγωγιμότητα καθώς και η ενεργός οξύτητα και θερμοκρασία του νερού και πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση των δειγμάτων με σκοπό την εύρεση των νιτρικών και φωσφορικών ιόντων που υπάρχουν στο υπόγειο νερό. Οι τιμές των νιτρικών έχουν ως μέγιστη τιμή 64 mg/L ενώ των φωσφορικών 8,2 mg/L. Αυτό αποδίδεται στην χρήση λιπασμάτων καθώς η περιοχή είναι αγροτική. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων οπτικοποιήθηκαν με την κατασκευή των ανάλογων θεματικών χαρτών με τη χρήση προγραμμάτων GIS, εφαρμόζοντας γεωστατιστικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται διεθνώς και προτείνονται στη διεθνή βιβλιογραφία. Η μέθοδος χωρικής κατανομής που χρησιμοποιήθηκε είναι η Ordinary Kriging για 4 διαφορετικά ημι-βαριοδιαγράμματα. Ως κριτήριο για την καταλληλότητα, του κάθε ημι-βαριοδιαγράμματος χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές του σφάλματος μέσης τετραγωνικής ρίζας (Root Mean Square Error) και του συντελεστή συσχέτισης (R^2) από τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ μετρημένων-υπολογισμένων τιμών.



ABSTRACT

In this paper the hydrogeological conditions of the Florina basin are investigated. The Florina basin is part of the Pelagonian zone and it is located at the northwestern part of Greece. Groundwater level measurements were performed on 27 boreholes for two periods, (July of 2018 and April 2019). The highest water level above the mean sea level was observed at artesian boreholes (0,4 m above ground level) and the lowest water level at the depth of 59.5 m. Furthermore, in July 2018 ground water samples were collected, and in situ measurements of electrical conductivity, pH and temperature were carried out. Chemical analysis was performed to determinate the concentration of nitrate and phosphate ions in the samples. The highest nitrate ions concentration was at 64 mg/L and phosphate ions concentration was at 8.2mg/L. This could be attributed to the use of fertilizer, since intense agricultural activities take place in the area. The results of the measurements were visualized with the use of GIS by utilizing geostatistical methods suggested in literature. The method of ordinary Kriging was used for 4 different semi-variograms with the Root Mean Square Error and correlation factor (R^2) as the criteria for deciding how suitable each method is.



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας είναι η λεκάνη της Φλώρινας η οποία αποτελεί μια γεωργοκτηνοτροφική περιοχή, καθώς το 27,26 % της έκτασης του Νομού Φλώρινας αποτελείται από γεωργικές εκτάσεις (<http://www.anflo.gr>). Για τις καλλιέργειες της περιοχής χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες λιπασμάτων, πλούσια σε νιτρικά και φωσφορικά ιόντα τα οποία μέσω της κατείσδυσης καταλήγουν στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Στην περίπτωση που η συγκέντρωση νιτρικών και φωσφορικών ιόντων στο νερό ξεπερνάει τα 50 mg/L ή τα 5 mg/L αντίστοιχα, το νερό αυτό καθίσταται ακατάλληλο για ύδρευση και άρδευση.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών και της ποιότητας του υπογείου νερού στη λεκάνη της Φλώρινας όσον αφορά στη ρύπανση από νιτρικά και φωσφορικά ιόντα που σχετίζονται με τις παραπάνω οικονομικές δραστηριότητες που αναπτύσσονται στην περιοχή. Πιο συγκεκριμένα, οι ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν για τη μελέτη αυτή ήταν οι εξής:

- Συλλογή βιβλιογραφίας, μελετών και εργασιών σχετικά με την μόλυνση που προκαλείται από νιτρικά και φωσφορικά ιόντα καθώς και γενικά στοιχεία υδροχημείας.
- Συλλογή τοπογραφικών γεωλογικών χαρτών καθώς και γεωλογικών τομών με σκοπό τη διερεύνηση των γεωλογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης.
- Αναζήτηση των δημογραφικών και κλιματικών στοιχείων της περιοχής.
- Εργασίες υπαίθρου που περιλάμβαναν καταγραφή της θέσης των γεωτρήσεων με την χρήση GPS, φωτογράφιση, συλλογή δειγμάτων και μέτρηση στάθμης γεωτρήσεων της περιοχής.
- Επί τόπου μέτρηση θερμοκρασίας, pH, αγωγιμότητας καθώς και δυναμικό οξειδοαναγωγής.
- Χημική ανάλυση των δειγμάτων στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των νιτρικών και φωσφορικών ιόντων.
- Ψηφιοποίηση των δεδομένων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και κατασκευή ψηφιακών θεματικών χαρτών με την χρήση κατάλληλου λογισμικού.
- Χρήση εικόνων του Google Earth με σκοπό την αποτύπωση και απεικόνιση της περιοχής μελέτης.

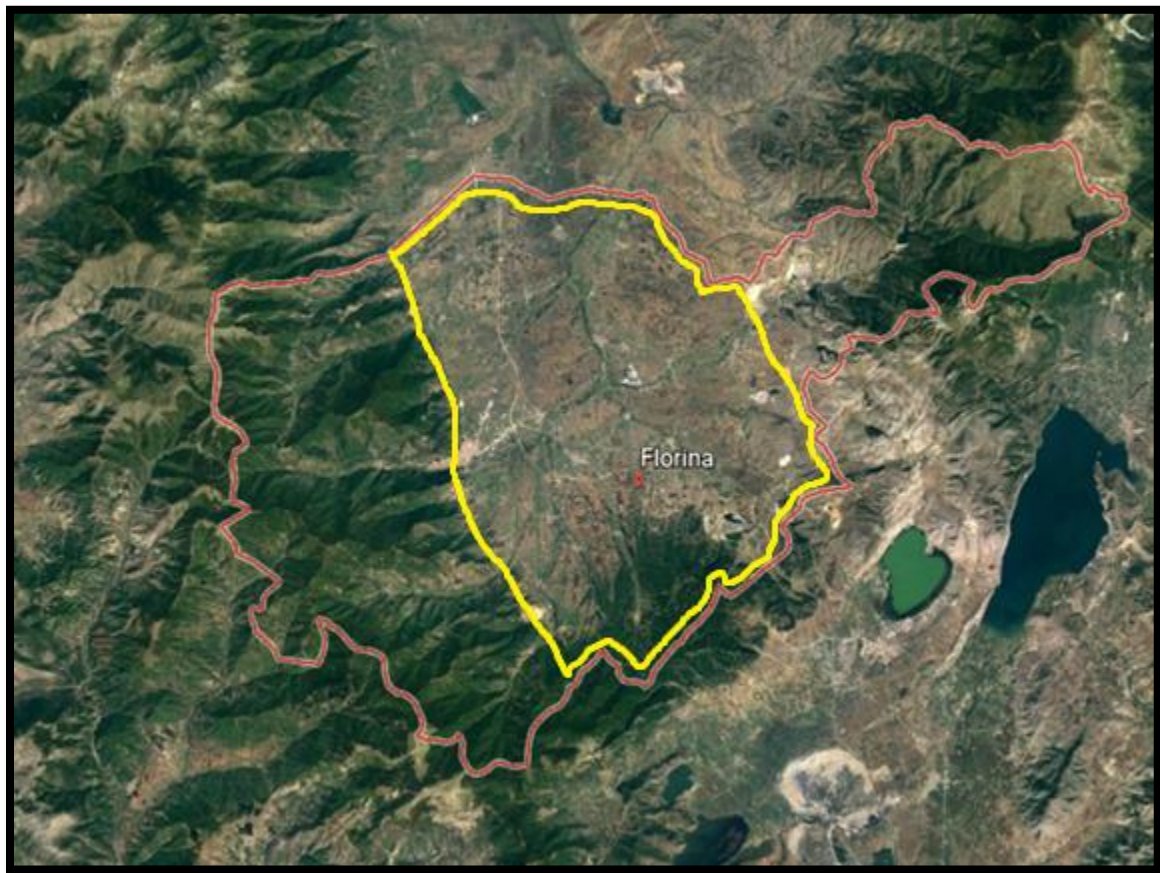
Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Μάττα Χρήστο καθώς χωρίς τη βοήθεια και καθοδήγησή του δεν θα ήταν εφικτή η πραγματοποίηση της εργασίας αυτής.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1. Γενικά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας

2.1.1. Γεωγραφία – Γεωμορφολογία

Ο Νομός Φλώρινας βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της Ελλάδος και συνορεύει με δύο χώρες. Βορειοδυτικά συνορεύει με την Αλβανία και βόρεια με την Βόρεια Μακεδονία. Νότια-νοτιοδυτικά συνορεύει με το νομό Καστοριάς, νότια με το νομό Κοζάνης και ανατολικά με το νομό Πέλλας.



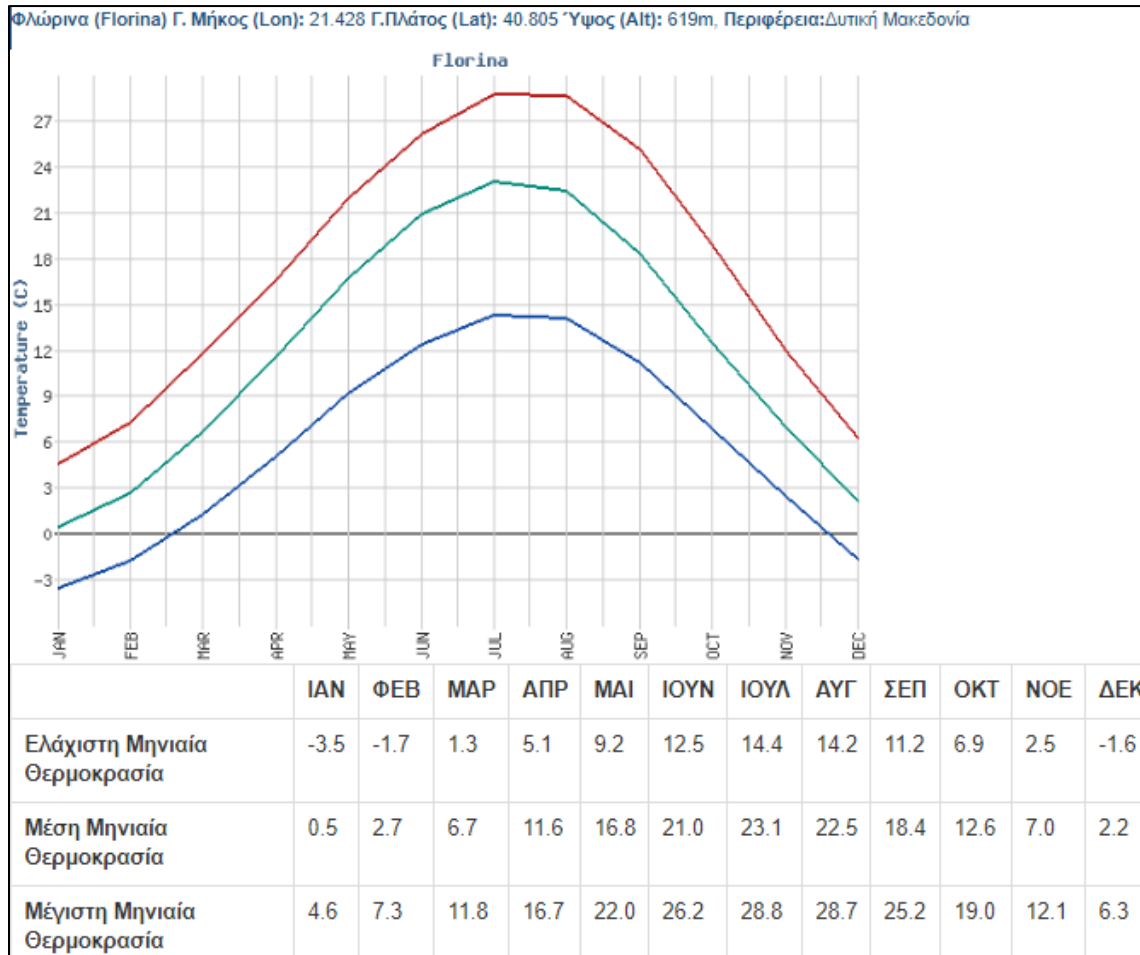
Εικόνα 1. Απεικόνιση της περιοχής μελέτης (κίτρινη γραμμή). Με κόκκινη γραμμή επισημαίνονται τα όρια του Δήμου Φλώρινας. Εικόνα από Google Earth.

Στην περιοχή της Φλώρινας παρατηρούνται τρεις ορεινοί όγκοι: ο Βόρας με υψόμετρο 2.524 m, το οποίο είναι το τρίτο ψηλότερο βουνό της Ελλάδος, ο Βαρνούντας με υψόμετρο 2.334 m και το Βέρνο με υψόμετρο 2.128 m. (<http://www.anflo.gr>)

Η περιοχή μελέτης υπάγεται διοικητικά στο δήμο Φλώρινας (Εικόνα 1) τοποθετείται ανατολικά της πόλης της Φλώρινας. Το μέσο υψόμετρο της είναι 620 m, με κλίση 1,5% και καλύπτει εμβαδό περίπου 320 km² (Voudouris, et al 2018).

2.1.2. Κλίμα

Το κλίμα της Φλώρινας χαρακτηρίζεται ως Cfa κατά Köppen, δηλαδή, υγρό υποτροπικό κλίμα. Για να χαρακτηριστεί το κλίμα σε μια περιοχή με αυτόν τον τρόπο πρέπει να τηρεί συγκεκριμένα κριτήρια (<http://www.hnms.gr/>).



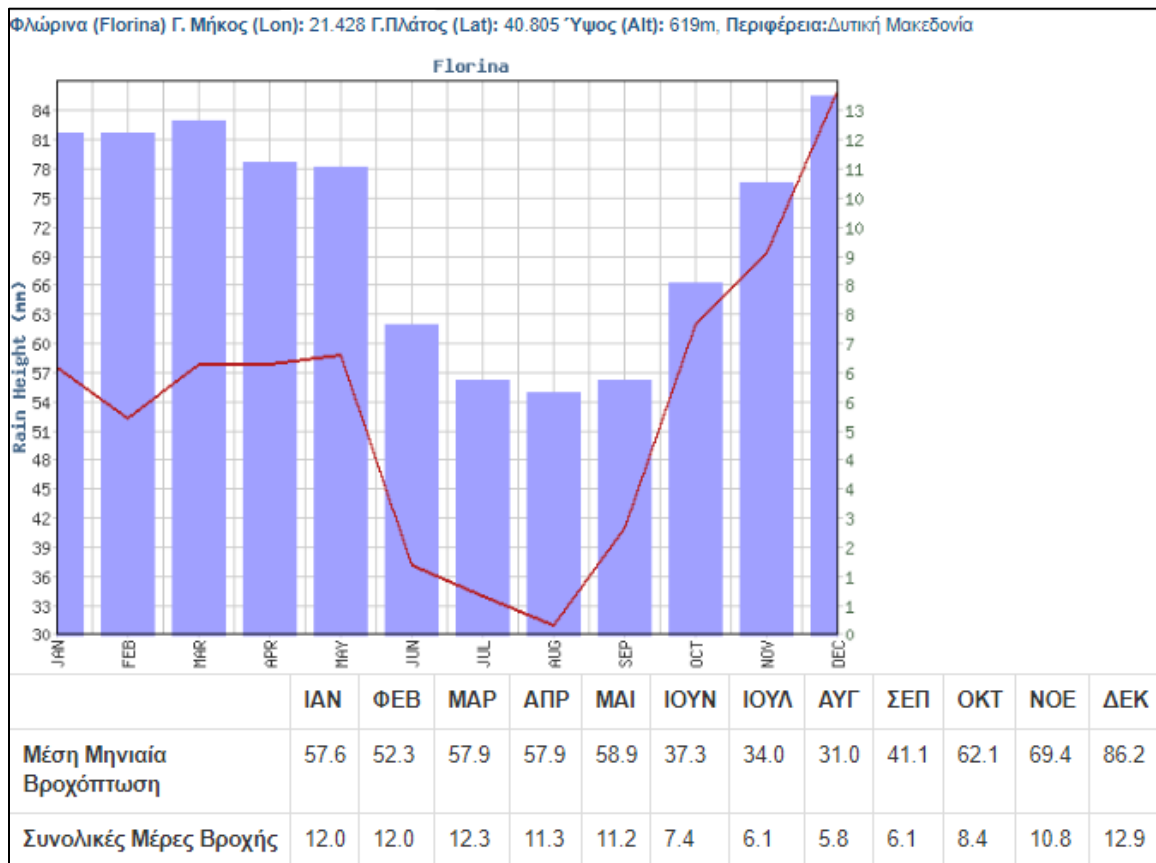
Εικόνα 2. Πίνακας Μηνιαίων θερμοκρασιών (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία).

Αρχικά, όσον αφορά την θερμοκρασία στην περιοχή της Φλώρινας εμφανίζεται ως ψυχρότερος ο μήνας Ιανουάριος με μέση θερμοκρασία 0,5°C, ενώ θερμότερος είναι ο μήνας Ιούλιος με την μέση θερμοκρασία να βρίσκεται στους 23,1°C. Οι παραπάνω θερμοκρασίες χαρακτηρίζονται με C κατά τον Köppen. Συνεχίζοντας, ο χαρακτήρας a δικαιολογείται καθώς το κριτήριο του, μέση θερμοκρασία θερμότερου μήνα μεγαλύτερη από 22°C πληρείται κατά τον μήνα Ιούλιο.

Επιπλέον, η μέση μηνιαία βροχόπτωση σημειώνει ελάχιστη τιμή τον μήνα Αύγουστο με 31.0 mm βροχής και 5,8 μέρες βροχόπτωσης ενώ η μέγιστη τιμή της παρατηρείται τον μήνα Δεκέμβριο με 86,2 mm βροχής και 12,9 μέρες βροχόπτωσης. Τα

παραπάνω δεδομένα δεν δικαιολογούν χαρακτηρισμό με s το οποίο απαιτεί η βροχή του ξηρότερου να είναι μικρότερη των 30mm και μικρότερη από το $1/3$ της βροχής του υγρότερου μήνα. Ακόμα, επειδή η βροχή τον ξηρότερο μήνα δεν είναι μικρότερη από το $1/10$ της βροχής του υγρότερου μήνα, δεν γίνεται να χαρακτηριστεί ως w . Με βάση τα παραπάνω, ο χαρακτήρας ο οποίος περιγράφει το κλίμα της περιοχής σε σχέση με την βροχόπτωση είναι ο f (Cfb).

(<http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc431e/th/Climatology.pdf>)



Εικόνα 3. Πίνακας μηνιαίων βροχοπτώσεων (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία).

2.1.3. Δημογραφικά χαρακτηριστικά

Η περιφερειακή ενότητα της Φλώρινας αποτελείται από 51.414 κατοίκους με βάση την απογραφή του 2011 το 35% των οποίων διαμένουν στο δήμο Φλώρινας.

Σύγκριση μεταξύ απογραφών 2001 και 2011 δείχνει μια γενική μείωση του επαρχιακού πληθυσμού και ταυτόχρονη αύξηση του πληθυσμού που διαμένει στην πόλη της Φλώρινας. Πιθανή εξήγηση αυτού του φαινομένου είναι η αστικοποίηση η οποία οφείλεται στις περισσότερες ευκαιρίες εργασίας που προσφέρονται στα αστικά κέντρα.

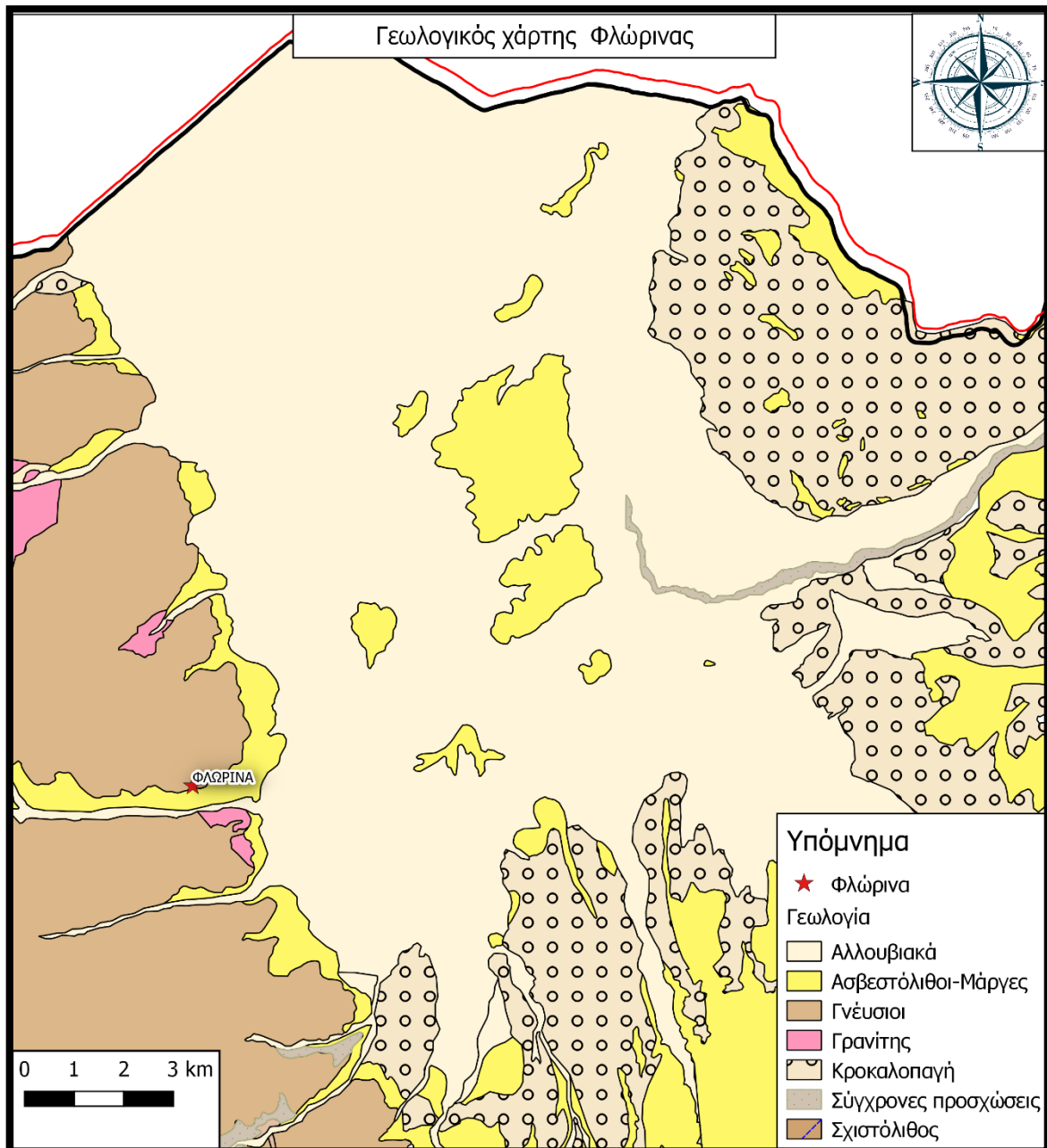
Αξίζει να σημειωθεί ότι το 33,25% (6,277 άτομα) των οικονομικά ενεργών κατοίκων του νομού Φλώρινας απασχολείται στην γεωργία, κτηνοτροφία, αλιεία, δασοκομία και το κυνήγι. Οι παραπάνω ασχολίες σημειώνουν μεγάλη απαίτηση σε νερό. (<http://www.anflo.gr/>)

Δήμος ή Κοινότητα	Σύνολο Πληθυσμού			Ποσοστιαία Μεταβολή 1991-2001	Ποσοστιαία Μεταβολή 2001-2011
	1991	2001	2011		
Σύνολο Χώρας	10.252.580	10.939.605	10.816.286	6.7%	-1.1%
Περιφερειακή ενότητα Φλώρινας	53147	54751	51414	3.0%	-6.1%
Δήμος Φλώρινας	14873	17069	17907	14.8%	4.9%
Δήμος Περάσματος	6904	5458	4234	-20.9%	-22.4%
Δήμος Μελίτης	7120	7090	5927	-0.4%	-16.4%
Δήμος Κάτω Κλεινών	4281	3899	2735	-8.9%	-29.9%

Εικόνα 4. Δημογραφικά στοιχεία περιφερειακής ενότητας Φλώρινας (Ελληνική Στατιστική Αρχή)

2.1.4. Γεωλογία

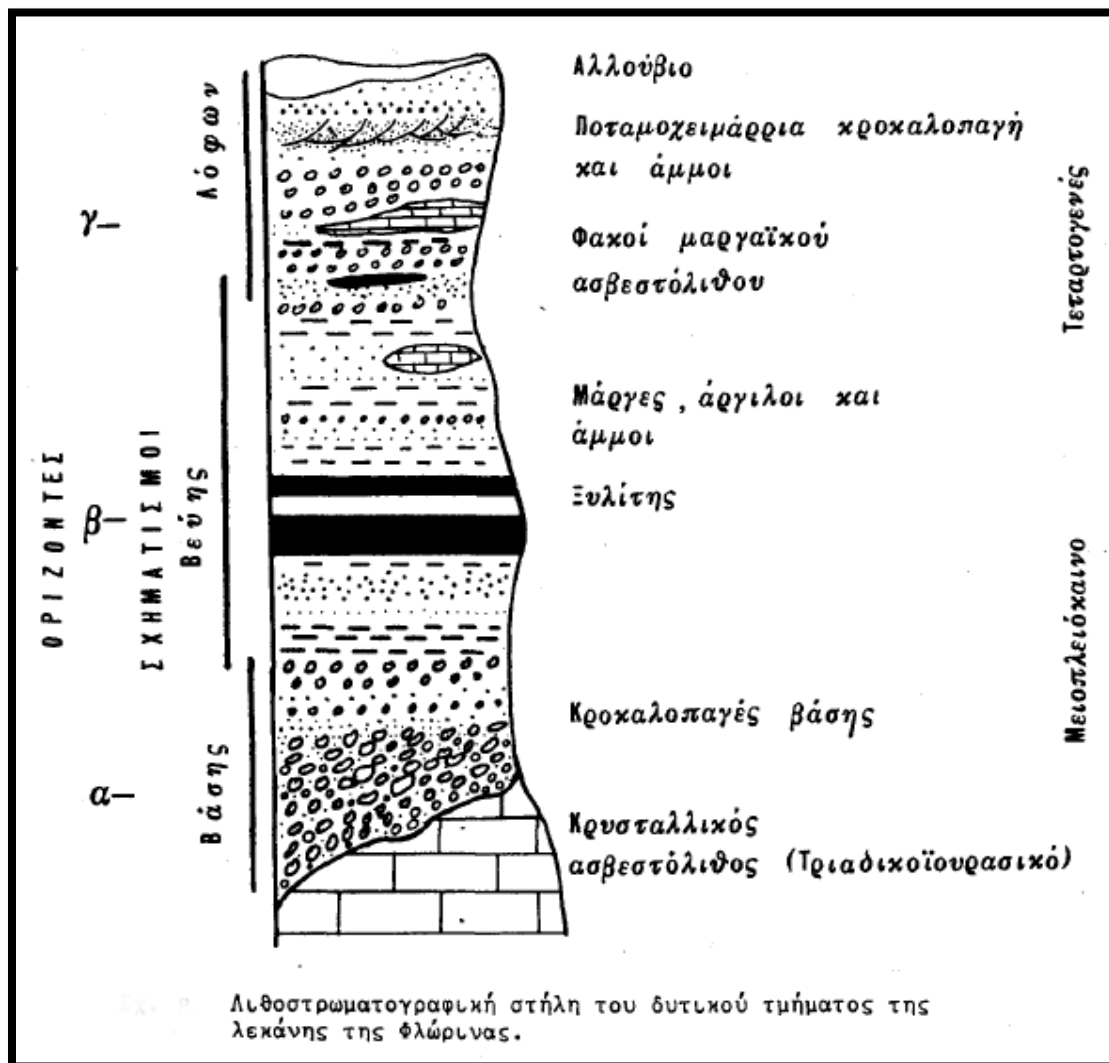
Γεωλογικά, η περιοχή της Φλώρινας αποτελεί τμήμα της Πελαγονικής ζώνης, η οποία συνιστάται από κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, τους γνευσιωμένους γρανίτες, ημιμεταμορφωμένα Περμο-Τριαδικά πετρώματα, δύο ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού - Ιουρασικού, οφειόλιθους και Άνωκρητιδικά επικλυσιογενή ιζήματα (Μουντράκης 2010).



Εικόνα 5. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης, ψηφιοποιημένος από τα φύλλα χάρτη Φλώρινα, Καστοριά, Πτολεμαΐδα και Βεύη 1:50.000 του Ι.Γ.Μ.Ε.

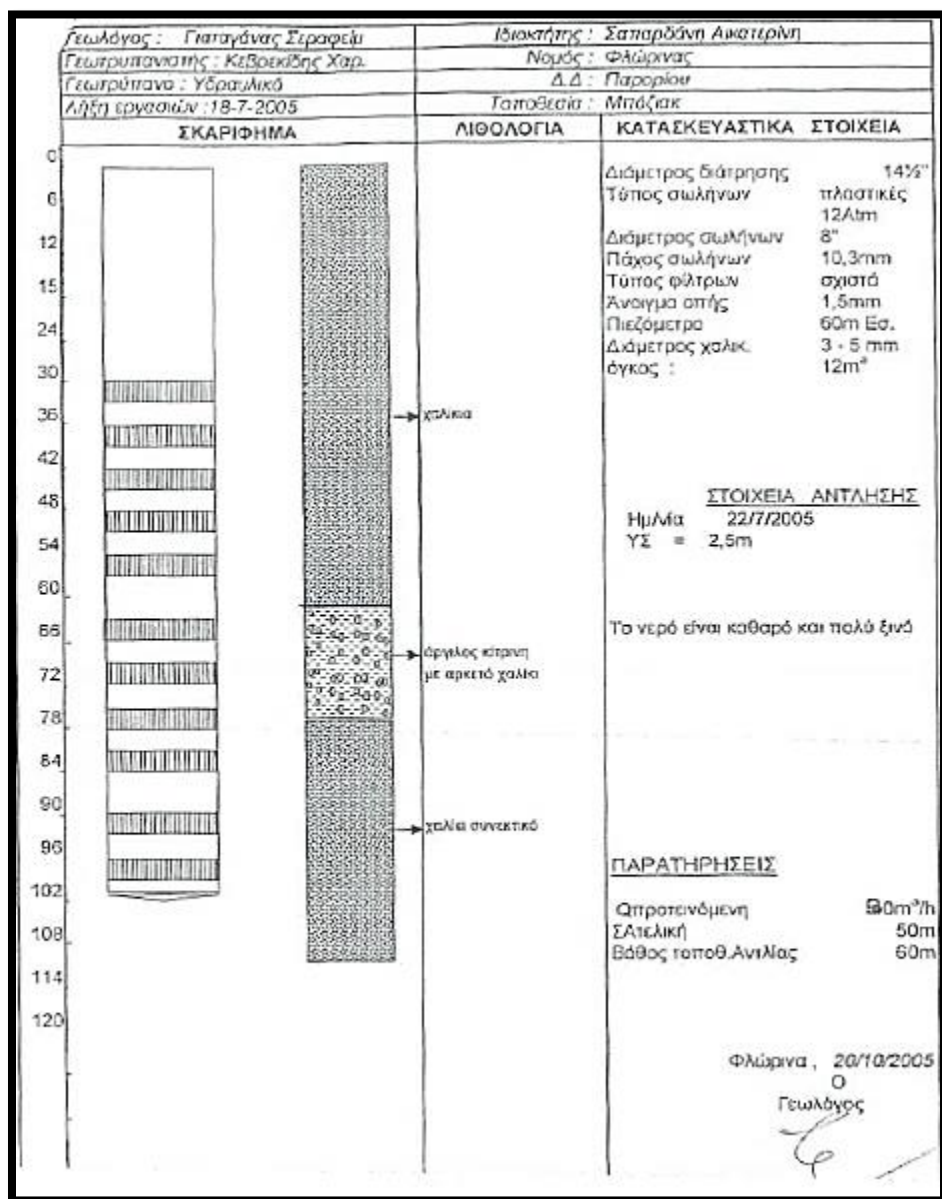
Η λεκάνη καλύπτεται από Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα δομημένα από ψαμμίτες, άργιλο, μάργα, ξυλίτες, κροκάλες και ασβεστόλιθους.

Τεκτονικά, παρατηρούνται ρήγματα με παράταξη ΒΒΔ-ΝΝΑ. (Koukoulas N. et al 2015).

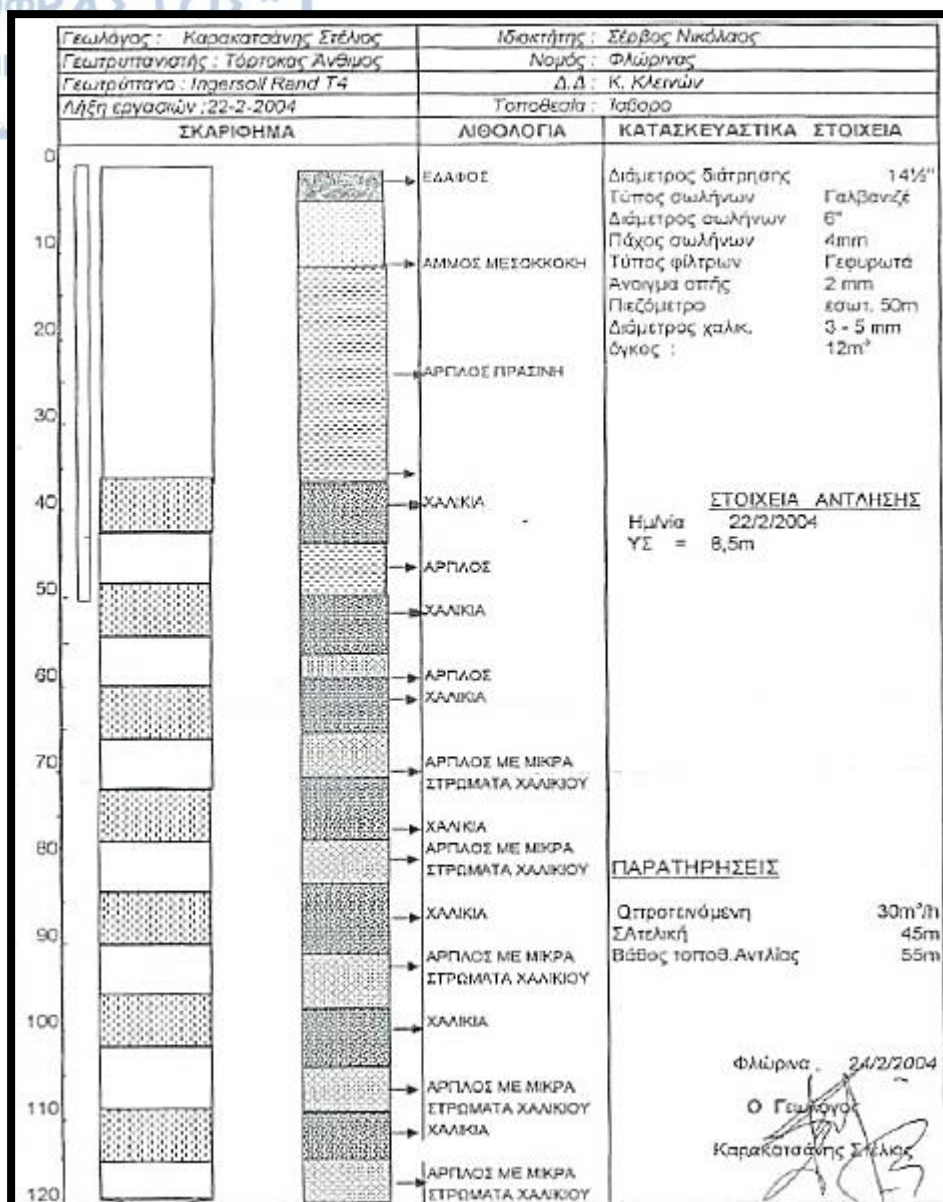


Εικόνα 6. Λιθοστρωματική στήλη της λεκάνης μελέτης (Pavlidis 1985).

Στην περιοχή μελέτης παρατηρείται ύπαρξη ελεύθερων και υπό πίεση υδροφορέων, οι οποίοι εντοπίζονται σε αποθέσεις, κυρίως Τεταρτογενούς ηλικίας. Ενδεικτικά παρουσιάζονται λιθολογικές τομές από γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν στην περιοχή που μας διατέθηκαν από τους γεωλόγους μελετητές.



Εικόνα 7. Λιθολογική τομή ελεύθερου υδροφορέα (Γιαταγάνας Σεραφεΐμ)



Εικόνα 8 Λιθολογική τομή υπό πίεση υδροφορέα (Καρακατσάνης Στέλιος).

3.2. Μετρήσεις στάθμης του υπόγειου νερού – Πιεζομετρία

Με βάση προηγούμενες έρευνες που έλαβαν χώρα στην περιοχή μελέτης, διαπιστώνονται υψηλές τιμές απόλυτης στάθμης στη νότια πλευρά της λεκάνης, με φθίνουσα τάση προς τα βόρεια. (Koukoulas N. et al 2015, Μανδραλή 2017).

Για την μελέτη της πιεζομετρίας της περιοχής, έγινε μέτρηση της στάθμης του υπογείου νερού σε 27 γεωτρήσεις εντός της λεκάνης της Φλώρινας (εικόνα 9 και 10). Οι μετρήσεις έγιναν τον Ιούλιο του 2018 και τον Απρίλιο του 2019, με τη μέγιστη στάθμη υπογείου νερού (απόλυτο υψόμετρο) να ανέρχεται στα 733,4m και να εντοπίζεται στο νότιο τμήμα της λεκάνης στη γεώτρηση 24 που εμφανίζει αρτεσιανισμό, ενώ η ελάχιστη στάθμη υπογείου νερού ανέρχεται στα 580,37m και εντοπίζεται στο βόρειο τμήμα στη γεώτρηση 6. Οι παραπάνω τιμές παρατηρούνται και παραμένουν αμετάβλητες στις δύο περιόδους. Η μέση στάθμη του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται στα 625,22m για τον Ιούλιο ενώ και στα 626,38m για τον Απρίλιο. Με βάση τα παραπάνω, και σε συνδυασμό με τους χάρτες στάθμης υπογείου νερού, φαίνεται ότι η ροή των υπογείων υδάτων είναι από τα νότια προς τα βόρεια (εικόνες 21 και 29). Με βάση τις τιμές του πίνακα φαίνεται ότι μεταξύ των 2 περιόδων η συγκεντρωτική εικόνα δείχνει ότι δεν υπάρχουν μεγάλες μεταβολές σε ότι αφορά την στάθμη. Αυτό πιθανότατα να οφείλεται στην χαμηλή απαίτηση σε νερό λόγω του είδους των καλλιεργειών (για παράδειγμα τα τελευταία χρόνια καλλιεργούνται ηλιάνθοι που έχουν χαμηλές αρδευτικές ανάγκες).

Να σημειωθεί ότι οι πιεζομετρικοί χάρτες του Ιουλίου (εικόνες 15, 17, 19, 21, 23) είναι ενδεικτικοί καθώς η ύπαρξη μερικών ενεργών αρδευτικών γεωτρήσεων γύρω από τα σημεία υδροληψίας θα μπορούσαν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα. Σε κανένα από τα σημεία αυτά, κατά τη διάρκεια και των δύο αυτών μηνών, δεν ήταν σε λειτουργία οι γεωτρήσεις τη στιγμή της μέτρησης.

Επιπροσθέτως, στις γεωτρήσεις υπ' αριθμόν 22 και 24 (Εικόνα 9 και 10), παρατηρείται το φαινόμενο του αρτεσιανισμού, το οποίο αποδίδεται κυρίως στην ύπαρξη CO₂ στους υδροφόρους ορίζοντες της περιοχής (Koukoulas, et al 2015).

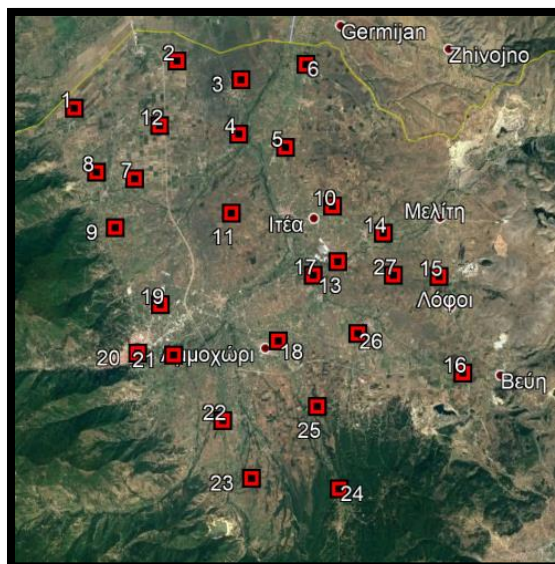
Τα παραπάνω αποτελέσματα κυμαίνονται στο ίδιο εύρος τιμών με αυτά προηγούμενων μελετών (Μανδραλή 2017)

Αξιοσημείωτη είναι η αύξηση της στάθμης κατά 13,06m που παρατηρείται στη γεώτρηση 15 στο χωριό Λόφοι μεταξύ των δυο περιόδων των μετρήσεων. Αυτό πιθανότατα συμβαίνει λόγω της τοπικής στρωματογραφίας, η οποία συνίσταται κυρίως από ασβεστόλιθους και κροκαλοπαγή, ενώ. Οι προαναφερθέντες σχηματισμοί είναι γενικά περατοί και κατά συνέπεια τροφοδοτούν με μεγάλες ποσότητες νερού την γεώτρηση, αιτιολογώντας με αυτό τον τρόπο την σημαντική μεταβολή της στάθμης.

Τέλος αναφέρεται ότι ο υπολογισμός των απόλυτων υψομέτρων του εδάφους στις θέσεις των γεωτρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της στάθμης έγινε με την χρήση Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου (DEM) αρά πιθανό να υπάρχουν αποκλίσεις από τα πραγματικά υψόμετρα που απεικονίζονται σε τοπογραφικούς χάρτες μεγάλης κλίμακας (π.χ. 1:5000) (<https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1>)

Σημείο	Στάθμη υπογείου νερού (m) Ιούλιος	Στάθμη υπογείου νερού (m) Απρίλιος	Διαφορά Απρίλιος - Ιούλιος	Βάθος στάθμης (m) Ιούλιος	Βάθος στάθμης (m) Απρίλιος
1	606.18	606.19	0,01	2,82	2,81
2	586.68	587.05	0,37	2,32	1,95
3	584.34	583.22	-1,12	12,66	13,78
4	590.2	590.05	-0,15	20,8	20,95
5	589.76	588.86	-0,9	8,24	9,14
6	580.37	580.37	0	6,63	6,63
7	603.6	604.38	0,78	6,4	5,62
8	608.12	608.16	0,04	6,88	6,84
9	619.47	619.19	-0,28	3,53	3,81
10	611.09	611.52	0,43	6,91	6,48
11	610.91	614.67	3,76	26,09	22,33
12	592.52	596.97	4,45	8,48	4,03
13	617.97	617.94	-0,03	3,03	3,06
14	634.56	634.52	-0,04	2,44	2,48
15	608.5	621.56	13,06	59,5	46,44
16	661.75	662.31	0,56	11,25	10,69
17	609.69	609.77	0,08	2,31	2,23
18	619.48	625.18	5,7	14,52	8,82
19	620.22	621	0,78	1,78	1
20	647.75	647.86	0,11	2,25	2,14
21	627.35	628.19	0,84	1,65	0,81
22	655.1	655.1	0	-0,1	-0,1
23	706.58	709.08	2,5	2,42	-0,08
24	733.4	733.4	0	-0,4	-0,4
25	683	682.57	-0,43	24	24,43
26	630.12	631.01	0,89	0,88	-0,01
27	642.3	642.2	-0,1	1,7	1,8

Εικόνα 9. Απόλυτο υψόμετρο στάθμης νερού κατά τον Ιούλιο 2018 και τον Απρίλιο 2019.



Εικόνα 10. Απεικόνιση θέσης γεωτρήσεων από τις οποίες έγινε μέτρηση στάθμης.

3.3. Υδροχημεία

Τον Ιούλιο του 2018, έγινε δειγματοληψία υδάτων από 16 γεωτρήσεις και πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις με το φασματοφωτόμετρο Visocolor PF-3 Soil. Τα αποτελέσματα δίνονται στον παρακάτω πίνακα. Με κόκκινο σημειώνονται οι τιμές που παρατηρήθηκαν άνω των επιτρεπτών ορίων, ενώ οι τιμές < 3 mg/L περιέχουν συγκέντρωση νιτρικών ιόντων μικρότερη από την ικανότητα μέτρησης του οργάνου.

Γεώτρηση	EC ($\mu\text{S/cm}$)	Ph	T ($^{\circ}\text{C}$)	NO ₃ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)
1	310	6.27	14.7	6	2.2
2	871	5.9	15.8	<3	7.4
3	323	6.51	15.8	9	3.6
4	292	6.3	15.8	5	1.6
5	345	6.97	16.8	5	3.8
6	659	7.04	16.2	9	3.2
7	369	7.15	18.4	7	3.6
8	283	7.34	16.9	13	3.9
9	386	6.92	16.8	64	2.5
10	812	6.54	16.8	12	3.7
11	1530	5.6	17.9	11	2.3
12	441	7.22	16.9	57	8.2
13	272	6.81	15.5	22	5.1
14	353	6.94	17	34	7.9
15	678	7.5	19.6	24	6.9
16	982	6.75	15.7	<3	11

Εικόνα 11. Στατιστική ανάλυση φυσικοχημικών παραμέτρων του υπογείου νερού της περιοχής μελέτης. Με κόκκινο υπερβαίνουν τις επιτρεπτές τιμές.

Παράμετροι	Μονάδες	Min	Max	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση
EC	$\mu\text{S/cm}$	272 $\mu\text{S/cm}$	1530	556,63	348,61
pH	-	5,6	7,5	6,74	0,52
T	$^{\circ}\text{C}$	14,7 $^{\circ}\text{C}$	19,6	16,66	1,21
NO ₃ ⁻	mg/L	3 mg/L	64	17,75	18,74
PO ₄ ³⁻	mg/L	1,6 mg/L	11	4,81	2,68

Εικόνα 12. Φυσικοχημικές παράμετροι του υπογείου νερού της περιοχής μελέτης.

Οι τιμές του pH κυμαίνονται από όξινες (5,6) έως ελαφρώς αλκαλικές (7,5) ενώ η μέση τιμή είναι ελαφρώς όξινη (6,74).

Ακόμα, η ανάλυση των νιτρικών ιόντων δείχνει μέγιστη τιμή άνω της αποδεκτής των 50 mg/L στις γεωτρήσεις 9 και 12 όπως ορίζεται από το ΦΕΚ892/11/07/2001 (64mg/L και 57 mg/L αντίστοιχα) ενώ ο μέσος όρος της περιεκτικότητας των νιτρικών ιόντων είναι εντός των αποδεικτών ορίων ($17,75\text{mg/L} < 50\text{mg/L}$). Από την οπτικοποίηση των συγκεντρώσεων, η οποία παρουσιάζεται στους παρακάτω χάρτες, παρατηρείται μεγαλύτερη συγκέντρωση προς τη νοτιοδυτική πλευρά του χάρτη.

Όμοια, για τις τιμές των φωσφορικών ιόντων οι μέγιστες συγκεντρώσεις είναι εκτός της επιτρεπτής τιμής 5 mg/L (Βουδούρης 2009) σε επτά γεωτρήσεις όπως φαίνεται στον Πίνακα 5 ($11\text{mg/L} > 5\text{mg/L}$) ενώ ο μέσος όρος της περιεκτικότητας φωσφορικών ιόντων είναι οριακά εντός των επιτρεπτών ορίων ($4,81\text{mg/L} < 5\text{mg/L}$). Από την οπτικοποίηση των συγκεντρώσεων, η οποία παρουσιάζεται στους παρακάτω χάρτες, παρατηρείται μεγαλύτερη συγκέντρωση προς τη νοτιοανατολική πλευρά του χάρτη.

Οι αυξημένες τιμές των φωσφορικών και νιτρικών ιόντων όπου παρατηρούνται μπορούν να αποδοθούν στην έντονη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων ενώ τα νιτρικά ιόντα θα μπορούσαν να οφείλονται σε λιπάσματα και στις έντονες κτηνοτροφικές δραστηριότητες που λαμβάνουν τόπο στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 13. Φασματοφωτόμετρο κατά την διάρκεια μέτρησης.



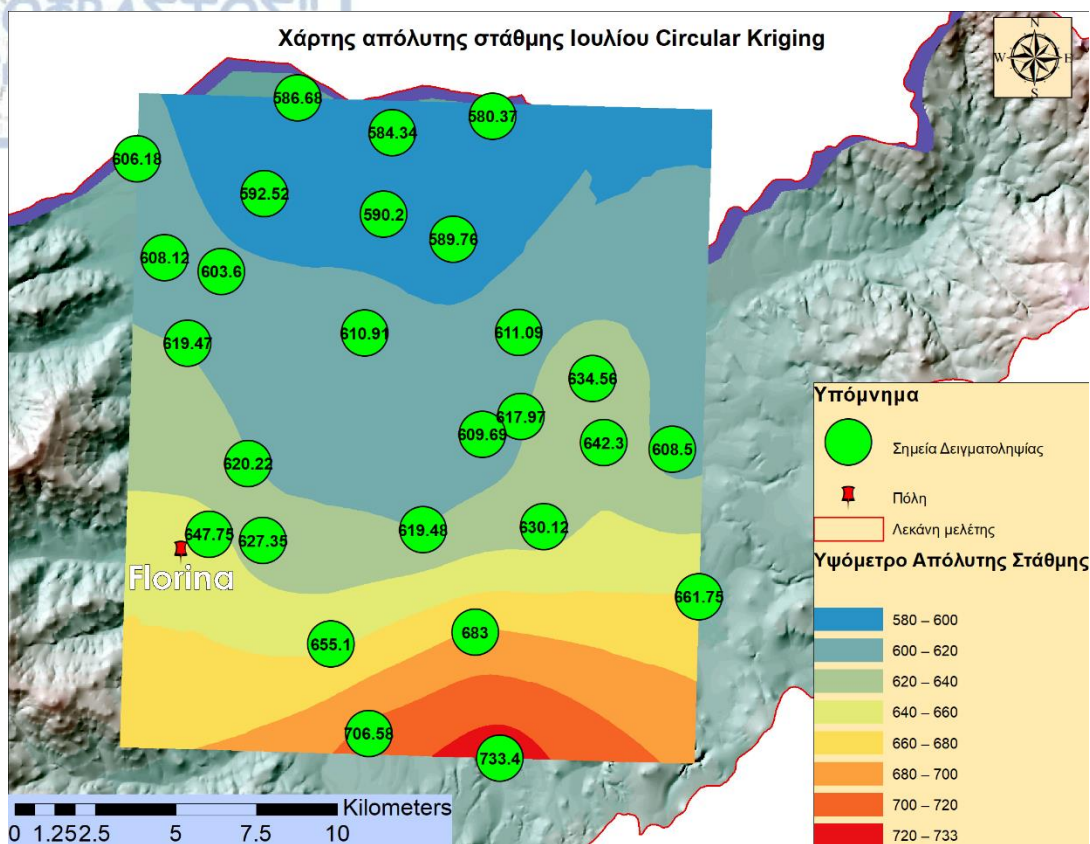
Εικόνα 14. Πεχάμετρο, θερμόμετρο και μετρητής αγωγιμότητας.

3.4. Χωρική κατανομή στάθμης υπόγειου νερού, νιτρικών και φωσφορικών ιόντων με τη μέθοδο του Ordinary Kriging

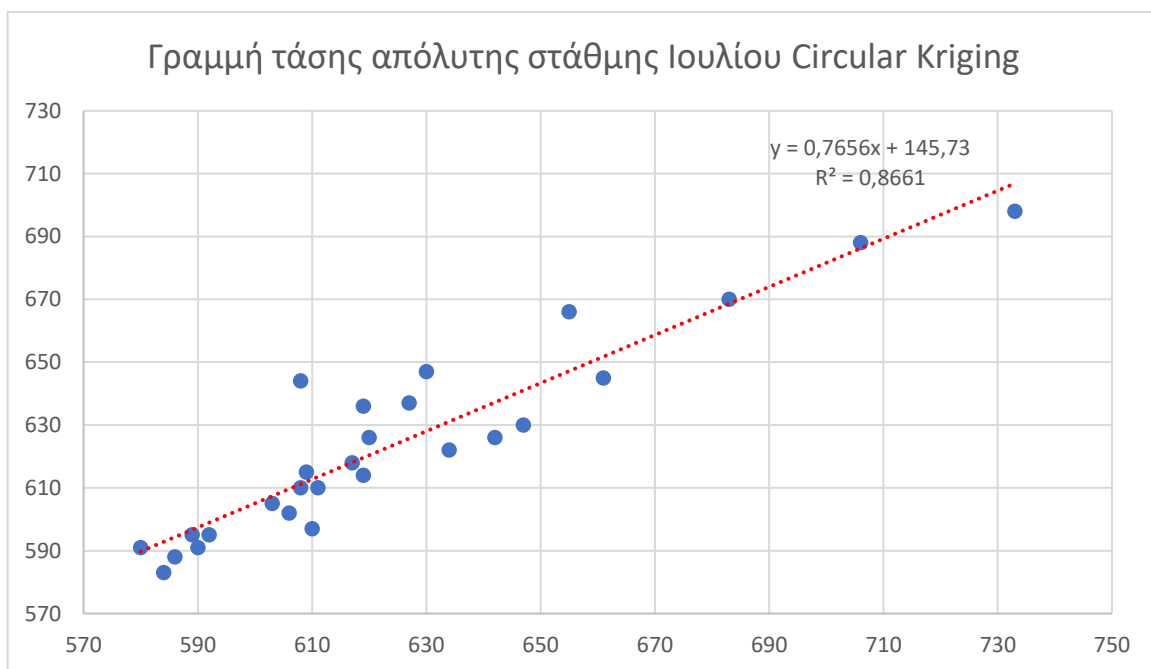
Για την καλύτερη μελέτη της περιοχής και για την ευκολότερη κατανόηση είναι πολύ σημαντική η οπτικοποίηση των δεδομένων. Η οπτικοποίηση των δεδομένων γίνεται με την χρήση γεωστατιστικών μεθόδων που επιπλέον αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για την πρόβλεψη τιμών των χαρακτηριστικών του νερού σε περιοχές στις οποίες δεν είναι εφικτό να γίνει δειγματοληψία (Kumar 2007).

Αυτές οι μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για υπολογισμό παραμέτρων όπως η αγωγιμότητα, η παρουσία ρυπαντών, οι συγκεντρώσεις χημικών στοιχείων, η απόλυτη στάθμη νερού και άλλες (Varouchakis et al 2012, Khanduzi et al 2015). Η κυριότερη μέθοδος που χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία είναι η Ordinary Kriging και συνηθέστερα τα ημι-βαριόγραμμα Circular, Spherical, Exponential και Gaussian (Nas B. 2009, Khanduzi F. et al 2015). Προκειμένου να επιλεγεί αυτό που δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα, χρησιμοποιούνται ως κριτήριο στην παρούσα εργασία οι τιμές του σφάλματος μέσης τετραγωνικής ρίζας (Root Mean Square Error) και οι τιμές του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (Correlation Coefficient R^2) μεταξύ παρατηρούμενων και υπολογισμένων τιμών. Προκειμένου να εφαρμοστεί η μέθοδος του Ordinary Kriging στην περιοχή έρευνας της εργασίας, έγινε χρήση προγραμμάτων GIS. Κατασκευάστηκε για κάθε ημι-βαριόγραμμα ένας χάρτης είτε απολύτου υψομέτρου στάθμης υπογείου νερού για κάθε περίοδο είτε χάρτης συγκέντρωσης των νιτρικών και φωσφορικών ιόντων στο νερό.

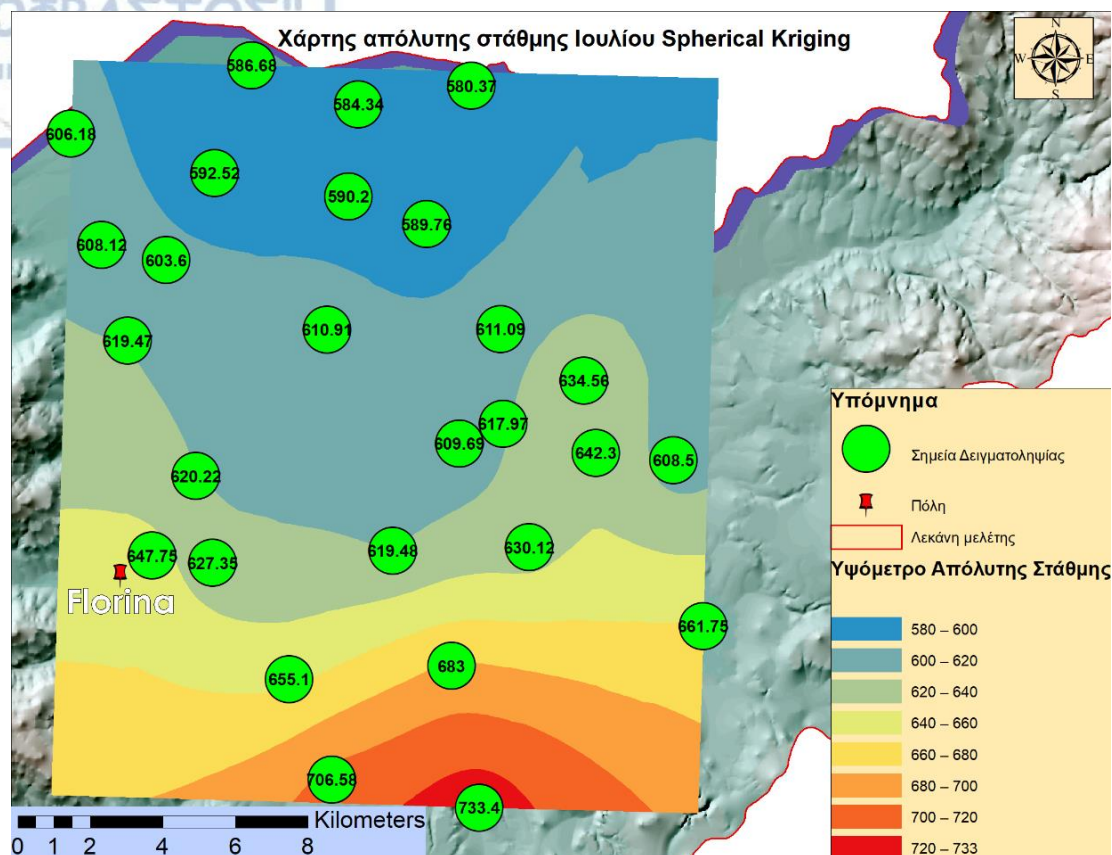
Αξίζει να σημειωθεί ότι, λόγω του μικρού αριθμού δειγμάτων, δεν έγινε έλεγχος της ανισοτροπίας και της κανονικότητας της κατανομής. Ακόμα, κατά την εφαρμογή της μεθόδου χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές των παραμέτρων όπως προκύπτουν από το λογισμικό (lag size, lag number κλπ.)



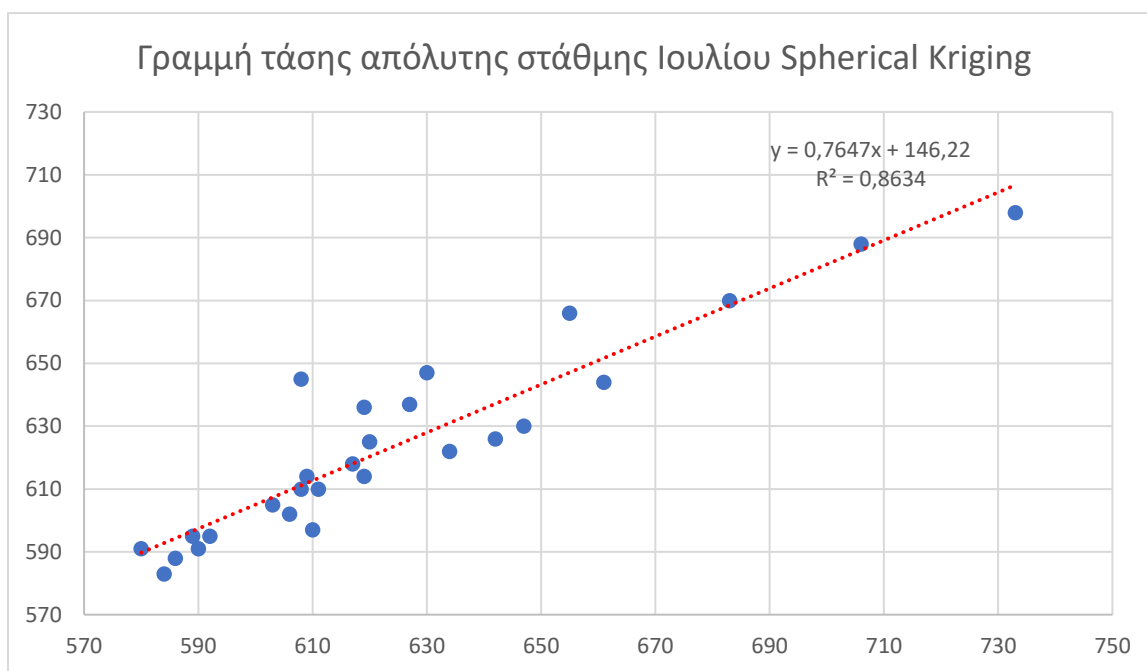
Εικόνα 15. Χάρτης απόλυτης στάθμης με ημι-βαριόγραμμα Circular Kriging.



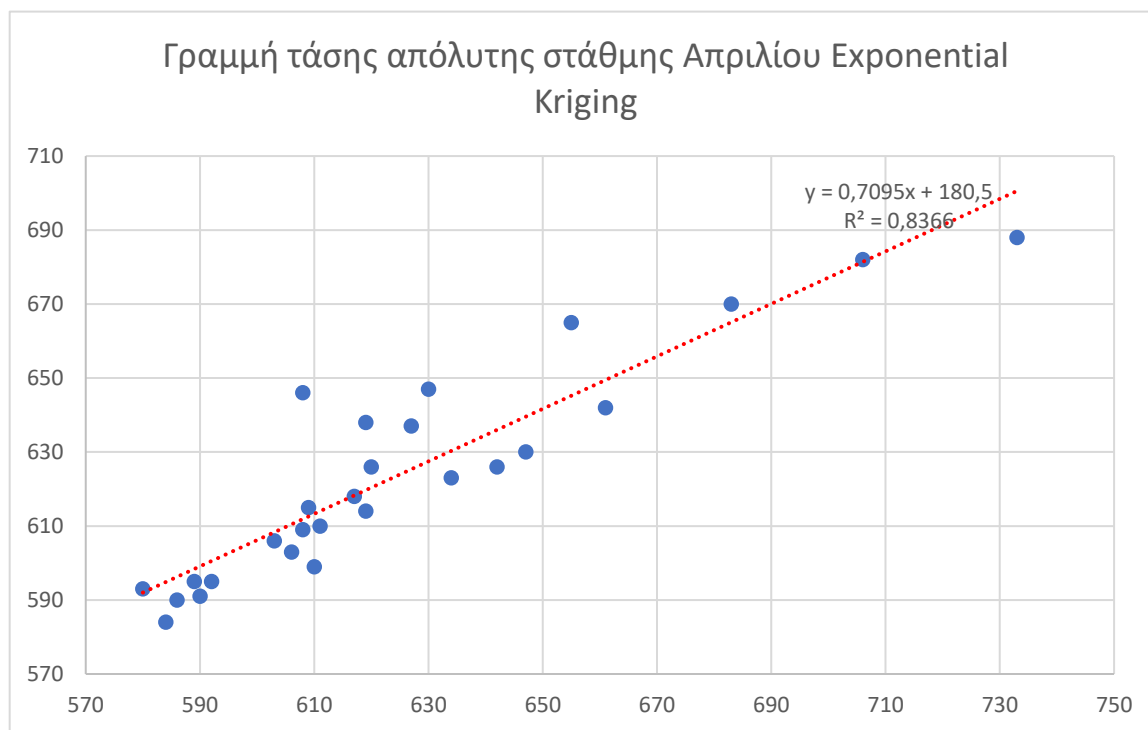
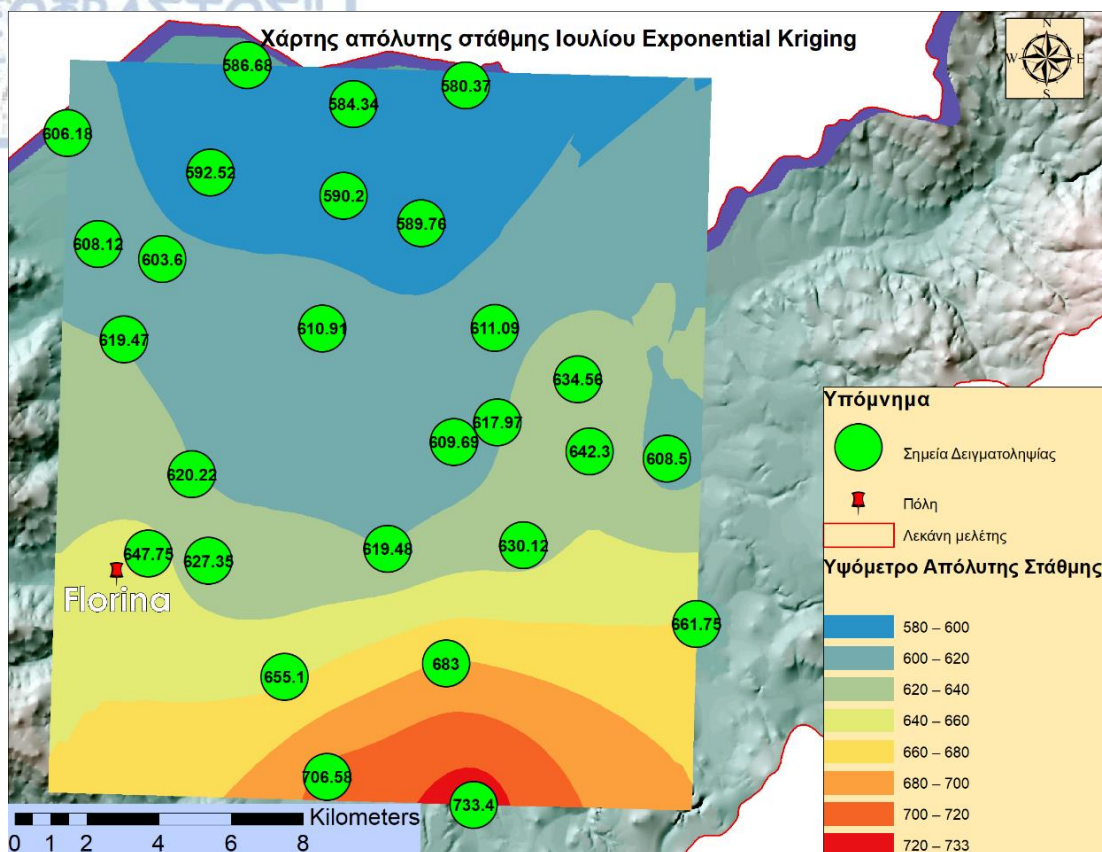
Εικόνα 16. Γραμμή τάσης απόλυτης στάθμης με ημι-βαριόγραμμα Circular Kriging.



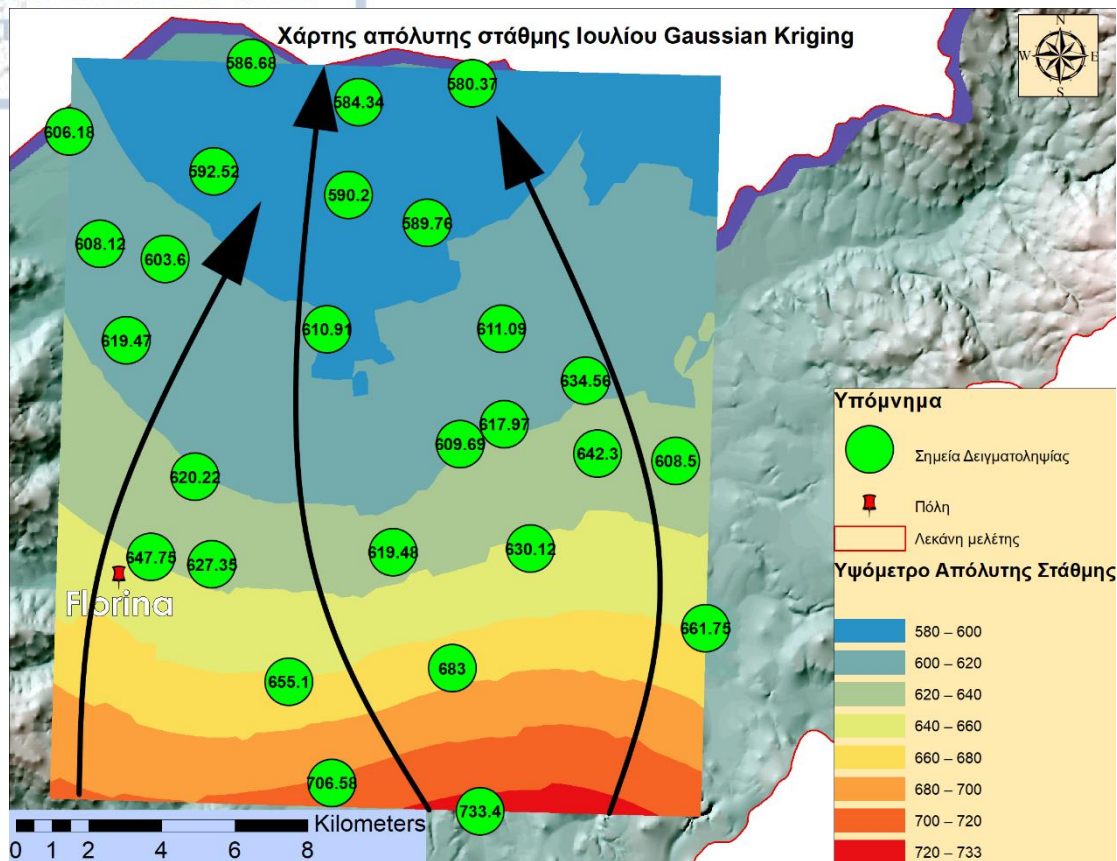
Εικόνα 17. Χάρτης απόλυτης στάθμης με ημι-βαριόγραμμα Spherical Kriging.



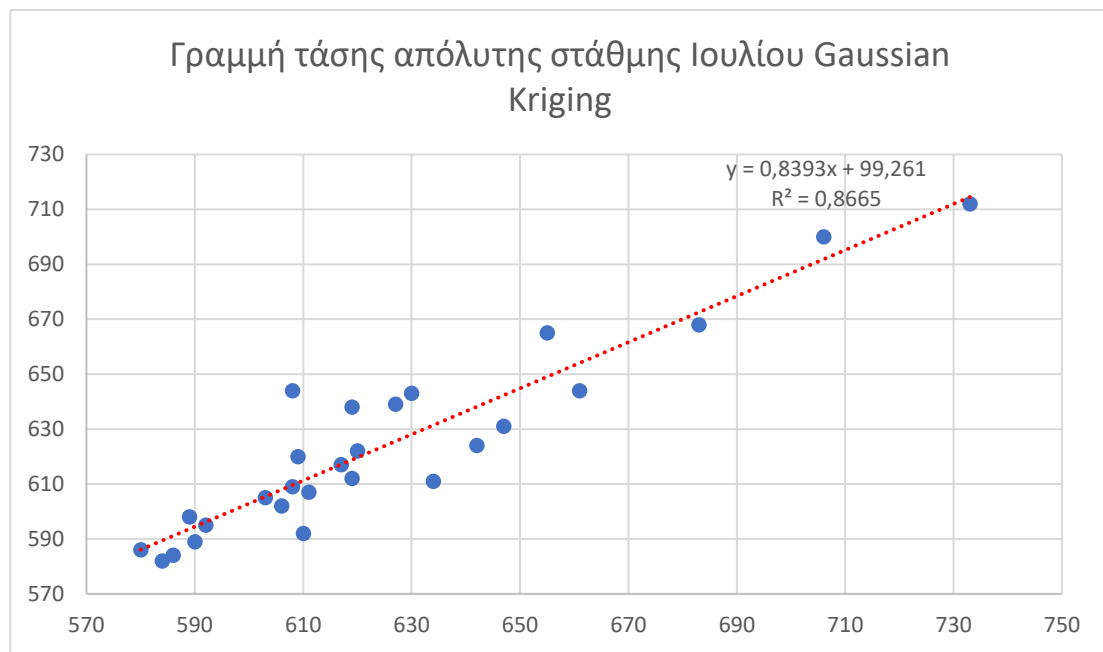
Εικόνα 18. Γραμμή τάσης απόλυτης στάθμης με ημι-βαριόγραμμα Spherical Kriging.



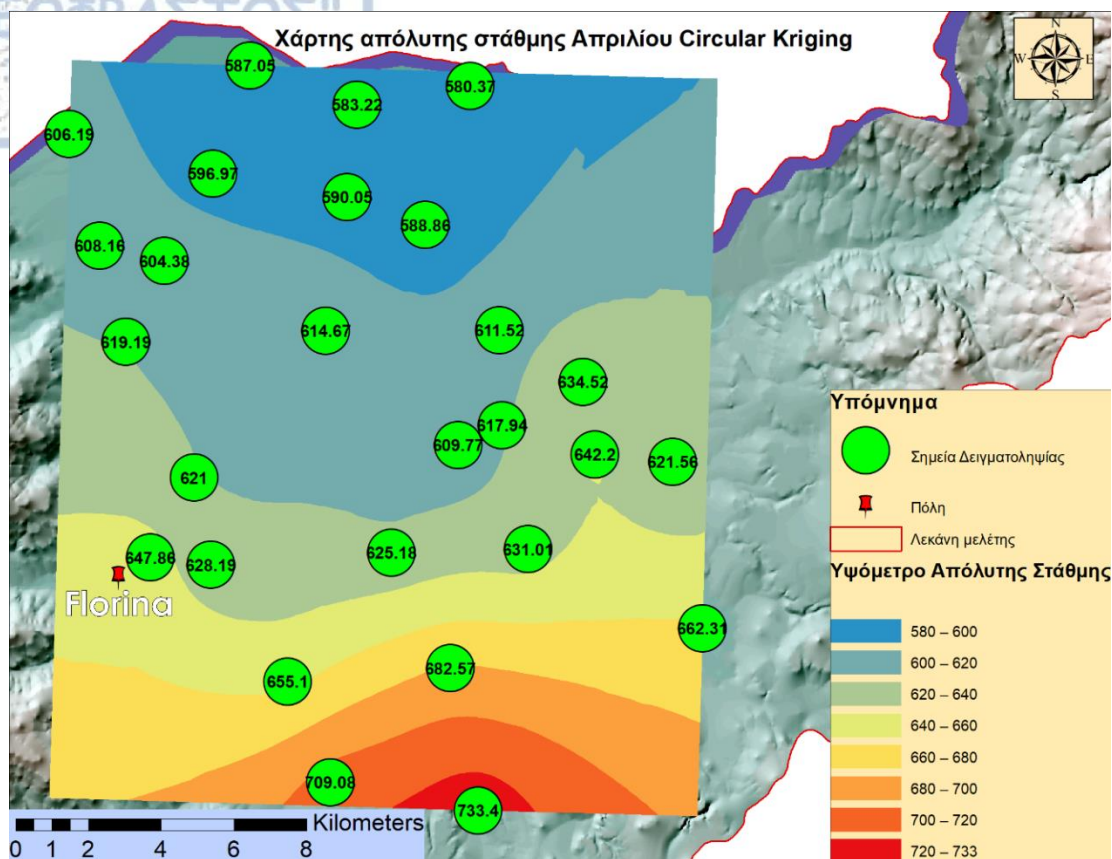
Εικόνα 22. Γραμμή τάσης απόλυτης στάθμης με ημι-βαριόγραμμα Exponential Kriging.



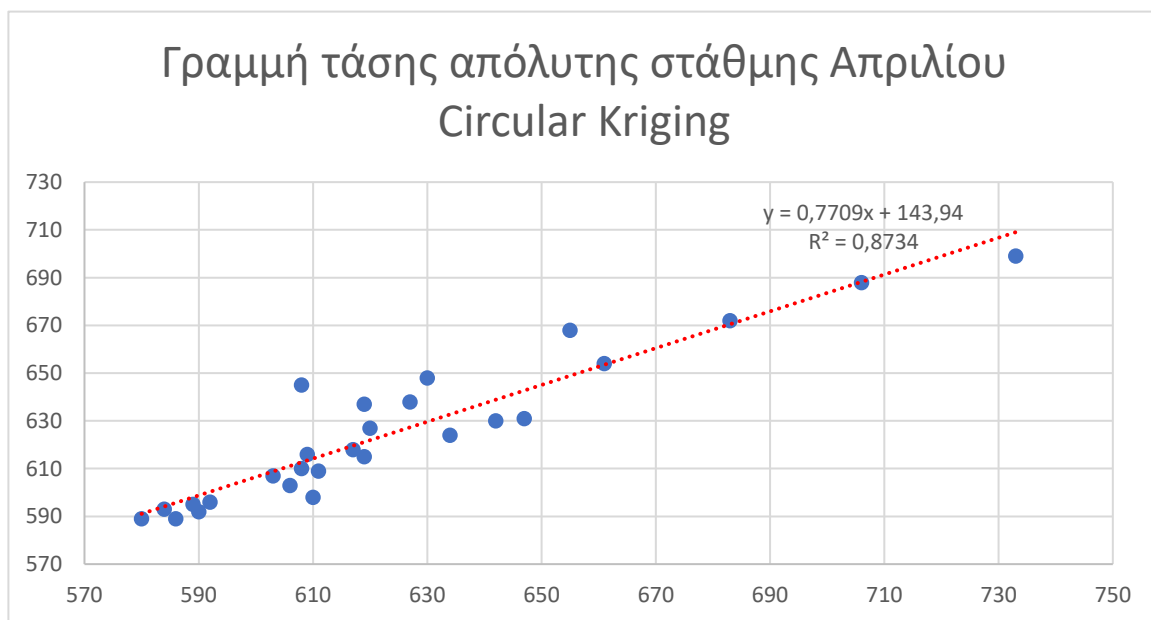
Εικόνα 21. Χάρτης απόλυτης στάθμης με ημι-βαριόγραμμα Gaussian Kriging. Τα βελάνια δείχνουν την κατεύθυνση ροής του υπογείου νερού.



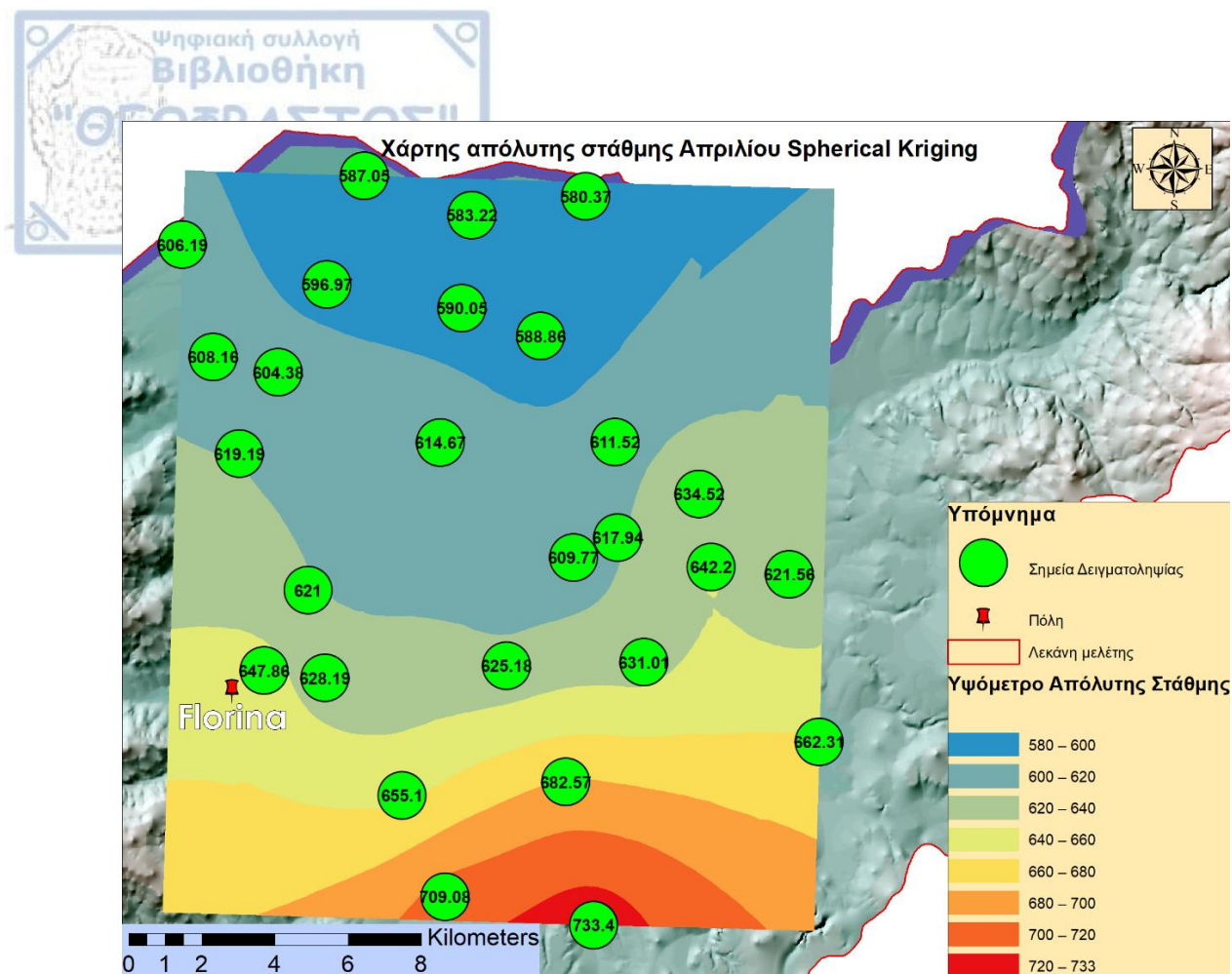
Εικόνα 22. Γραμμή τάσης απόλυτης στάθμης με ημι-βαριόγραμμα Gaussian Kriging.



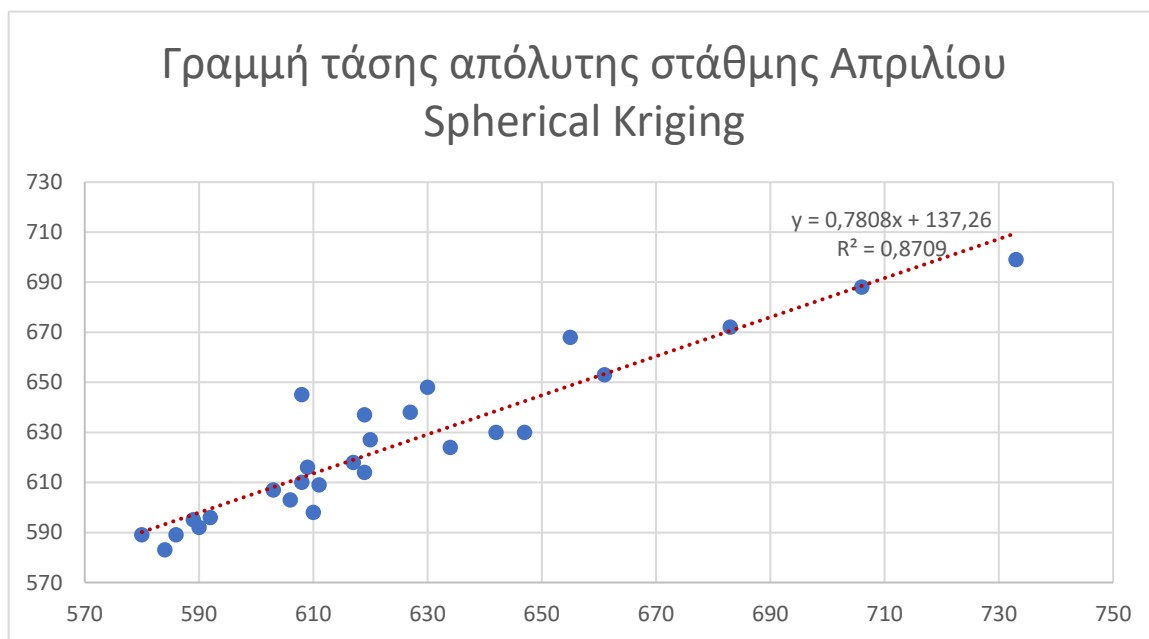
Εικόνα 23. Χάρτης απόλυτης στάθμης με ημι-βαριόγραμμα Circular Kriging.



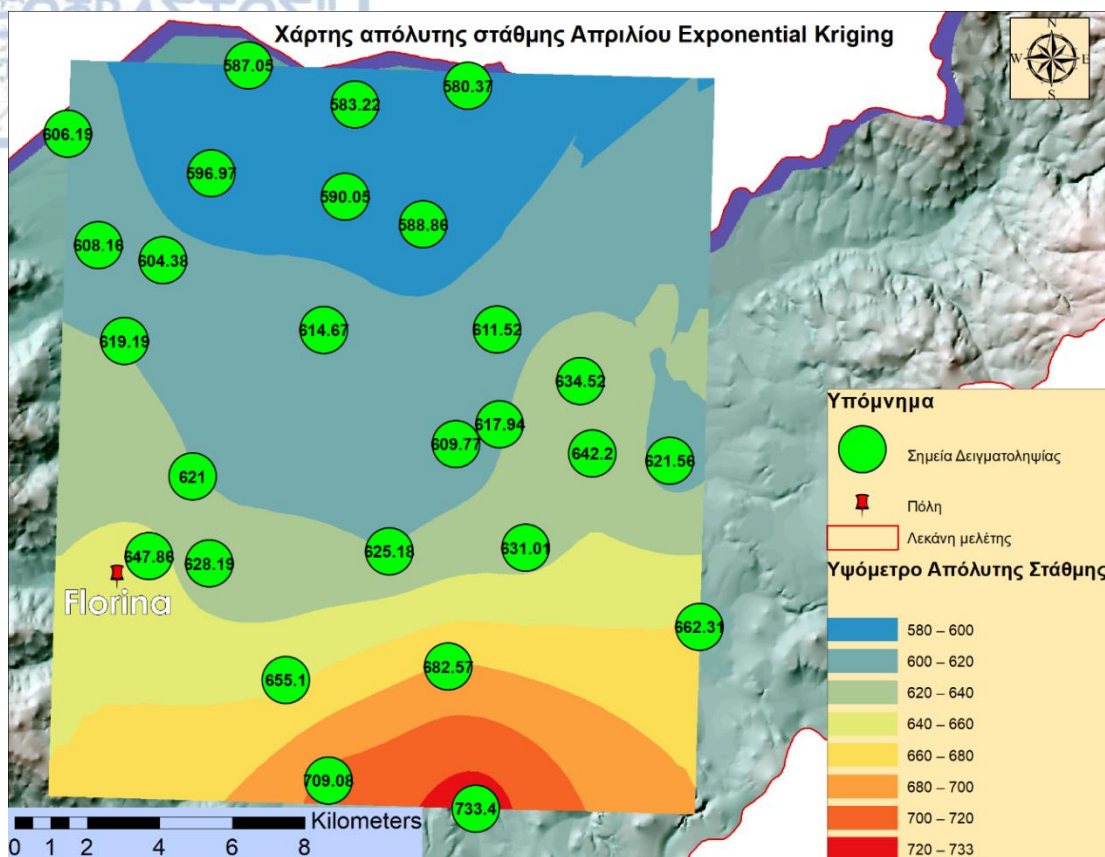
Εικόνα 24. Γραμμή τάσης απόλυτης στάθμης με ημι-βαριόγραμμα Circular Kriging.



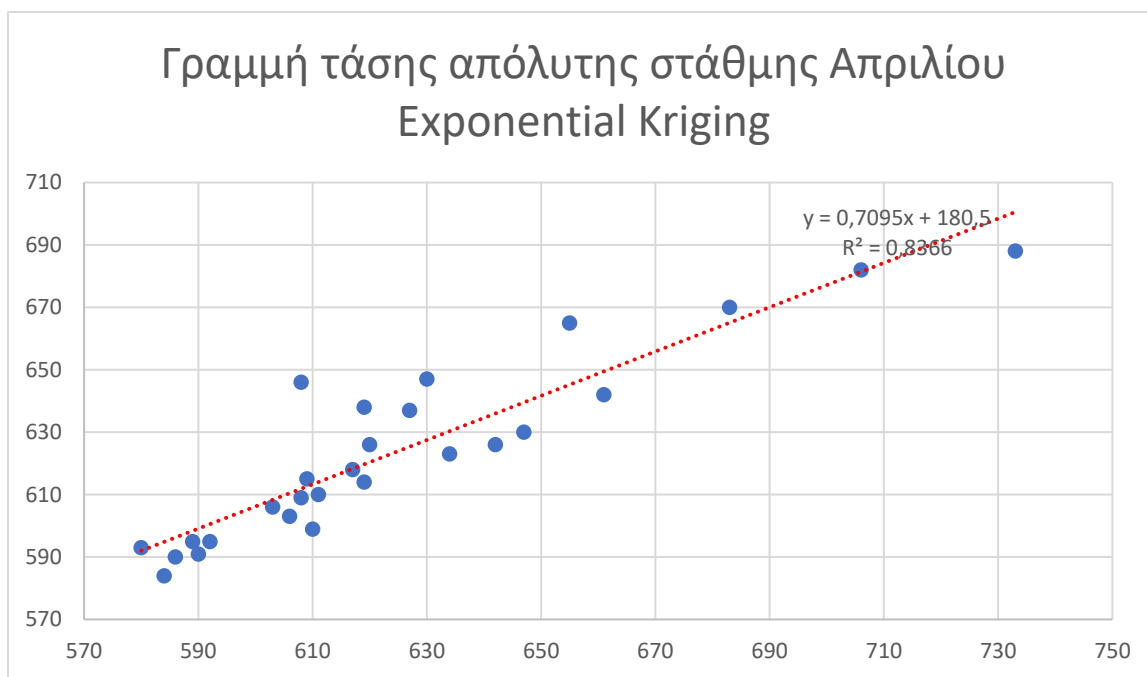
Εικόνα 25. Χάρτης απόλυτης στάθμης με ημι-βαριόγραμμα Spherical Kriging.



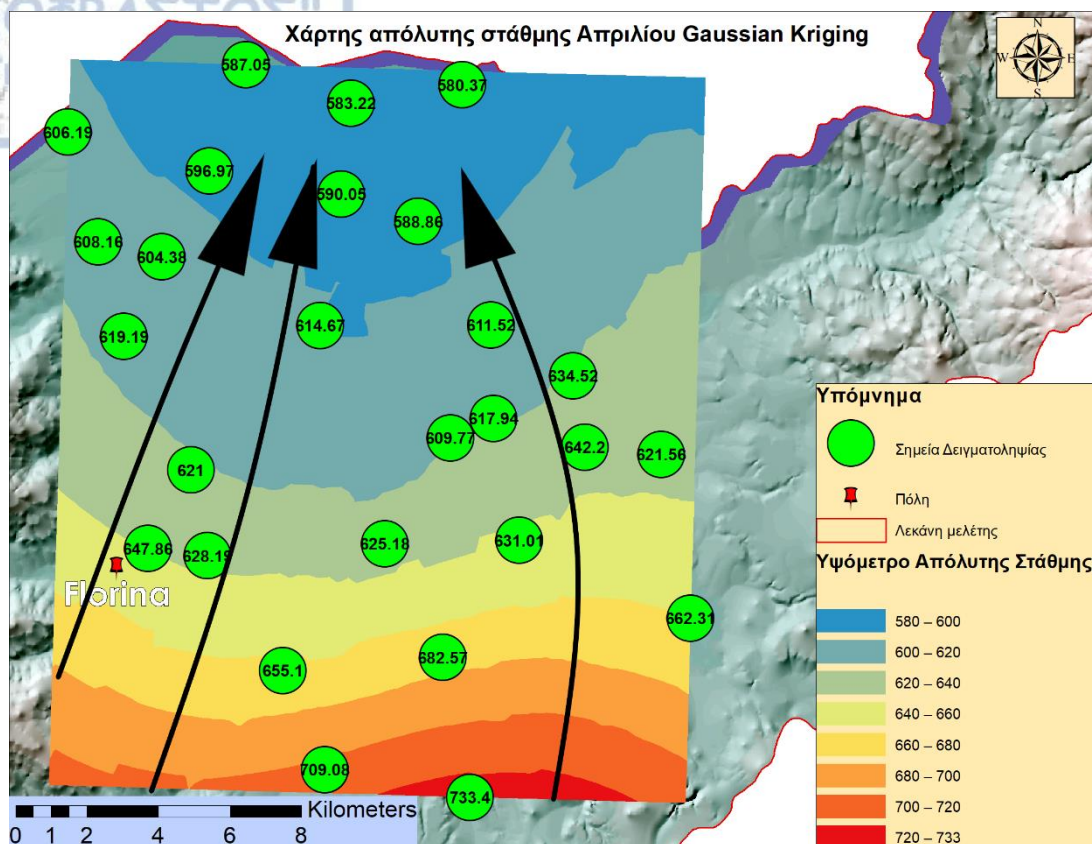
Εικόνα 26, Γραμμή τάσης απόλυτης στάθμης με ημι-βαριόγραμμα Spherical Kriging.



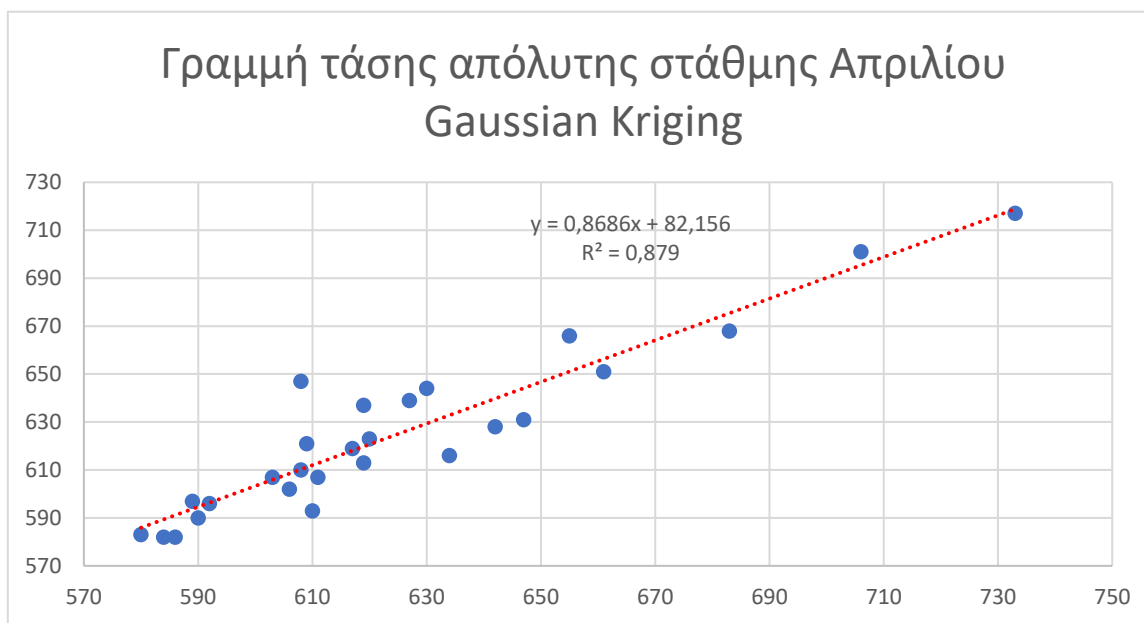
Εικόνα 27. Χάρτης απόλυτης στάθμης με ημι-βαριόγραμμα Exponential Kriging.



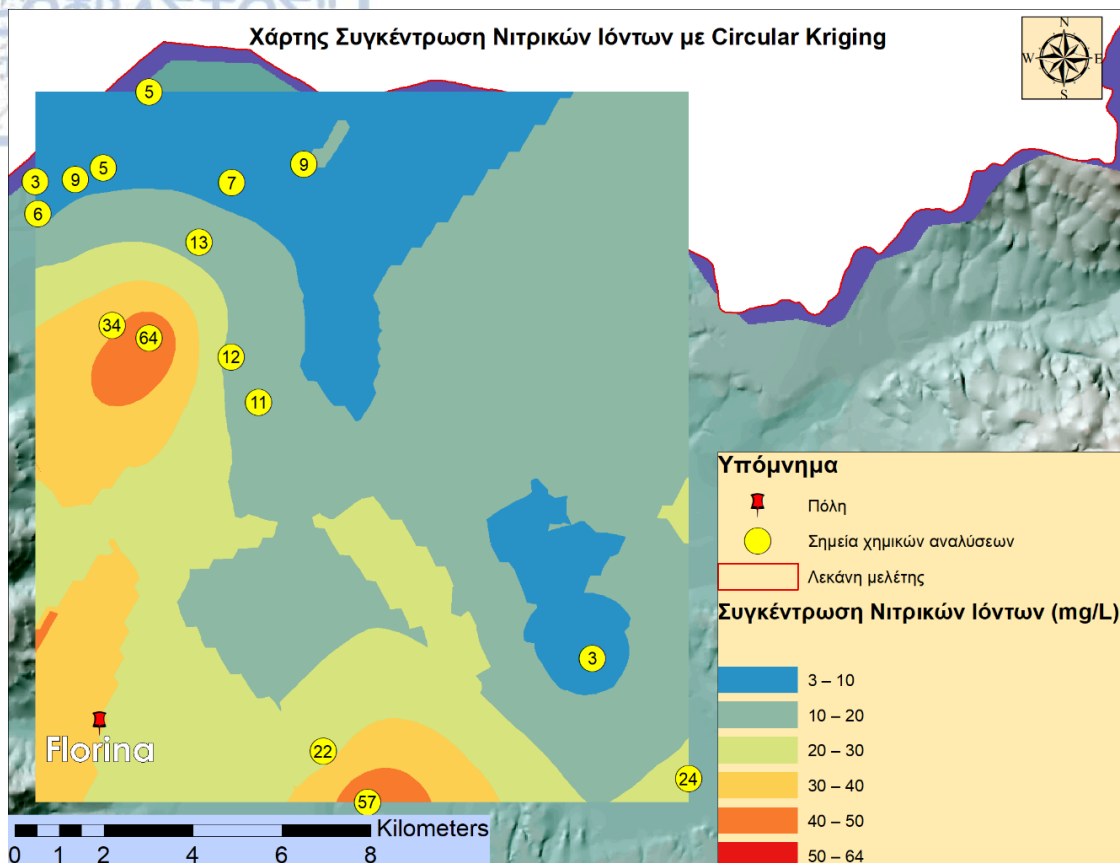
Εικόνα 28. Γραμμή τάσης απόλυτης στάθμης με ημι-βαριόγραμμα Exponential Kriging.



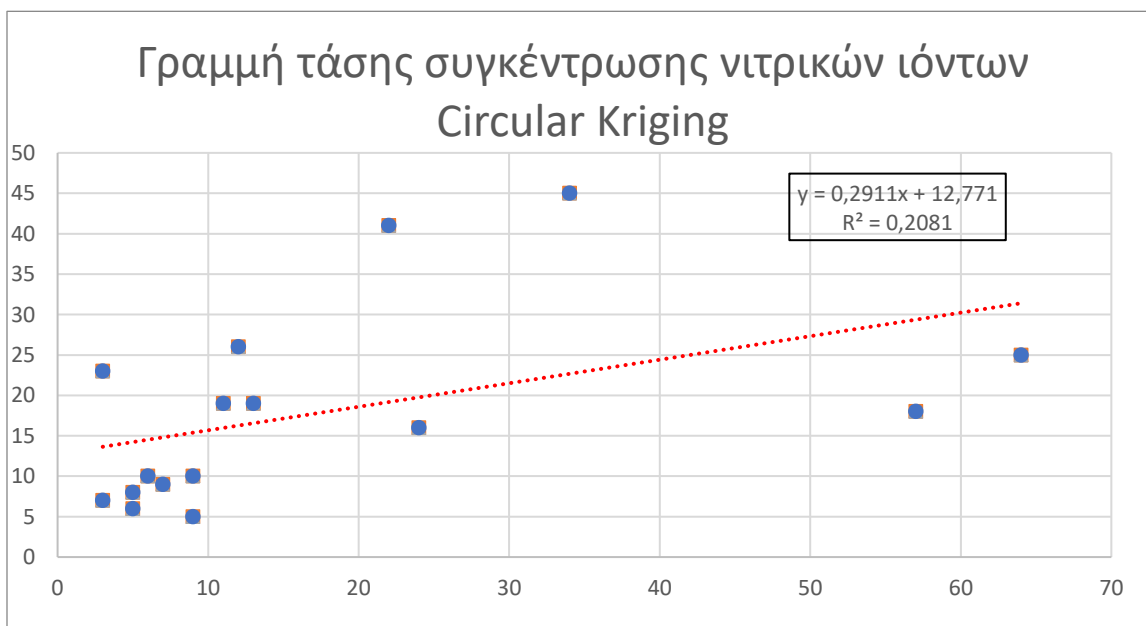
Εικόνα 29. Χάρτης απόλυτης στάθμης με ημι-βαριόγραμμα Gaussian Kriging. Τα βελάκια δείχνουν την κατεύθυνση ροής του υπογείου νερού.



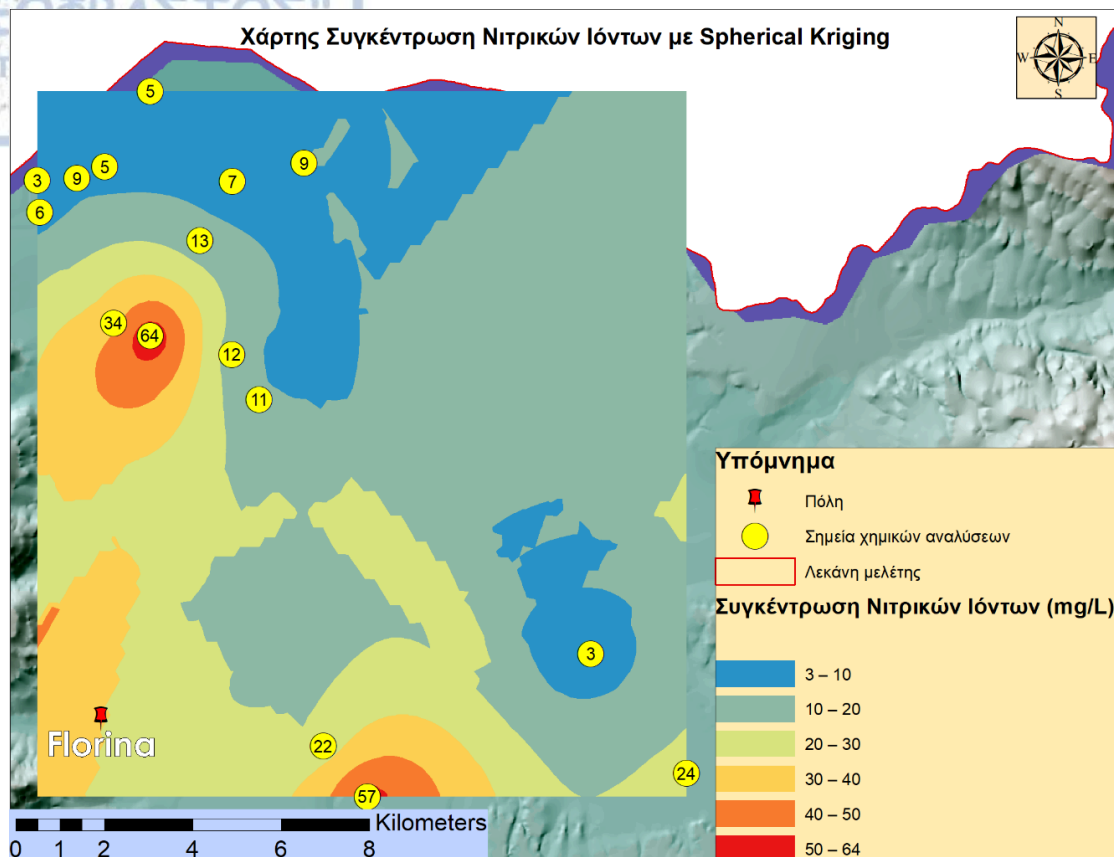
Εικόνα 30. Γραμμή τάσης απόλυτης στάθμης με ημι-βαριόγραμμα Gaussian Kriging.



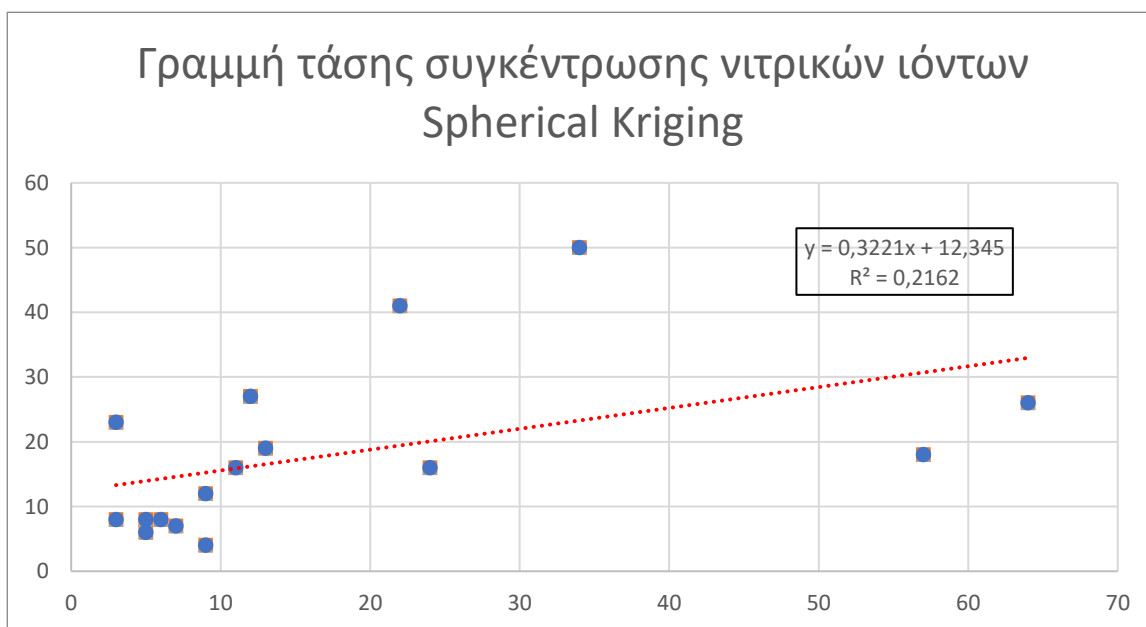
Εικόνα 31. Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων με ημι-βαριόγραμμα Circular Kriging.



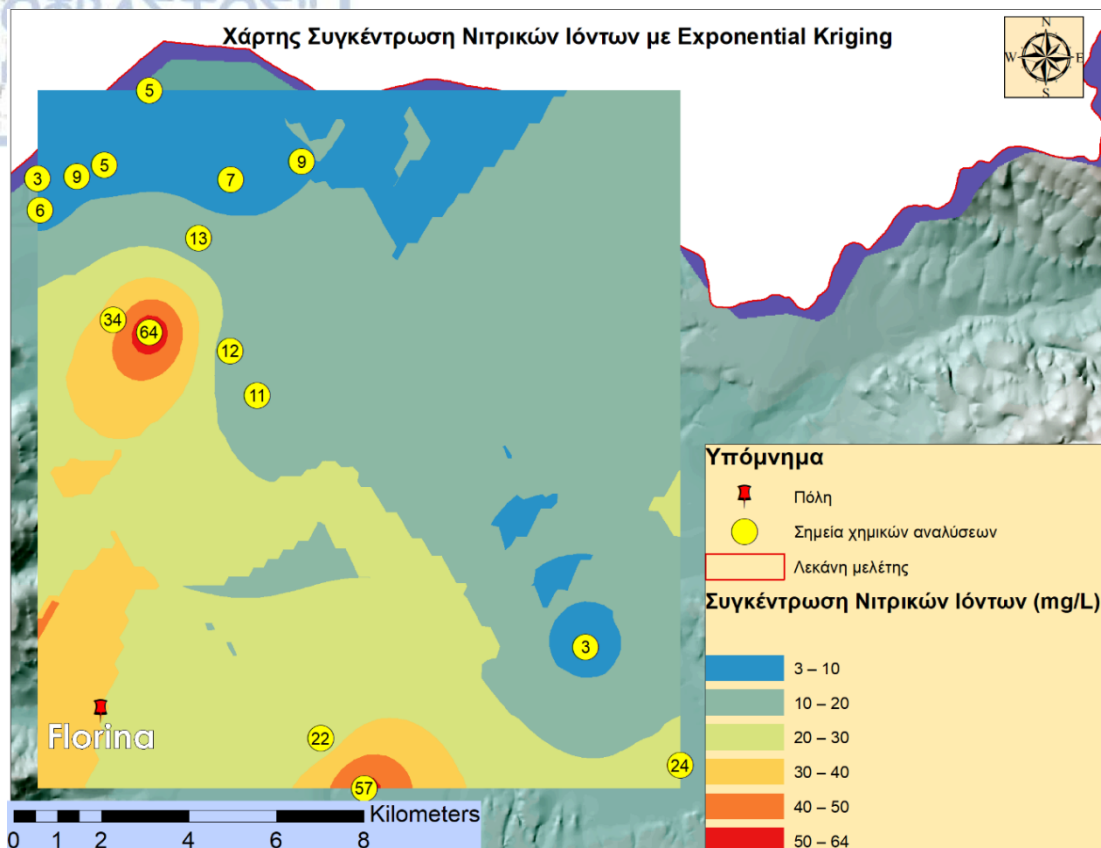
Εικόνα 32. Γραμμή τάσης συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων με ημι-βαριόγραμμα Circular Kriging.



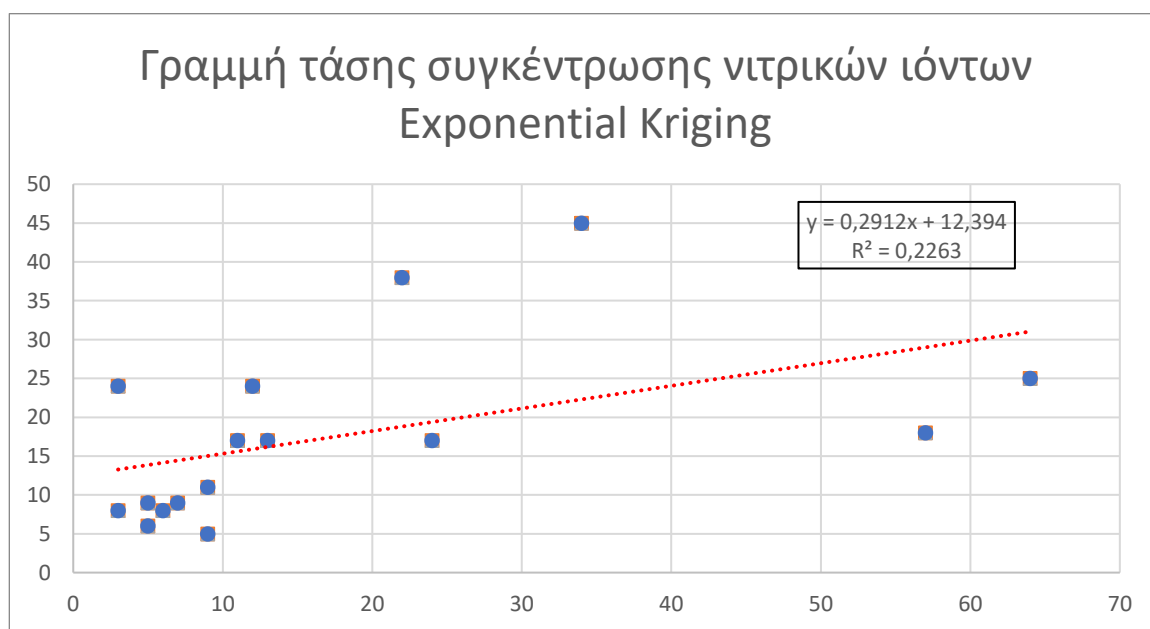
Εικόνα 33. Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων με ημι-βαριόγραμμα Spherical Kriging.



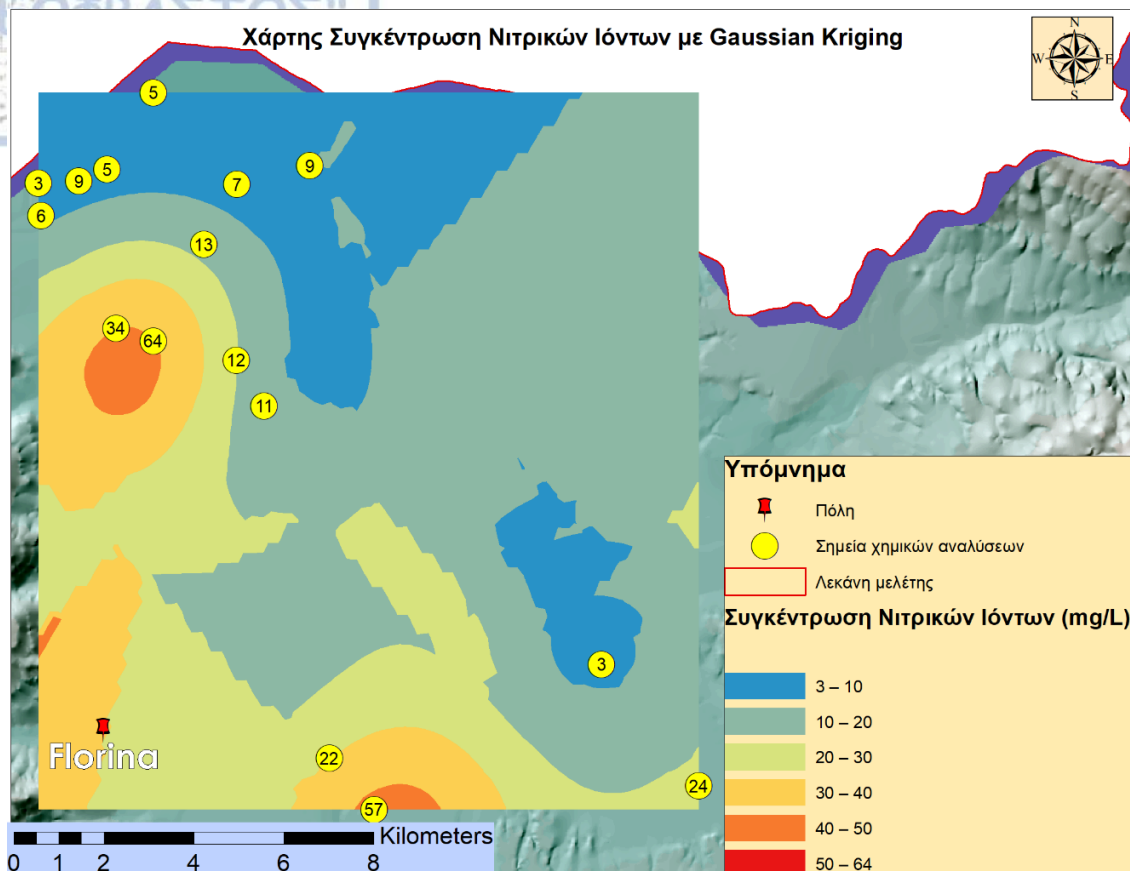
Εικόνα 34. Γραμμή τάσης συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων με ημι-βαριόγραμμα Spherical Kriging.



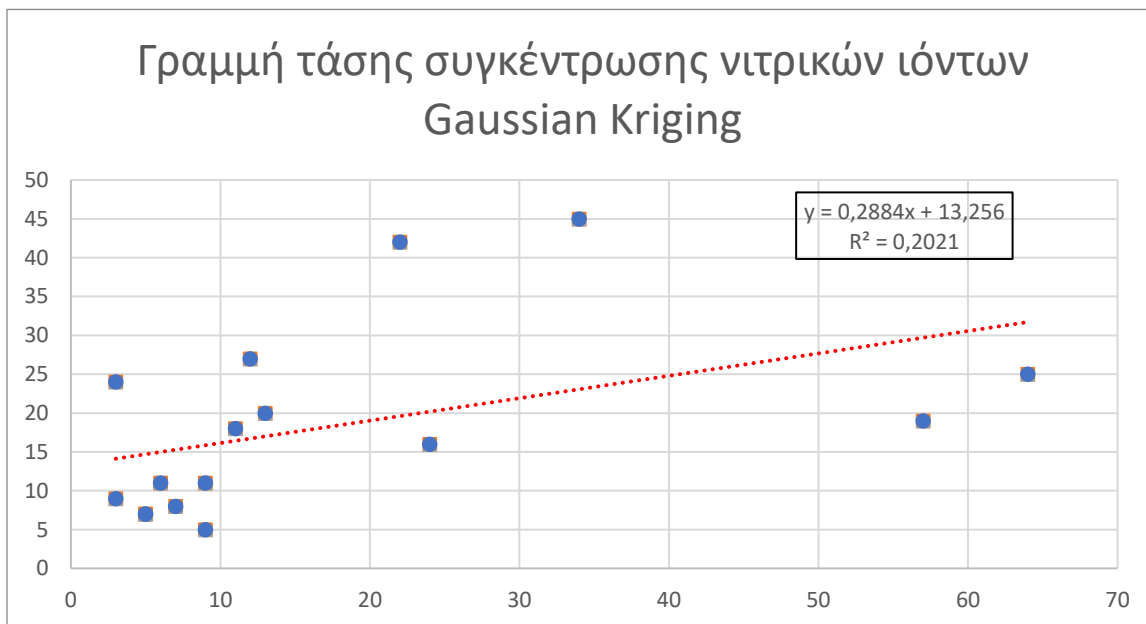
Εικόνα 35. Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων με ημι-βαριόγραμμα Exponential Kriging.



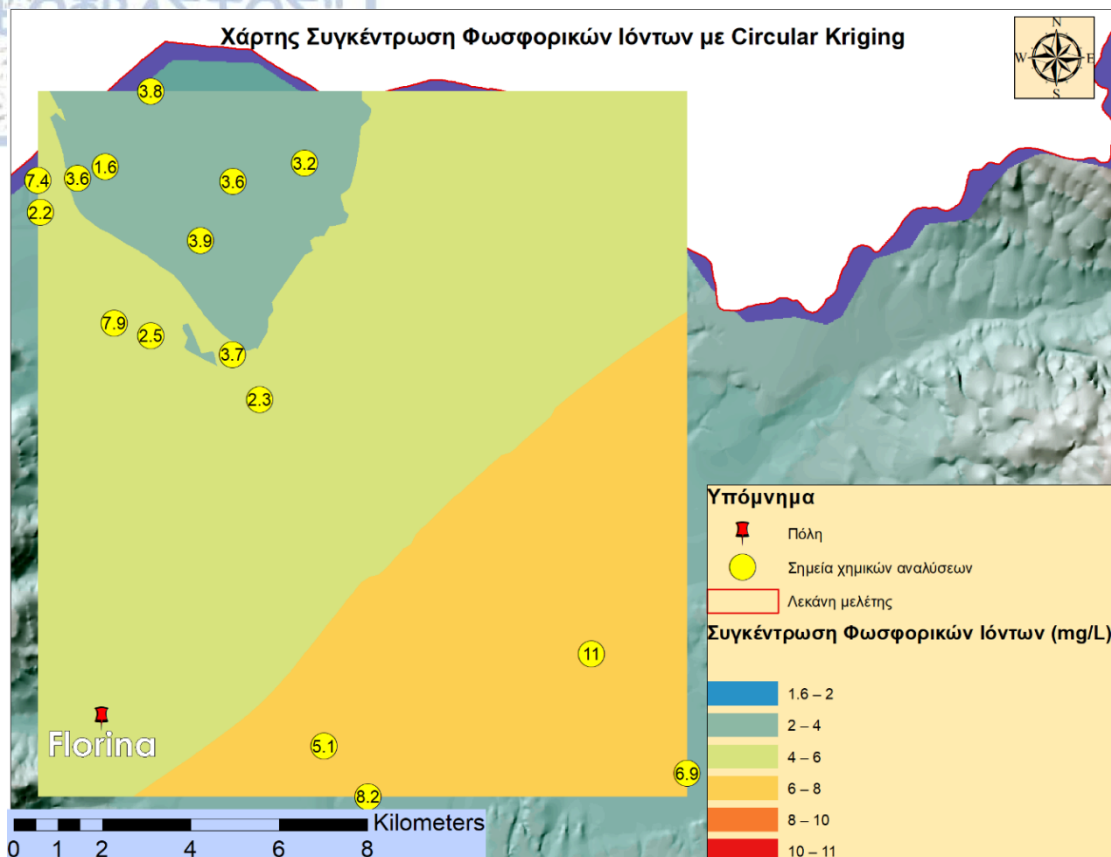
Εικόνα 36. Γραμμή τάσης συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων με ημι-βαριόγραμμα Exponential Kriging.



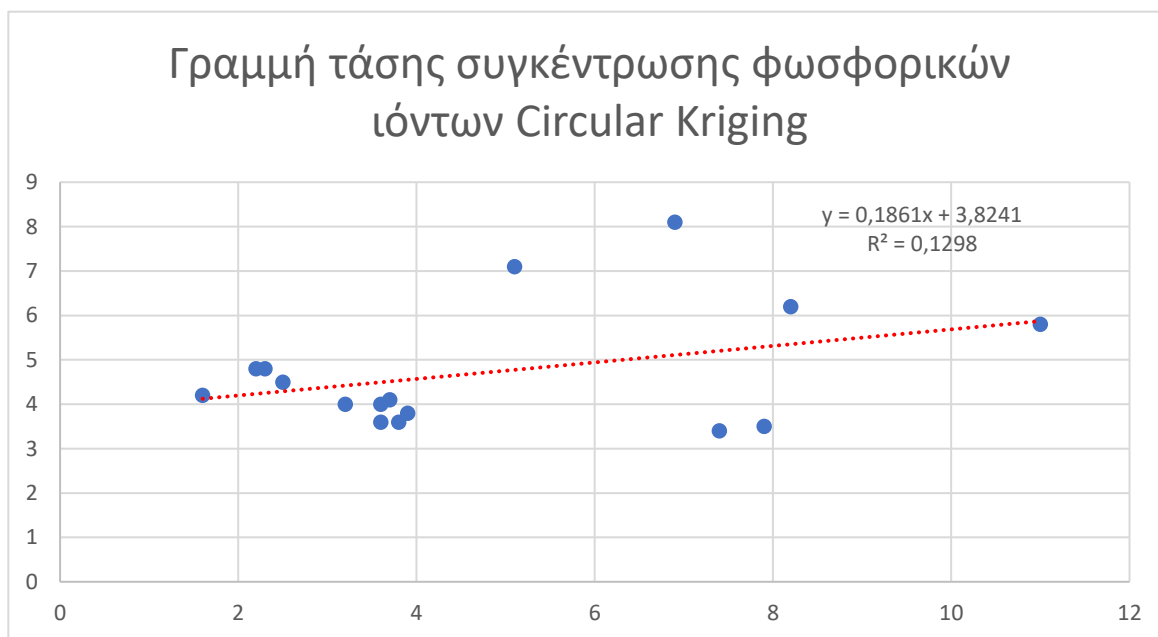
Εικόνα 37. Χάρτης συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων με ημι-βαριόγραμμα Gaussian Kriging.



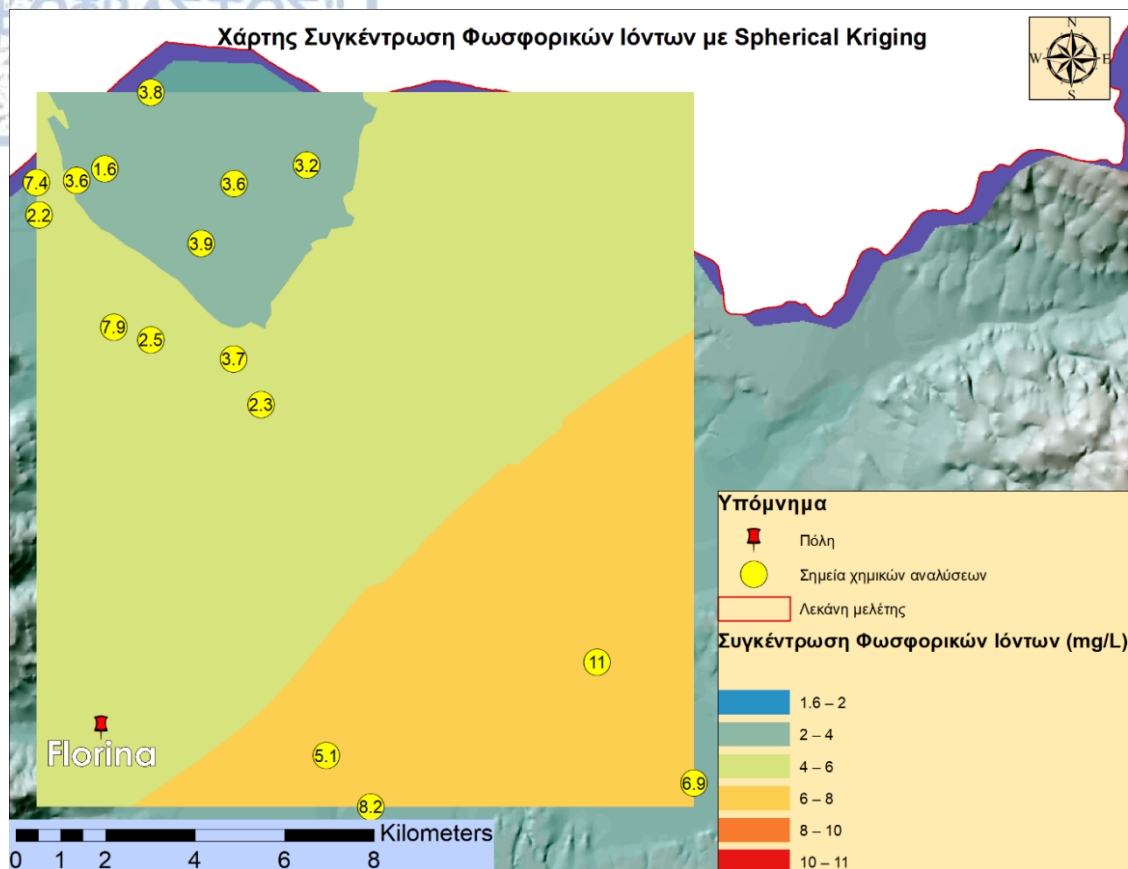
Εικόνα 38. Γραμμή τάσης συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων με ημι-βαριόγραμμα Gaussian Kriging.



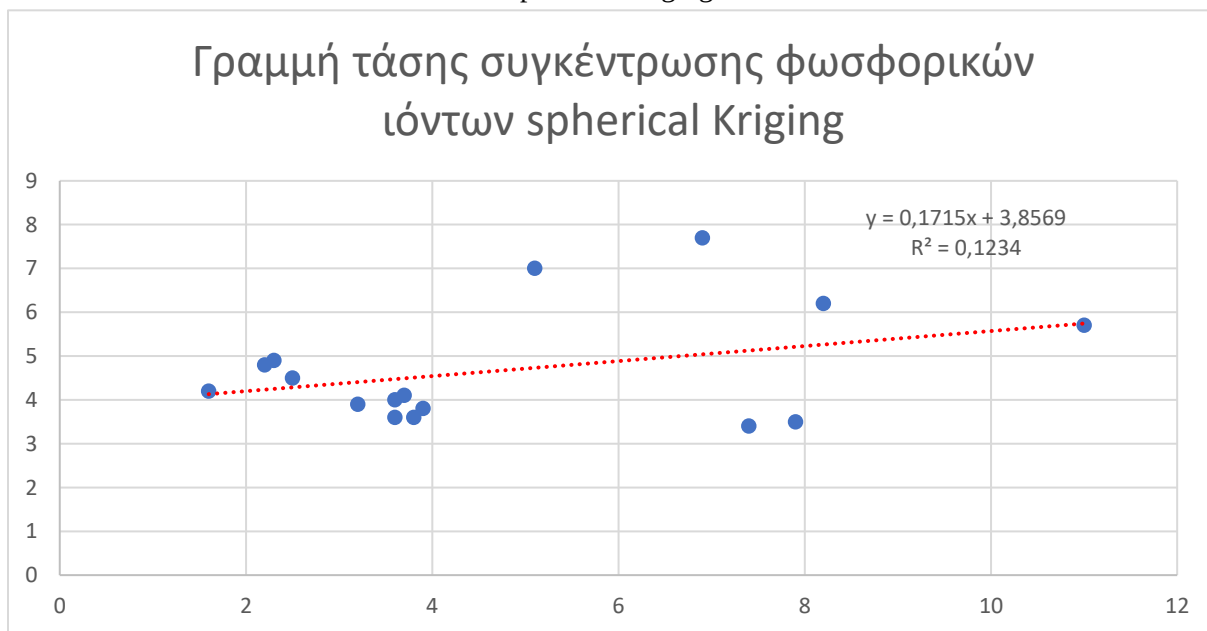
Εικόνα 39. Χάρτης συγκέντρωσης φωσφορικών ιόντων με ημι-βαριόγραμμα Circular Kriging.



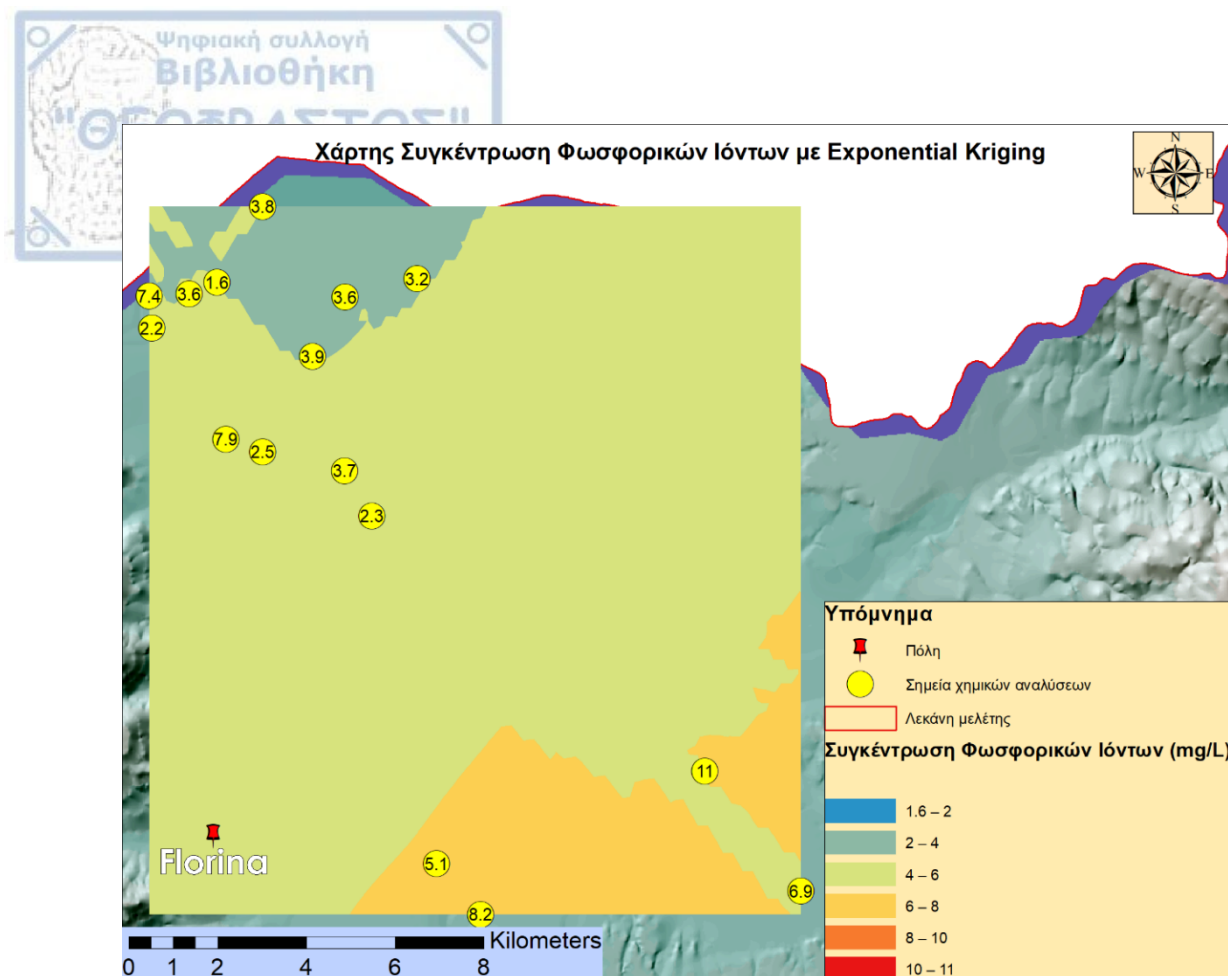
Εικόνα 40. Γραμμή τάσης συγκέντρωσης φωσφορικών ιόντων με ημι-βαριόγραμμα Circular Kriging.



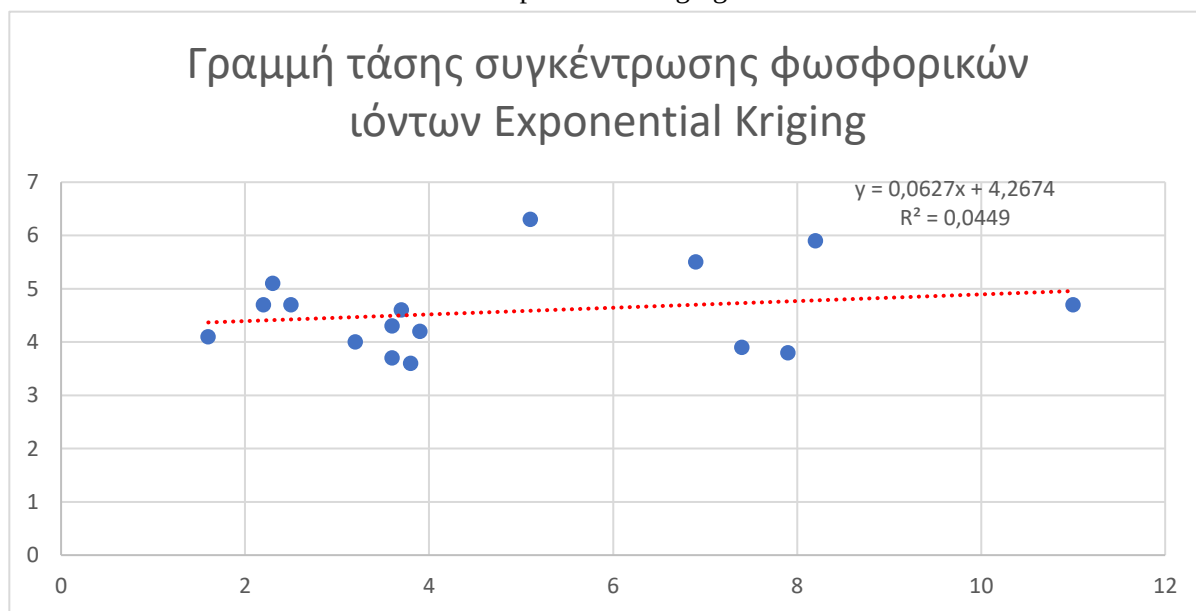
Εικόνα 41. Χάρτης συγκέντρωσης φωσφορικών ιόντων με ημι-βαριόγραμμα Spherical Kriging.



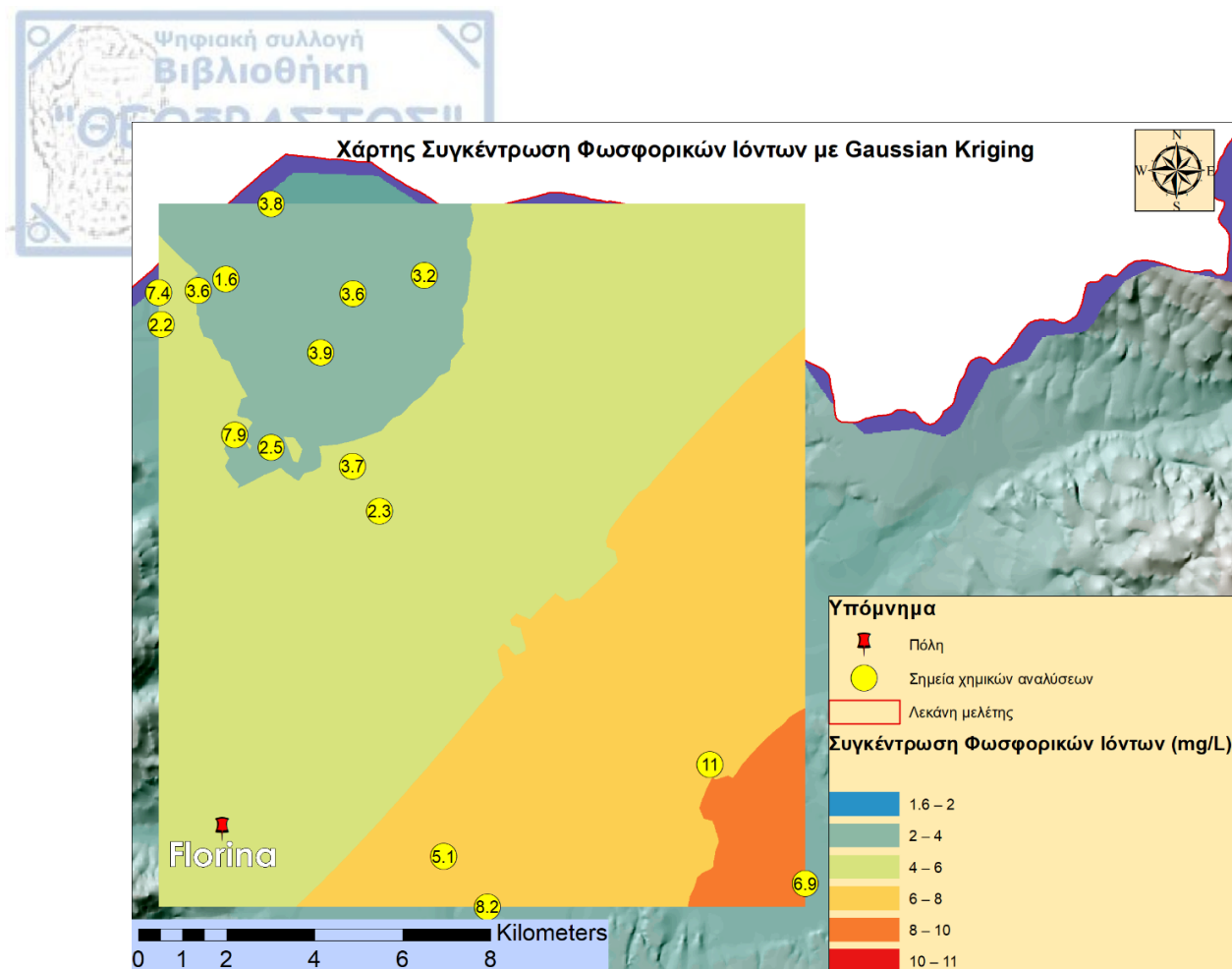
Εικόνα 42. Γραμμή τάσης συγκέντρωσης φωσφορικών ιόντων με ημι-βαριόγραμμα Spherical Kriging.



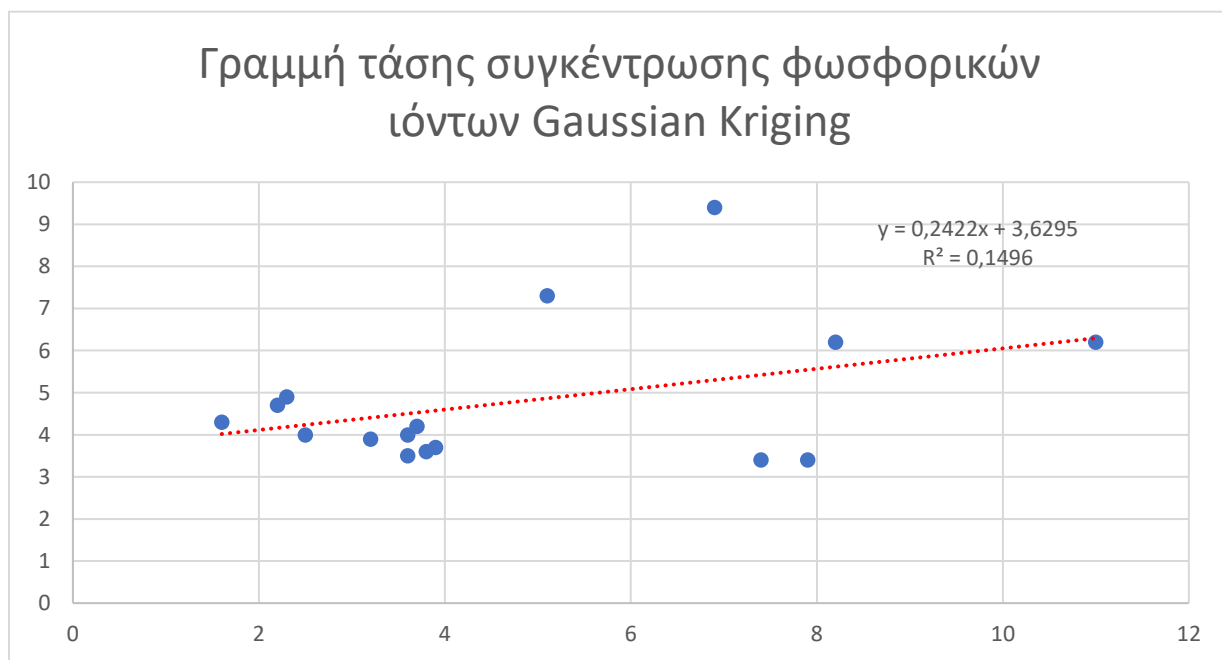
Εικόνα 43. Χάρτης συγκέντρωσης φωσφορικών ιόντων με ημι-βαριόγραμμα Exponential Kriging.



Εικόνα 46. Γραμμή τάσης συγκέντρωσης φωσφορικών ιόντων με ημι-βαριόγραμμα Exponential Kriging.



Εικόνα 45. Χάρτης συγκέντρωσης φωσφορικών ιόντων με ημι-βαριόγραμμα Gaussian Kriging.



Εικόνα 46. Γραμμή τάσης συγκέντρωσης φωσφορικών ιόντων με ημι-βαριόγραμμα Gaussian Kriging.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι τιμές σφάλματος μέσης τετραγωνικής ρίζας (Root Mean Square Error) και R^2 για τον εντοπισμό του πιο αξιόπιστου ημι-βαριογράμματος.

Χάρτες απόλυτης στάθμης Ιουλίου				
Semi-Variogram	Circular	Spherical	Exponential	Gaussian
Root Mean Square Error	13,9418	14,075	15,71	13,5
R^2	0,8661	0,8634	0,8366	0,8665

Χάρτες απόλυτης στάθμης Απριλίου				
Semi-Variogram	Circular	Spherical	Exponential	Gaussian
Root Mean Square Error	12,2718	12,3953	15,711	11,2842
R^2	0,8734	0,8709	0,8366	0,879

Χάρτες συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων				
Semi-Variogram	Circular	Spherical	Exponential	Gaussian
Root Mean Square Error	16,5289	16,5152	16,2619	16,6394
R^2	0,2081	0,2162	0,2263	0,2021

Χάρτες συγκέντρωσης φωσφορικών ιόντων				
Semi-Variogram	Circular	Spherical	Exponential	Gaussian
Root Mean Square Error	2,468	2,4571	2,5936	2,4725
R^2	0,1298	0,1234	0,0449	0,1496

Εικόνα 47. Συγκεντρωτικοί πίνακες τιμών Root Mean Square Error και R^2 .

Με βάση τα παραπάνω, φαίνεται ότι στην περίπτωση των απόλυτων στάθμεων υπάρχει μικρή απόκλιση ανάμεσα στις μετρημένες τιμές και τις τιμές που έχουν προβλεφθεί μέσω της μεθόδου Ordinary Kriging όπως προκύπτει από τις σχετικά υψηλές τιμές του συντελεστή συσχέτισης R^2 . Επίσης οι τιμές RMSE είναι σχετικά μικρές. Αυτό δείχνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παραπάνω μέθοδος για πρόβλεψη τιμών απόλυτης στάθμης σε σημεία όπου δεν έχει γίνει δειγματοληψία και για την αξιόπιστη χωρική κατανομή των τιμών.

Αντίθετα, όσον αφορά τις συγκεντρώσεις νιτρικών και φωσφορικών ιόντων, παρατηρείται μεγάλη απόκλιση ανάμεσα στις μετρημένες τιμές και τις τιμές που προκύπτουν από την μέθοδο Ordinary Kriging, όπως δείχνει η χαμηλή τιμή του συντελεστή συσχέτισης R^2 . Αυτό σημαίνει ότι οι χάρτες που προκύπτουν δεν είναι κατάλληλοι για την πρόβλεψη των τιμών συγκέντρωσης νιτρικών και φωσφορικών ιόντων ίσως λόγω του μικρού αριθμού των δειγμάτων σε σχέση με την έκταση της λεκάνης.

Γενικότερα, φαίνεται πως το ημι-βαριόγραμμα Gaussian ανταποκρίνεται καλύτερα δίνοντας μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, με εξαίρεση στους χάρτες συγκέντρωσης των νιτρικών, όπου το ημι-βαριόγραμμα Exponential δείχνει πιο αξιόπιστο.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας μελετήθηκαν οι υδρογεωλογικές συνθήκες στη λεκάνη της Φλώρινας. Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκε η στάθμη των γεωτρήσεων της περιοχής τον Ιούλιο του 2018 και τον Απρίλιο του 2019 και με βάση αυτές τις μετρήσεις, υπολογίστηκε η μεταβολή της κατά το μεσοδιάστημα αυτών των μηνών. Ακόμη, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία και χημική ανάλυση των υπόγειων υδάτων της περιοχής προκειμένου να βρεθεί η συγκέντρωση των νιτρικών και των φωσφορικών ιόντων σε αυτά, προς εξακρίβωση της καταλληλότητάς τους για υδρευτική χρήση. Επιπροσθέτως, καταγράφηκαν οι τιμές της ηλεκτροαγωγιμότητας, του pH και της θερμοκρασίας του νερού. Ακόμα, έγινε χρήση προγραμμάτων GIS και της μεθόδου Ordinary Kriging για την κατασκευή θεματικών χαρτών απόλυτου υψομέτρου στάθμης, στις δύο περιόδους που έγινε δειγματοληψία, καθώς και χάρτες συγκέντρωσης νιτρικών και φωσφορικών ιόντων. Οι επάνω χάρτες δημιουργήθηκαν με τη χρήση των ημι-βαριογραμμάτων Circular, Spherical, Exponential, Gaussian και έγινε σύγκριση μεταξύ των ημι-βαριογραμμάτων για τη διαπίστωση του πιο αντιπροσωπευτικού. Η σύγκριση έγινε με κύριο κριτήριο τις τιμές του σφάλματος μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMSE) και συντελεστή συσχέτισης (R^2). Με βάση τα παραπάνω προκύπτουν:

- Η ροή του υπόγειου νερού στη λεκάνη της Φλώρινας κατευθύνεται από νότο προς βορρά.
- Η μέση απόλυτη στάθμη υπολογίστηκε στα 625,22m τον Ιούλιο του 2018 και 626,38m τον Απρίλιο του 2019. Η μέση απόλυτη στάθμη παρατηρείται χαμηλότερη κατά τον Ιούλιο, όπως είναι αναμενόμενο, καθώς τον Ιούλιο οι απαιτήσεις σε νερό είναι αυξημένες.
- Η τιμή της συγκέντρωσης των νιτρικών στην λεκάνη της Φλώρινας υπολογίζεται κατά μέσο όρο ότι είναι 17,75mg/L, το οποίο σημαίνει ότι βρίσκεται εντός των ορίων για ύδρευση και άρδευση, όπως αυτά ορίζονται από το ΦΕΚ892/11/07/2001 στα 50mg/L. Πρέπει, ωστόσο, να επισημανθεί ότι υπάρχουν κατά τόπους μέγιστες τιμές που υπερβαίνουν τα όρια, με τη μέγιστη από αυτές να ανέρχεται στα 64mg/L.
- Όσον αφορά τη συγκέντρωση φωσφορικών ιόντων, παρατηρείται και πάλι μέγιστη τιμή στα 11mg/L, η οποία υπερβαίνει την οριακή τιμή συγκέντρωσης για ύδρευση και άρδευση (5mg/L), με την γενικότερη, ωστόσο, εικόνα της λεκάνης να παρουσιάζει κατά μέσο όρο συγκέντρωση φωσφορικών ιόντων κατώτερη της οριακής.
- Η ηλεκτροαγωγιμότητα έχει μέση τιμή 556,63μS/cm, με μέγιστη τιμή 1530μS/cm και ελάχιστη 272μS/cm.
- Η ενεργός οξύτητα (pH) των δειγμάτων κυμαίνεται από ελαφρώς όξινη (5,6) έως ελαφρώς αλκαλική (7,5), με μέση τιμή 6,74, η οποία τείνει προς το

ουδέτερο. Οι όξινες τιμές θα μπορούσαν να συσχετίζονται με την φυσική ύπαρξη CO₂ στο νερό, σε συγκεκριμένα σημεία της λεκάνης.

- Η πιο αντιπροσωπευτική μέθοδος για τη συγκεκριμένη περιοχή και το συγκεκριμένο αριθμό δειγμάτων αποδεικνύεται η Gaussian σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις, με εξαίρεση τους χάρτες συγκέντρωσης των νιτρικών. Η μέθοδος Ordinary Kriging παρέδωσε αξιόπιστους χάρτες για την περίπτωση των απόλυτων υψομέτρων στάθμης του υπόγειου νερού και για τις δύο περιόδους, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για πρόβλεψη τιμών σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν καθόλου μετρήσεις. Αντίθετα, κανένας από τους χάρτες συγκέντρωσης νιτρικών και φωσφορικών ιόντων δεν θεωρείται αντιπροσωπευτικός και αξιόπιστος, καθώς οι προβλεπόμενες τιμές έχουν μεγάλη απόκλιση από τις τιμές που μετρήθηκαν κατά την δειγματοληψία, όπως φαίνεται και από το υψηλό σφάλμα μέσης τετραγωνικής ρίζας RMSE και χαμηλό συντελεστή συσχέτισης R². Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο μικρό αριθμό δειγμάτων σε σχέση με το μέγεθος της περιοχής.

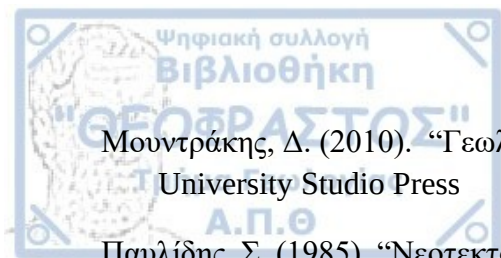


ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Khanduzi, F., Parizanganeh, A., & Zamani, A. (2015). Application of multivariate statistics and geostatistical techniques to identify the spatial variability of heavy metals in groundwater resources. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 13(4), 333-347.
- Koukouzas N., Tasianan A., Gemeni V., Alexopoulos D., Vasilatos C. (2015). Geological modeling for investigation CO₂ emissions in Florina basin, Greece
- Kumar, V. (2007). Optimal contour mapping of groundwater levels using universal kriging—a case study. *Hydrological Sciences Journal*, 52(5), 1038-1050.
- Nas, B. (2009). Geostatistical Approach to Assessment of Spatial Distribution of Groundwater Quality. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18(6).
- Varouchakis, E. A., Hristopulos, D. T., & Karatzas, G. P. (2012). Improving kriging of groundwater level data using nonlinear normalizing transformations—a field application. *Hydrological sciences journal*, 57(7), 1404-1419.
- Voudouris, K., Mandrali, P., & Kazakis, N. (2018). Preventing groundwater pollution using vulnerability and risk mapping: The case of the Florina Basin, NW Greece. *Geosciences*, 8(4), 129.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βουδούρης, Κ., (2009). “Υδρογεωλογία περιβάλλοντος - Υπόγεια νερά και περιβάλλον”, Εκδόσεις: Τζιόλα
- Θεοδοσίου – Δρανδάκη, Παρασκευόπουλου-Παπαβασιλείου, Γανώτης Ι.Γ.Μ.Ε. (1987) «Γεωλογικόςχάρτης, φύλλο Φλώρινας», κλίμακας 1: 50.000.
- Καπνίζου, Κ. (2018). “Διερεύνηση της νιτρορύπανσης των υπογείων νερών της ευρύτερης περιοχής δυτικά της πόλης των Γιαννιτσών από ανθρωπογενείς δραστηριότητες”
- Μανδραλή, Π. (2017). “Βελτιστοποίηση του δείκτη DRASTIC για την εκτίμηση της τρωτότητας στην εξωτερική ρύπανση με στατιστικές μεθόδους: Εφαρμογή στον υδροφορέα της λεκάνης της Φλώρινας”



Μουντράκης, Δ. (2010). “Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδος”, Εκδόσεις: University Studio Press

Παυλίδης, Σ. (1985). “Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας - Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας (Δ. Μακεδονία)”.

Εφημερίς της Κυβερνήσεως, αριθμός φύλλου 892, 11/07/2001, “«Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης», σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/EK του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3^{ης} Νοεμβρίου 1998” (ΦΕΚ892/11/07/2001).

Πλαστηρα-Ροζο Ι.Γ.Μ.Ε. (1978) «Γεωλογικός χάρτης, φύλλο Καστοριάς, και», κλίμακας 1: 50.000 εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε.

Κουκούζα (1990) «Γεωλογικός χάρτης, φύλλο Πτολεμαΐδας », κλίμακας 1: 50.000 εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε.

Κουκούζα, Παρασκευόπουλου (1990) «Γεωλογικός χάρτης, φύλλο Πτολεμαΐδας », κλίμακας 1: 50.000 εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε.

Ματαράγκα (1981) «Γεωλογικός χάρτης, φύλλο Βεύης», κλίμακας 1: 50.000 εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε.

ΙΣΤΟΛΟΓΙΟ

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, www.ypeka.gr

Αναπτυξιακή Φλώρινας ανώνυμη εταιρεία ΑΝΦΛΩ <http://www.anflo.gr/>

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

Ελληνική Στατιστική Αρχή <https://www.statistics.gr/>

Google Earth, <https://earth.google.com/>

Γενική Κλιματολογία ΑΠΘ
<http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc431e/th/Climatology.pdf>

Copernicus <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Εικόνα 48. Οικίσκος από την περιοχή μελέτης.



Εικόνα 49. Οικίσκος από την περιοχή μελέτης.



Εικόνα 50. Οικίσκος από την περιοχή μελέτης.



Εικόνα 51. Πομόνα από την περιοχή μελέτης.



Εικόνα 52. Οικίσκος από την περιοχή μελέτης.



Εικόνα 53. Οικίσκος από την περιοχή μελέτης.