



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ, ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
‘ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ’
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ
ΣΕ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΦΛΩΡΙΝΑΣ

ΛΕΩΝΙΔΑΣ – ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΠΑΝΑΓΟΥΛΙΑΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος Α.Π.Θ.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2024



[κενή σελίδα]



ΛΕΩΝΙΔΑΣ – ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΠΑΝΑΓΟΥΛΙΑΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος Α.Π.Θ.

**ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ
ΣΕ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΦΛΩΡΙΝΑΣ**

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών
‘Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Γεωλογία’,
Κατεύθυνση **‘Τεχνική Γεωλογία και Περιβάλλον’**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Βουδούρης Κ., Καθηγητής ΑΠΘ, Επιβλέπων

Καζάκης Ν., Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών, Μέλος της Τριμελούς
Εξεταστικής Επιτροπής

Κακλής Τρ., Δρ. Υδρογεωλογίας, ΕΔΙΠ, Μέλος της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής



© Λεωνίδας – Παναγιώτης Α. Παναγούλιας, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.,
Τομέας Τεκτονικής, Ιστορικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΕ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ
ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΦΛΩΡΙΝΑΣ

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης

© Leonidas – Panagiotis A. Panagoulas, School of Geology, Aristotle University

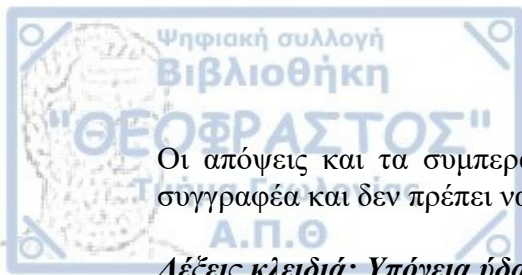
Dept. of Structural, Historical & Applied Geology

All rights reserved

DELINEATION OF PROTECTION ZONES AGAINST POLLUTION IN WATER

WELLS OF THE MUNICIPALITY OF FLORINA

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.

Λέξεις κλειδιά: *Υπόγεια ύδατα, αλλουβιακός υδροφορέας, χημικές αναλύσεις, ποιοτική υποβάθμιση, τρωτότητα, ζώνες προστασίας υδροληπτικών έργων.*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συνεχής ανάπτυξη της κοινωνίας και η εντατικοποίηση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων όπως η γεωργία, η κτηνοτροφία και η εκβιομηχάνιση νέων περιοχών, έχουν δημιουργήσει σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα. Το νερό, ως το κυριότερο αγαθό για την επιβίωση κάθε έμβιου οργανισμού, είναι απαραίτητο να προστατεύεται και να ελέγχεται για την εξασφάλιση της ποιοτικής και ποσοτικής του ακεραιότητας. Ο κλάδος της υδρογεωλογίας σε συνδυασμό και με άλλες ειδικότητες έχουν την δυνατότητα μέσα από ολοκληρωμένη υδρογεωλογική μελέτη να προβλέψουν ή να αντιμετωπίσουν προβλήματα που σχετίζονται με την ποιοτική ή ποσοτική υποβάθμιση των υδάτων.

Η μεταπτυχιακή αυτή διπλωματική, επικεντρώνεται στην οριοθέτηση ζωνών προστασίας σε γεωτρήσεις που συναντώνται σ

υπόγειους υδροφορείς του δήμου Φλώρινας, στη βόρεια Ελλάδα. Η συγκεκριμένη περιοχή, εξαιτίας της ανάπτυξης που έχει δεχτεί τα τελευταία χρόνια σε συνδυασμό με τη γεωγραφική της θέση και τις ανθρώπινες δραστηριότητες που πραγματοποιούνται, έχει δεχθεί έντονες πιέσεις στα υπόγεια ύδατα. Η ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων αποθεμάτων της περιοχής, εντοπίστηκε ήδη από το 2017 και επιβεβαιώθηκε από τις χημικές αναλύσεις του 2023 που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία.

Έπειτα από τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε, λαμβάνοντας υπόψη προηγούμενες εργασίες και στοιχεία και με τη χρήση συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών, οροθετήθηκαν οι ζώνες προστασίας συγκεκριμένων υδρογεωτρήσεων της περιοχής, προκειμένου να περιοριστούν οι ανθρώπινες δραστηριότητες στην άμεση ακτίνα του υδροληπτικού έργου, μειώνοντας τις πιθανότητες ρύπανσης των υπόγειων υδάτων.

ENGLISH SUMMARY

The continuous development of society and the intensification of human activities such as agriculture, animal husbandry and the industrialisation of new areas have created significant environmental problems. Water, as the main resource for the survival of every living organism, needs to be protected and controlled to ensure its qualitative and quantitative integrity. The discipline of hydrogeology, in conjunction with other disciplines, is able, through integrated hydrogeological studies, to predict or deal with problems associated with the qualitative or quantitative degradation of water.

This Master's thesis focuses on the delineation of protection zones in wells encountered in the underground aquifers of the municipality of Florina, in northern Greece. This area, due to the development it has received in recent years, combined with its geographical location and the human activities carried out, has been subjected to intense pressures on groundwater. The qualitative degradation of the groundwater resources of the area was already detected in 2017 and confirmed by the 2023 chemical analyses presented in this paper.

Following the study carried out, taking into account previous work and data and using geographic information systems, protection zones of specific aquifers in the region were delineated in order to limit human activities in the immediate radius of the aquifer project, reducing the potential for groundwater pollution

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με την ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών στο τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. και τη λήψη του πτυχίου μου, ένιωσα έντονα την ανάγκη να συνεχίσω τις σπουδές μου σε μεταπτυχιακό επίπεδο. Η αγάπη που ανέπτυξα σε αυτά τα τέσσερα χρόνια τόσο για την επιστήμη της Γεωλογίας γενικά, αλλά κυρίως για τον κλάδο της Υδρογεωλογίας, καθώς και οι σχέσεις που ανέπτυξα με τους διδάσκοντες του τομέα όλα αυτά τα χρόνια, οδήγησαν στο να επιλέξω το παρόν μεταπτυχιακό πρόγραμμα.

Η Υδρογεωλογία αποτελεί βασικό κλάδο των γεωλογικών επιστημών με πολλές εφαρμογές, καθώς το νερό αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας του ανθρώπου. Παράλληλα, το νερό εκτός από τη ζωτική σημασία που έχει για κάθε έμβιο ον, εξυπηρετεί και άλλες ανάγκες της σύγχρονης κοινωνίας. Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ αξίζει να υπογραμμιστούν τα παρακάτω:

- Από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, περίπου 2,5 εκατομμύρια άνθρωποι έχουν άμεση πρόσβαση σε βελτιωμένες πηγές παροχής πόσιμου νερού, ενώ περίπου 660 εκατομμύρια άνθρωποι αντιμετωπίζουν σοβαρό πρόβλημα έλλειψης και πρόσβασης σε αυτό.
- Περίπου 2 εκατομμύρια άνθρωποι χρησιμοποιούν για τις ανάγκες τους, μολυσμένες πηγές νερού.
- Η λειψυδρία όπως και στη χώρα μας, αποτελεί ένα σύγχρονο πρόβλημα, το οποίο μέσα στα επόμενα χρόνια θα επιδεινωθεί. Στατιστικά επηρεάζει πάνω από το 40% του πληθυσμού σε παγκόσμια κλίμακα. Παράλληλα, 1,7 δισεκατομμύρια άνθρωποι διαβιούν σε λεκάνες απορροής με ελλειμματικό ισοζύγιο.
- Επιπλέον, το 80% των λυμάτων έχει ως τελικό αποδέκτη λίμνες, ποτάμια και θάλασσες.
- Τέλος, το νερό αποτελεί παράγοντα πολλών θανάτων, είτε επειδή είναι ακατάλληλο για πόση και μεταφέρει ασθένειες στο άτομο, είτε επειδή σε ορισμένες περιπτώσεις με τη μορφή πλημμύρας ή οποιαδήποτε άλλη μορφή μπορεί να αποτελέσει φυσική καταστροφή.

Γίνεται αντιληπτό ότι, η υδρογεωλογία θα παίζει βασικό και καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των μελλοντικών κοινωνιών, ωστόσο οι βάσεις για καθαρό και πόσιμο νερό είναι απαραίτητο να διαμορφωθούν από τώρα. Πράγματι, η Ευρωπαϊκή ένωση μέσα από τους 17 στόχους που έχει θεσπίσει για βιώσιμη ανάπτυξη, δίνει ιδιαίτερη σημασία στο νερό, το οποίο λαμβάνει μέρος είτε άμεσα μέσα από την προστασία του (Στόχος 6) είτε έμμεσα (Στόχοι 7,13,14).

Έτσι λοιπόν, η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ειδίκευσης με τίτλο: **«Οριοθέτηση ζωνών προστασίας από τη ρύπανση σε υδρογεωτρήσεις του Δήμου Φλώρινας»**, για το πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών (ΠΜΣ) του τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ στον τομέα της εφαρμοσμένης και περιβαλλοντικής γεωλογίας. Έχει ως σκοπό, να μελετήσει όλους εκείνους τους γεωλογικούς και μη παράγοντες που επικρατούν στην περιοχή μελέτης προκειμένου να εξάγουμε συμπεράσματα για την ποιοτική και ποσοτική κατάσταση των υπόγειων υδάτων, αλλά και να καθοριστούν οι ζώνες προστασίας όπως ορίζονται από τη νομοθεσία, προκειμένου να διασφαλιστεί η καταλληλότητα του νερού των υδρογεωτρήσεων.



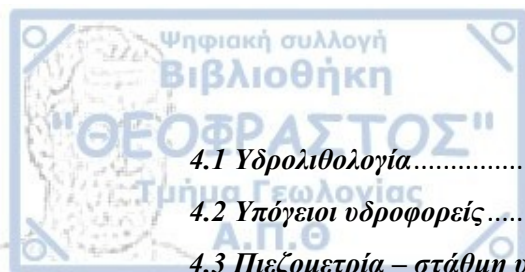
Με τη συγγραφή αυτής της διατριβής τελειώνει ένα σύντομο, απαιτητικό, αλλά αρκετά συναρπαστικό και γεμάτο γνώσεις ταξίδι. Θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από τα βάθη της καρδιάς μου τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη, ο οποίος από το προπτυχιακό επίπεδο με μύησε στον κόσμο της Υδρογεωλογίας μέσα από τις γνώσεις και τη μεταδοτικότητα του.

Επιπλέον, θερμές ευχαριστίες στον κ. Καζάκη Νεραντζή, επίκουρο καθηγητή του Πανεπιστημίου Πατρών, που και αυτός με την σειρά μέσα από την εμπειρία και το διδακτικό του ενδιαφέρον, μας βοήθησε να κατανοήσουμε το αντικείμενο στο μέγιστο. Πιο συγκεκριμένα, τον ευχαριστώ για τις συμβουλές, την παροχή δεδομένων, και τον χρόνο που αφιέρωσε ώστε η συγκεκριμένη εργασία να ολοκληρωθεί με επιτυχία.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Τριαντάφυλλο Κακλή και τον κ. Χρήστο Μάττα, διότι όλα αυτά τα χρόνια βοήθησαν και ήταν διαθέσιμοι για οποιαδήποτε απορία αλλά και δυσκολία συναντήσαμε. Όλοι οι προαναφερθέντες, αποτέλεσαν κίνητρο ώστε εγώ προσωπικά να αγαπήσω την υδρογεωλογία και να νιώσω έντονα την ανάγκη να ασχοληθώ περαιτέρω με το αντικείμενο.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους υπόλοιπους διδάσκοντες που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο πρόγραμμα σπουδών, διότι μας προσέφεραν γνώσεις, εμπειρία και συμβουλές.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	6
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 2. Περιοχή έρευνας	3
2.1 Θέση περιοχής	3
2.2 Γεωγραφία – Μορφολογία	3
2.3 Υδρογραφικό δίκτυο	6
2.4 Κλίμα	6
2.4.1 Βροχοπτώσεις	7
2.4.2 Εξίσωση βροχοβαθμίδας	8
2.4.3 Θερμοκρασία	9
2.4.4 Ομβροθερμικό διάγραμμα – άνεμοι	11
2.5 Χρήσεις γης	11
2.6 Δημογραφικά στοιχεία	12
2.6 Υδατικές ανάγκες – Ύδρευση	13
2.7 Υδρολογικό ισοζύγιο	14
2.7.1 Όγκος Βροχόπτωσης P	15
2.7.2 Εξατμισοδιαπνοή E	15
2.7.3 Κατείσδυση I	16
2.7.4 Επιφανειακή απορροή Q	18
Κεφάλαιο 3. Γεωλογία και Τεκτονική	19
3.1 Παλαιογεωγραφία και γεωτεκτονική τοποθέτηση	19
3.2 Λιθοστρωματογραφική εξέλιξη	20
3.2.1 Το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο	20
3.2.2 Γνευσιωμένοι πλουτωνίτες	22
3.2.3 Περμοτριάδικές μετακλαστικές ακολουθίες	22
3.2.4 Ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού – Ιουρασικού	22
3.2.5 Οφειόλιθοι και συνοδά ιζήματα	23
3.2.6 Επικλυσιγενή ιζήματα	23
3.3 Μεταμόρφωση – Τεκτονική	24
3.3.1 Συνθήκες μεταμόρφωσης	24
3.3.2 Τεκτοορεγενετική εξέλιξη	24
3.3.3 Νεοτεκτονική εξέλιξη	26
3.4 Γεωλογία περιοχής μελέτης	26
3.5 Σεισμικότητα	28
Κεφάλαιο 4. Υδρογεωλογία	30



4.1 Υδρολιθολογία.....	30
4.2 Υπόγειοι υδροφορείς.....	31
4.3 Πιεζομετρία – στάθμη υπόγειου νερού.....	34
4.4 Υδροχημεία.....	37
4.4.1 Περίοδος Ιουνίου.....	38
4.4.2 Περίοδος Σεπτεμβρίου.....	47
4.5 Τρωτότητα.....	51
4.5.1 Τρωτότητα προσχωματικού υδροφορέα Φλώρινας.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΖΩΝΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΥΔΑΤΩΝ.....	54
5.1 Γενικά.....	54
5.2 Διαδικασία οριοθέτησης ζωνών.....	54
5.2.1 Ζώνη προστασίας I.....	54
5.2.2 Ζώνη προστασίας II.....	54
5.2.3 Ζώνη προστασίας III.....	55
5.3 Προσδιορισμός ζωνών προστασίας στην περιοχή μελέτης.....	55
5.3.1 Γεώτρηση Νέος Καύκασος.....	56
5.3.2 Γεώτρηση Μαρίνα.....	58
5.3.3 Γεωτρήσεις στη θέση Ιτέα.....	59
5.3.4 Γεώτρηση Νεοχωράκι.....	61
5.3.5 Γεώτρηση Βεύη.....	62
5.3.6 Γεώτρηση Αχλάδα.....	64
5.3.7 Γεωτρήσεις Μεσοχώρι.....	65
5.4 Πηγές ρύπανσης στην περιοχή μελέτης.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	71
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	73

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Το νερό αποτελεί βασικό αγαθό και είναι αναγκαίο τόσο για τον άνθρωπο όσο και για κάθε ζωντανό οργανισμό. Το μεγαλύτερο ποσοστό του πλανήτη καλύπτεται από νερό, ωστόσο το πόσιμο νερό αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα παγκοσμίως είτε εξαιτίας της ποιοτικής του υποβάθμισης, είτε των μειωμένων του αποθεμάτων. Το πόσιμο νερό, λαμβάνεται κυρίως από πηγές, γεωτρήσεις, πηγάδια και επιφανειακά ύδατα, ενώ είναι απαραίτητο να πληροί συγκεκριμένες προδιαγραφές κατά την κατανάλωση του.

Συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού έχουν καθοριστεί μέσα από νομοθεσίες (οδηγία 2020/2184) και αφορούν τις φυσικοχημικές και χημικές του ιδιότητες (pH, σκληρότητα, αγωγιμότητα, νιτρικά άλατα, χλωριόντα, σίδηρος, θειικά, κ.ά.), το βιολογικό και μικροβιολογικό φορτίο (ολικά κολοβακτηριοειδή, κολοβακτηριοειδή κοπράνων) και τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά (γεύση, χρώμα, οσμή, διαύγεια, θερμοκρασία).

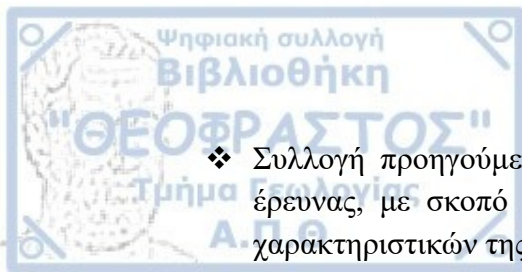
Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η προστασία και η σωστή διαχείριση του πόσιμου νερού, για την προστασία του καταναλωτή και του περιβάλλοντος. Οι ζώνες προστασίας των υπόγειων υδάτων, καθορίζουν μια συγκεκριμένη περίμετρο μέσα στην οποία απαγορεύονται ρητά ανθρώπινες δραστηριότητες οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν ποιοτική υποβάθμιση του εκάστοτε υπόγειου υδροφορέα. Ο τρόπος με τον οποίο ο ρύπος επηρεάζει την υδροληψία είναι συνάρτηση ενός πλήθους παραγόντων όπως η απόσταση από το υδροληπτικό έργο, τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα και το υλικό επάνω από αυτόν, καθώς και τον τύπο του ρύπου.

Η ελληνική πολιτεία τα τελευταία χρόνια δίνει βάση στην ανάγκη για καθαρό και ποιοτικά εξασφαλισμένο νερό, μέσα από μελέτες καθορισμού των ζωνών προστασίας του υπόγειου νερού. Έτσι, και η συγκεκριμένη διατριβή, αποτελεί κομμάτι αυτής της προσπάθειας, με τον καθορισμό των ζωνών προστασίας συγκεκριμένων υδρογεωτρήσεων στον Δήμο Φλώρινας.

Ο αλλουβιακός υδροφορέας της Φλώρινας, αλλά και γενικότερα τα υπόγεια ύδατα της περιοχής δέχονται σημαντικές πιέσεις, λόγω της αυξημένες γεωργικής και κτηνοτροφικής δραστηριότητας (Μανδραλή, 2017). Το εργαστήριο τεχνικής γεωλογίας και υδρογεωλογίας σε προηγούμενες μελέτες, εντόπισε την ανάγκη της προστασίας των υδάτων της περιοχής, καθώς ήδη από το 2017, παρατηρήθηκαν αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων και περιοχές με μεγάλη τρωτότητα.

Για τον καθορισμό των ζωνών ακολουθήθηκε μια ολοκληρωμένη υδρογεωλογική μελέτη με συλλογή δεδομένων επί τόπου, εργαστηριακές αναλύσεις και ηλεκτρονική επεξεργασία των δεδομένων. Δημιουργήθηκαν χάρτες με τις θέσεις των υδροληπτικών έργων, πιεζομετρικοί χάρτες, κατανομές των ιόντων, γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης, καθορισμός των ζωνών I, II και III για αντιπροσωπευτικές γεωτρήσεις του Δήμου σε περιβάλλον GIS.

Συγκεκριμένα, η περάτωση της παρούσας διατριβής ειδίκευσης αποτελεί ένα σύνολο βημάτων που ακολουθήθηκαν:



- ❖ Συλλογή προηγούμενων μελετών και εργασιών που εκπονήθηκαν στην περιοχή έρευνας, με σκοπό την κατανόηση τόσο των γεωλογικών και υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών της περιοχής.
- ❖ Αξιοποίηση τοπογραφικών, γεωλογικών, υδρολιθολογικών χαρτών, εύρεση και στατιστική επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων, σύνταξη υδατικού ισοζυγίου για όλη την έκταση του Δήμου.
- ❖ Επί τόπου καταγραφή των υδροληπτικών έργων του Δήμου, συλλογή δειγμάτων νερού από συγκεκριμένες πηγές και γεωτρήσεις, λήψη φωτογραφιών.
- ❖ Εργαστηριακός προσδιορισμός των οργανοληπτικών, χημικών χαρακτηριστικών του νερού, προσπάθεια κατανόησης της προέλευσής τους, και εντοπισμός πιθανών προβλημάτων.
- ❖ Χάραξη του υδροκρίτη των πηγών και των γεωτρήσεων.
- ❖ Ηλεκτρονική επεξεργασία και αποτύπωση των δεδομένων που συλλέχθηκαν μέσα από την χρήση λογισμικών, όπως AquaChem, Microsoft Excel για τη στατιστική επεξεργασία των κλιματικών δεδομένων και την έκταση των ζωνών και κατασκευή πλήθους χαρτών με τη χρήση λογισμικών γεωγραφικών πληροφοριών, όπως το ArcMap 10.8.

Κεφάλαιο 2. Περιοχή έρευνας

2.1 Θέση περιοχής

Με την εκπόνηση του προγράμματος Καλλικράτης στις αρχές του 2011, ο Δήμος Φλώρινας, μαζί με τον Δήμο Πρεσπών και Αμυνταίου, συγκροτούν την περιφερειακή ενότητα Φλώρινας και αποτελούν τμήμα της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας. Ο Δήμος, προέκυψε από την συγχώνευση τεσσάρων προϋπαρχόντων δήμων : της Φλώρινας, των Κάτω Κλεινών, του Περάσματος και της Μελίτης. Καταλαμβάνει έκταση περίπου 872,62 τετραγωνικά χιλιόμετρα και βάσει της απογραφής του 2011, ο πληθυσμός ανέρχεται σε 32.881 κατοίκους.



Εικόνα 2.1. Περιφερειακή ενότητα Φλώρινας.

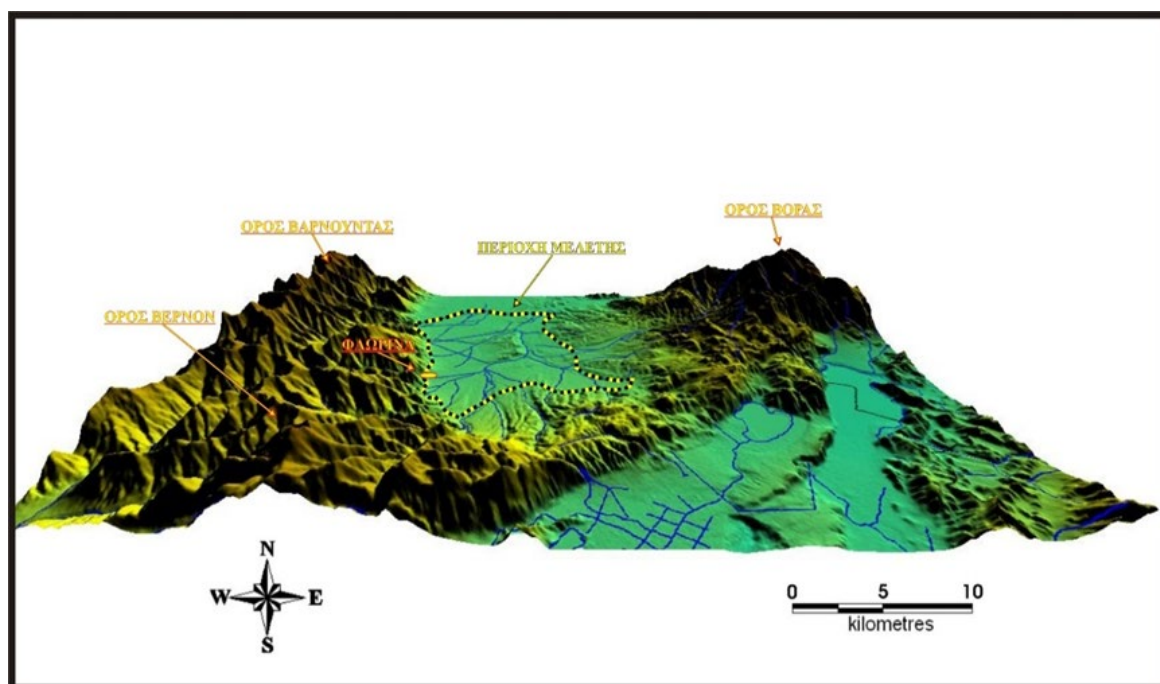
2.2 Γεωγραφία – Μορφολογία

Η περιφερειακή ενότητα Φλώρινας, τοποθετείται στην βόρειο – βορειοδυτική Ελλάδα και αποτελεί σύνορο, της Ελλάδας με τα γειτονικά κράτη της Βόρειας Μακεδονίας και της Αλβανίας στον βορά και τα δυτικά αντίστοιχα. Στα νότια συναντώνται οι περιφερειακές ενότητες Κοζάνης και Καστοριάς, ενώ στα ανατολικά βρίσκεται η περιφέρεια της Πέλλας.

Σε όλη την έκταση της, η περιφέρεια παρουσιάζει πλούσιο μορφολογικό ανάγλυφο, με εναλλαγές τόσο ορεινών, ημιορεινών (όπως το λεκανοπέδιο της Φλώρινας), αλλά και πεδινών εκτάσεων (όπως η περιοχή των Πρεσπών).

Στην ευρύτερη περιοχή συναντώνται τέσσερα διαφορετικά βουνά. Στα δυτικά ορθώνεται το όρος Τρικλάριο (1.776 m), στα νότια το Βέρνον (2.128 m), στα ανατολικά ο Βόρας (2.524 m) και στα βόρεια ο Βαργούντας (2.334 m), με τον τελευταίο να αποτελεί φυσικό όριο ανάμεσα στη λεκάνη της Φλώρινας και των Πρεσπών. Στα νοτιοδυτικά του Δήμου, το όρος Βέρνον αποτελεί σύνορο με την Περιφερειακή Ενότητα Καστοριάς, ενώ στα βορειοανατολικά βρίσκεται το όρος Βόρας ή αλλιώς Καϊμακτσαλάν, το οποίο με μέγιστο υψόμετρο τα 2.524 m, αποτελεί το τρίτο ψηλότερο βουνό της Ελλάδας.

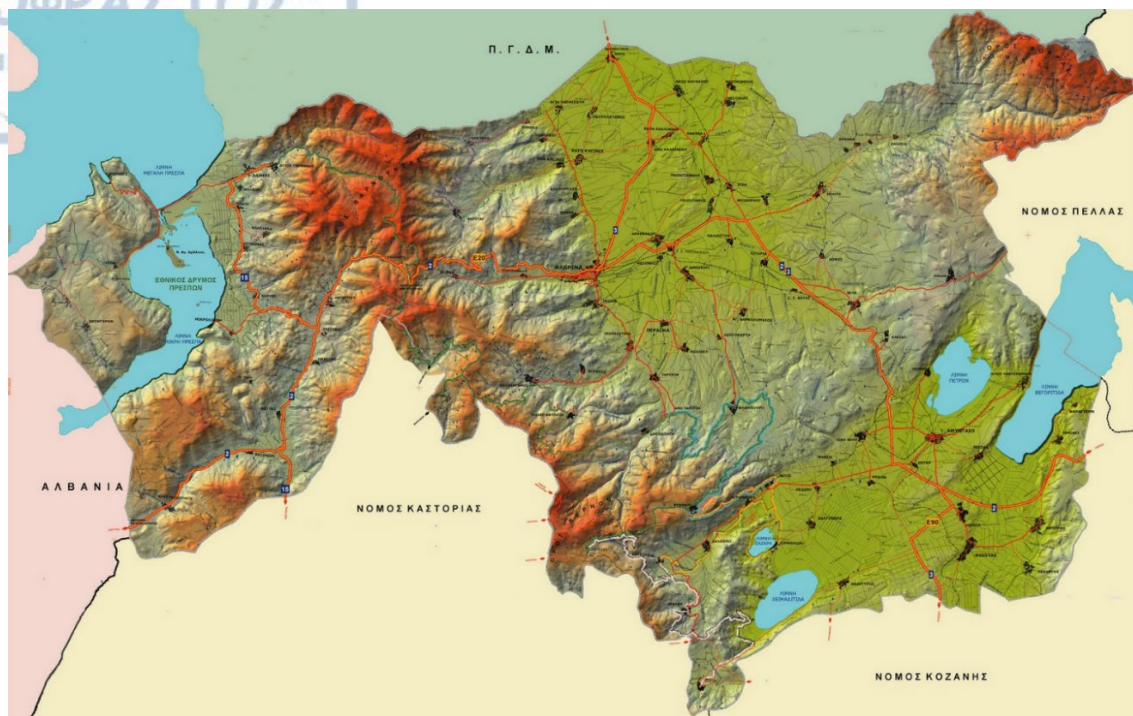
Ο Δήμος Φλώρινας καλύπτει κυρίως τη λεκάνη της περιοχής με μέσο υψόμετρο 650 m και μικρές σχετικά κλίσεις. Το ανάγλυφο γίνεται πιο απότομο και οι κλίσεις αυξάνονται, στις περιοχές που καταλαμβάνονται από τους ορεινούς όγκους.



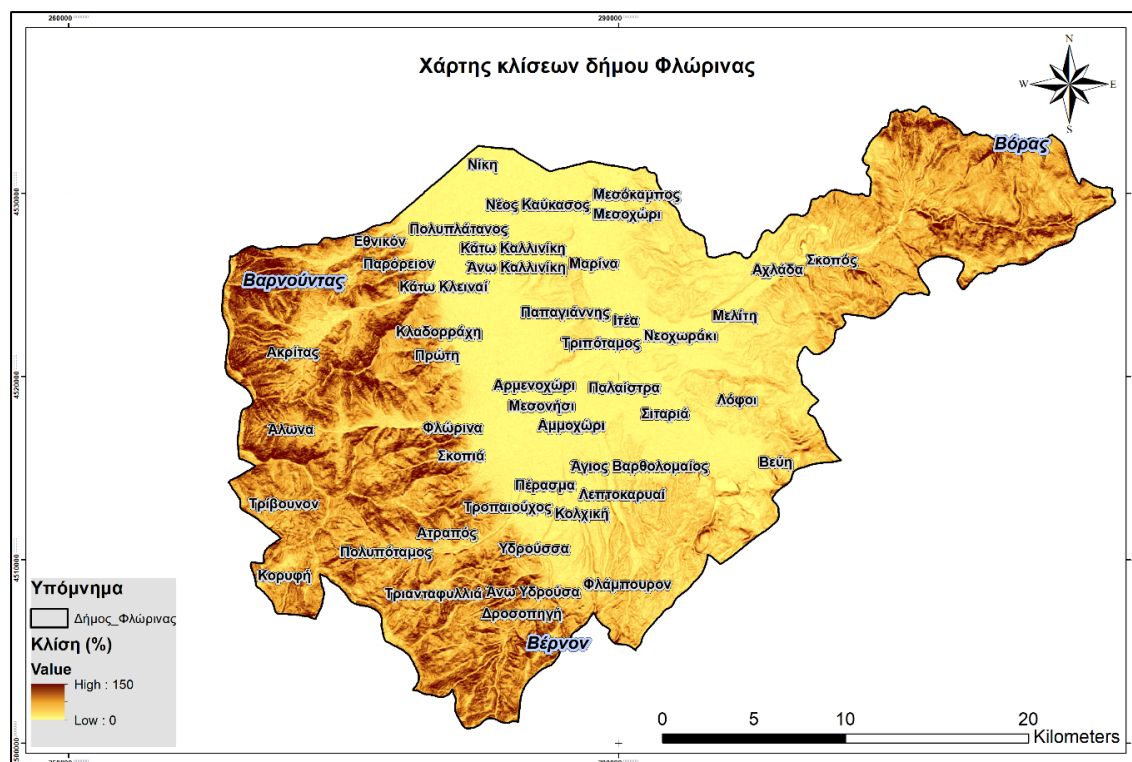
Εικόνα 2.2. Απεικόνιση της λεκάνης της Φλώρινας και των ορεινών όγκων που την περιβάλλουν.

Στη μορφολογική ετερογένεια που χαρακτηρίζει την περιοχή, συμβάλλουν και οι έξι λίμνες που εντοπίζονται στην περιφερειακή ενότητα, με τις περισσότερες από αυτές να αποτελούν βιότοπο για σπάνια είδη χλωρίδας και πανίδας. Οι λίμνες αυτές, προστατεύονται από τη νομοθεσία και έχουν ενταχθεί στο δίκτυο προστασίας NATURA 2000.

Στα βορειοδυτικά η Μικρή και Μεγάλη Πρέσπα, αποτελούν φυσικό σύνορο της Ελλάδας με τα γειτονικά κράτη, ενώ στην ευρύτερη περιοχή του Αμυνταίου συναντώνται οι λίμνες Πετρών και Βεγορίτιδα. Τέλος, στα νότια του νομού αναπτύσσονται οι λίμνες Ζάζαρη και Χειμαδίτιδα.



Εικόνα 2.3. Τοπογραφικός χάρτης της Π.Ε. Φλώρινας.

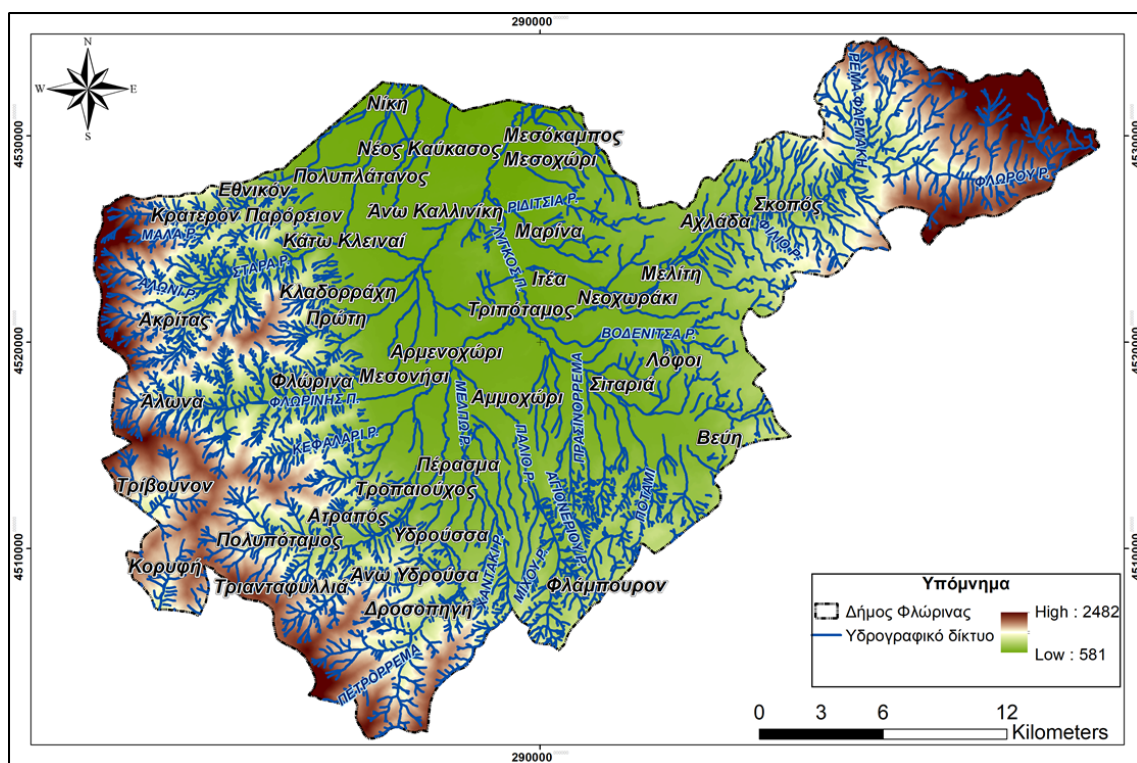


Εικόνα 2.4. Χάρτης κλίσεων Δήμου Φλώρινας.

2.3 Υδρογραφικό δίκτυο

Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι καλά ανεπτυγμένο, τα υδατορεύματα ξεκινούν από τους γύρω ορεινούς όγκους και στη συνέχεια διαρρέουν και τροφοδοτούν το πεδινό τμήμα του Δήμου στο οποίο οριοθετείται το υπόγειο υδατικό σύστημα Φλώρινας. Τα κυριότερα υδρορεύματα της περιοχής είναι: Ο ποταμός Λύγκος, ο ποταμός Φλωρίνης, ο Τροπαιούχος ποταμός, καθώς και τα ρέματα Καλλινιώτικο, Μέλπω και Παλαιό.

Ο Λύγκος ή Σακουλέβας εκτείνεται στο κεντρικό τμήμα του κάμπου της Φλώρινας, μέχρι τα σύνορα με τη Β. Μακεδονία, στο γειτονικό κράτος ενώνεται με τον ποταμό Ερίγωνα λίγο πριν τον κάμπο του Μοναστηρίου. Το μήκος του Λύγκου, επί ελληνικού εδάφους εκτιμάται περί τα 13 χιλιόμετρα.



Εικόνα 2.5. Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής του Δήμου Φλώρινας.

2.4 Κλίμα

Το κλίμα της περιοχής είναι ηπειρωτικό και χαρακτηρίζεται από έντονες βροχοπτώσεις, ήπια καλοκαίρια, χειμώνες με χαμηλές θερμοκρασίες και χιονοπτώσεις. Καθοριστικοί παράγοντες για το κλίμα της περιοχής είναι : η υψομετρική της θέση, η απόσταση από την θάλασσα, οι ορεινοί όγκοι που την περιβάλλουν, καθώς και η παρουσία των λιμνών, οι οποίες δημιουργούν διαφοροποίηση στις συνθήκες και επηρεάζουν το μικροκλίμα των γύρω περιοχών.

Στην περιοχή το μεγαλύτερο σύνολο των βροχοπτώσεων συμβαίνει στο διάστημα Οκτωβρίου – Μαΐου και χαρακτηρίζεται ψυχρή, αντίθετα στην περίοδο Ιουνίου – Σεπτεμβρίου, παρατηρείται μείωση των κατακρημνισμάτων και χαρακτηρίζεται ως ξηρή.

2.4.1 Βροχοπτώσεις

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων και τη στατιστική επεξεργασία της βροχόπτωσης στον σταθμό της Φλώρινας, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον Οκτώβριο του 2007 έως τον Σεπτέμβρη του 2022, καλύπτοντας δηλαδή χρονοσειρά για 15 συναπτά υδρολογικά έτη.

Από την επεξεργασία των δεδομένων προέκυψε ότι στη περιοχή ο μέσος όρος των κατακρημνισμάτων ανέρχεται στα 570 mm, ενώ το μεγαλύτερο και μικρότερο ύψος τους, είναι 810 mm το υδρολογικό έτος 2014 – 2015 και 378 mm το 2016 – 2017 αντίστοιχα (Εικόνα 2.6).

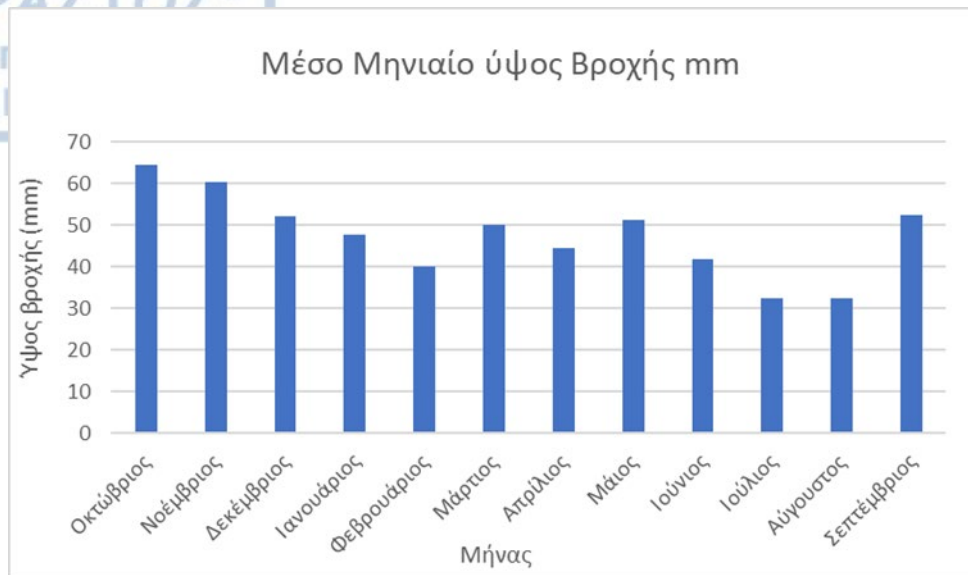


Εικόνα 2.6. Διακύμανση της ετήσιας βροχόπτωσης στα υδρολογικά έτη από 2007-2008 έως 2021-2022.

Με βάση τη χρονοσειρά, προέκυψε ότι ο Οκτώβριος είναι ο μήνας στον οποίο στατιστικά σημειώνεται το μεγαλύτερο ύψος των κατακρημνισμάτων με μέση τιμή 64 mm, ενώ ο Ιούλιος και ο Αύγουστος με μέση τιμή περίπου 32 mm, αποτελούν τους δύο μήνες με την μικρότερη βροχόπτωση (Πίνακας 2.1).

Πίνακας 2.1. Μέση μηνιαία Βροχόπτωση για τα υδρολογικά έτη από 2007-2008 έως 2021-2022.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση μηνιαία Βροχόπτωση (mm)	47,6	40,1	50,0	44,6	51,2	41,8	32,4	32,0	52,5	64,5	60,4	51,2



Εικόνα 2.7. Μέση μηνιαία Βροχόπτωση για τα υδρολογικά έτη από 2007-2008 έως 2021-2022.

2.4.2 Εξίσωση βροχοβαθμίδας

Γνωρίζοντας το ύψος βροχόπτωσης του κάθε σταθμού, με το αντίστοιχο απόλυτο υψόμετρο, μπορούμε να κατασκευάσουμε την καμπύλη της μεταβολής του ύψους της βροχής με το υψόμετρο (Εικόνα 2.8).

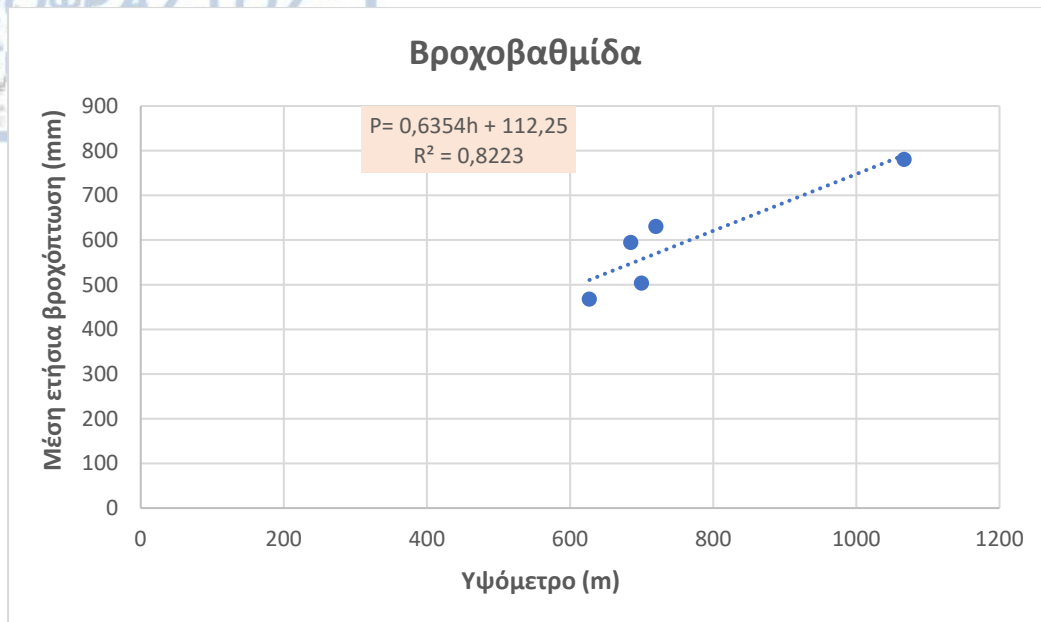
Με βάση τα βροχομετρικά δεδομένα για πέντε μετεωρολογικούς σταθμούς στην ευρύτερη περιοχή και την εφαρμογή της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων, για την εξίσωση:

$$P = a * h + b,$$

όπου P το ύψος των κατακρημνισμάτων να είναι η εξαρτημένη μεταβλητή και h, το υψόμετρο να είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή, υπολογίστηκε η βροχοβαθμίδα της περιοχής. Η χρονοσειρά που χρησιμοποιήθηκε, περιλαμβάνει τα υδρολογικά έτη από 1980 – 1981 έως 1997 -1998.

Πίνακας 2.2. Βροχομετρικοί σταθμοί στην ευρύτερη περιοχή.

Σταθμός	Υψόμετρο	Μέση ετήσια βροχόπτωση (mm)
Άνω Καλλινίκη	627	467,31
Βεύη	700	503,24
Τροπαιούχος	685	594,32
Αχλάδα	720	630,16
Δροσοπηγή	1067	780,27



Εικόνα 2.8. Υπολογισμός βροχοβαθμίδας με την χρήση ελαχίστων τετραγώνων.

Έτσι προέκυψε, η εξίσωση $P = 0,635 \cdot h + 112,25$ και $R^2 = 0,82$, στην οποία τα όρια των συντελεστών και τα διαστήματα εμπιστοσύνης είναι στατιστικά σημαντικά.

Συνεπώς, για την ευρύτερη περιοχή μελέτης ισχύει, ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης αυξάνεται περίπου **63 χιλιοστά** ανά **100 μέτρα** αύξησης του απόλυτου υψομέτρου.

2.4.3 Θερμοκρασία

Από την επεξεργασία των κλιματικών δεδομένων για τα υδρολογικά έτη από 2007-2008 έως 2020-2021, προέκυψε, μέση ετήσια θερμοκρασία 12 °C. Τον Ιανουάριο του 2012 σημειώθηκε και η μικρότερη καταγεγραμμένη θερμοκρασία από σταθμό της Ε.Μ.Υ., καθώς αυτή άγγιξε τους -25,1°C.

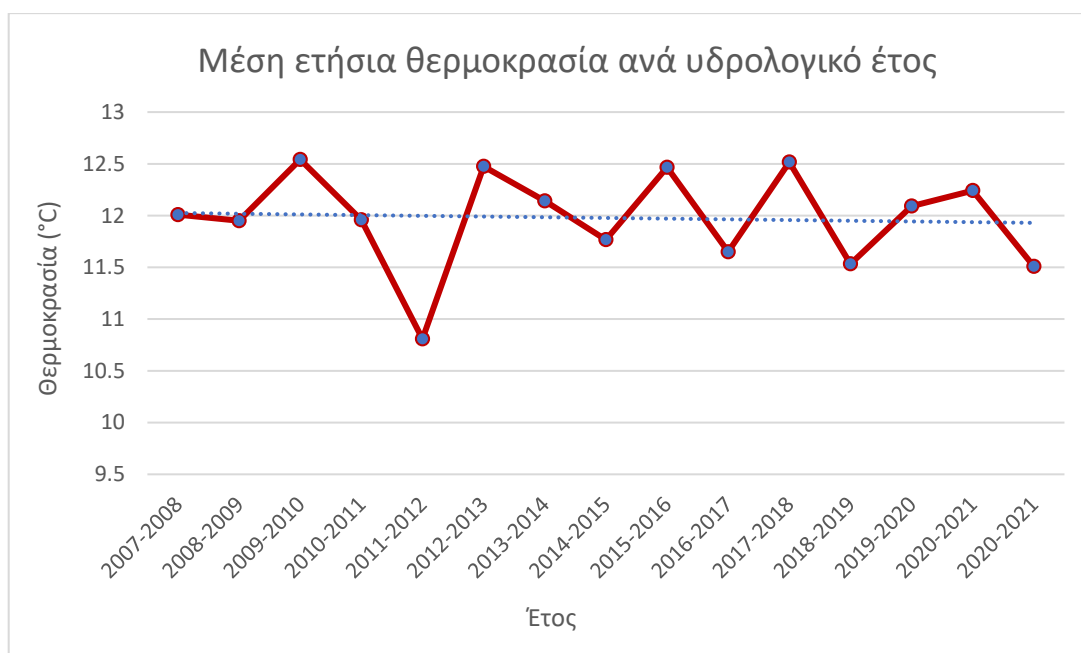
Πίνακας 2.3. Μέση μηνιαία θερμοκρασία για τα υδρολογικά έτη από 2007-2008 έως 2021-2022.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡΤ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση μηνιαία Θερμοκρασία (°C)	0,55	3,88	6,90	11,44	15,80	19,77	22,46	22,47	17,85	12,12	7,73	2,66

Όπως φαίνεται από τον (πίνακα 2.3), ο Ιανουάριος με μέση τιμή θερμοκρασίας 0,5 °C, αποτελεί στατιστικά τον ψυχρότερο μήνα, ενώ οι υψηλότερες θερμοκρασίες σημειώνονται τον Ιούλιο και τον Αύγουστο με μέση τιμή περίπου 22,4 °C.



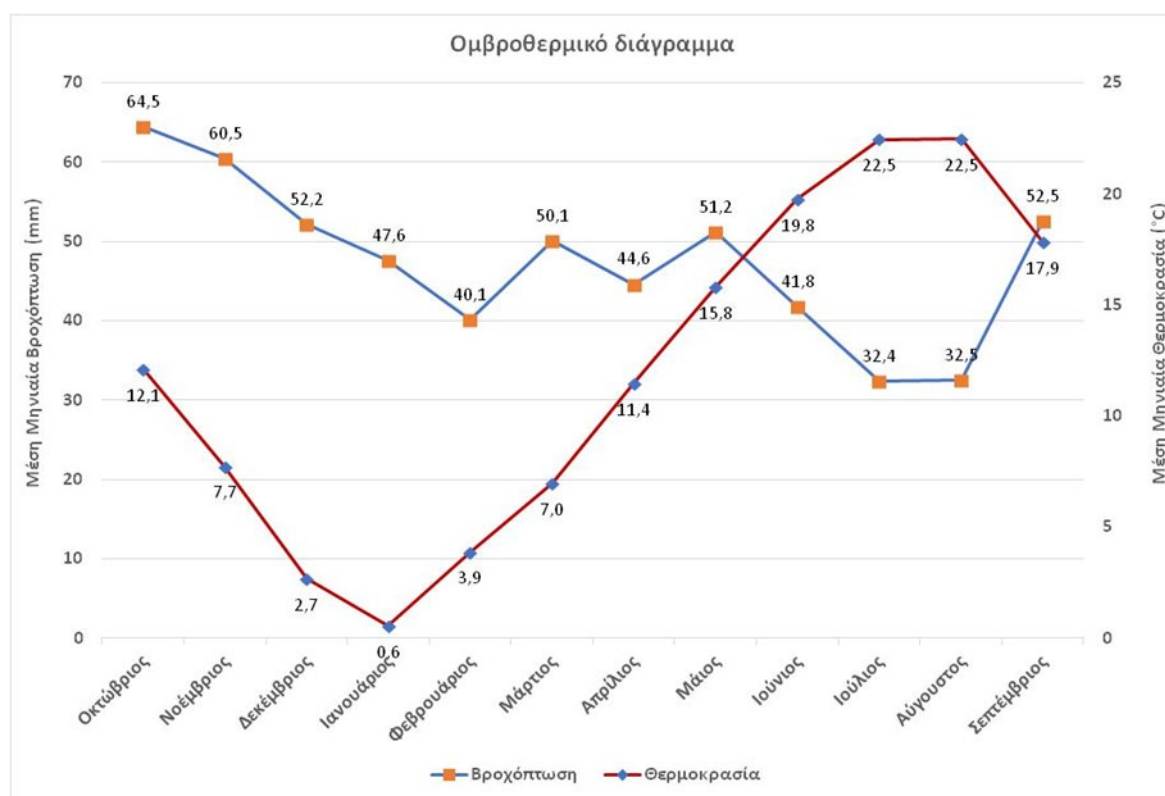
Εικόνα 2.9. Διακύμανση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας.



Εικόνα 2.10. Μέση ετήσια θερμοκρασία για τα υδρολογικά έτη από 2007-2008 έως 2020-2021.

2.4.4 Ομβροθερμικό διάγραμμα – άνεμοι

Το ομβροθερμικό διάγραμμα αποτελεί, δείκτη του κλίματος σε μία περιοχή καθώς λαμβάνει υπόψη την βροχόπτωση και την θερμοκρασία σε συνάρτηση με τον χρόνο. Στην περίπτωση που η καμπύλη της βροχόπτωσης, υπέρκειται της θερμοκρασίας η περίοδος είναι υγρή, αντίθετα όταν η καμπύλη της θερμοκρασίας, βρίσκεται επάνω από αυτή της βροχόπτωσης, η περίοδος είναι ξηρή. Από την παρατήρηση του ομβροθερμικού (Εικόνα 2.11) διαγράμματος για την περιοχή μελέτης, προκύπτει ότι το διάστημα Οκτωβρίου μέχρι τα μέσα Μαΐου αποτελεί την υγρή περίοδο για την περιοχή της Φλώρινας, ενώ αντίθετα, η περίοδος από τα μέσα Μαΐου, μέχρι και τον Σεπτέμβριο είναι η ξηρή περίοδος.



Εικόνα 2.11. Ομβροθερμικό διάγραμμα για την περιοχή της Φλώρινας.

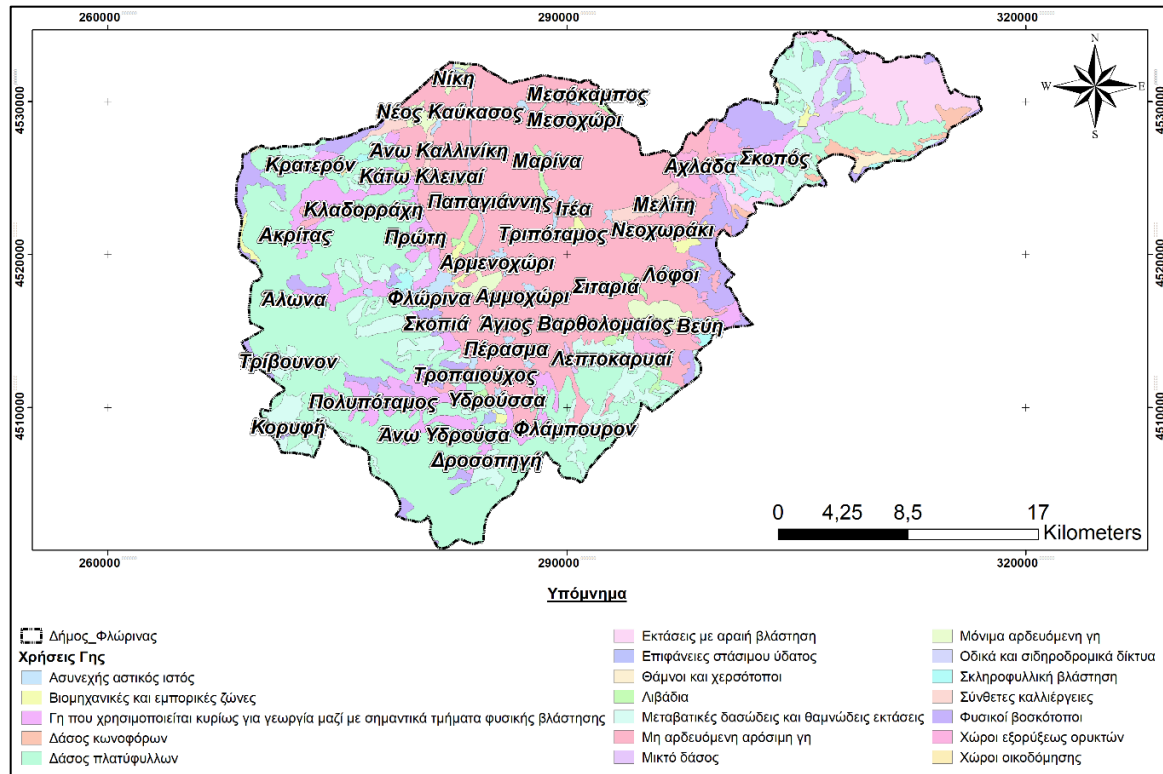
Το μεγαλύτερο ποσοστό της διεύθυνσης πνοής του ανέμου στην περιοχή της Φλώρινας σημειώνει ο Βοράς, με την ένταση του να κυμαίνεται από 2,1 Knots, τους χειμερινούς μήνες έως και περίπου 4,4 Knots, τον Ιούνιο.

Τέλος η υγρασία του ανέμου καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου το ποσοστό της υγρασίας, παραμένει υψηλό, με τιμές περίπου 81,7 % τον Δεκέμβριο και 55,4 % τον Ιούλιο.

2.5 Χρήσεις γης

Με βάση τα δεδομένα κάλυψης γης Corine (Εικόνα 2.12), στην περιοχή του Δήμου Φλώρινας, το μεγαλύτερο ποσοστό καταλαμβάνεται από εκτάσεις μη αρδευόμενης αρόσιμης γης με έκταση περίπου 280 Km² και ακολουθούν τα δάση πλατύφυλλων στις

περιοχές των ορεινών όγκων με έκταση 245 Km². Μικρότερα ποσοστά καταλαμβάνουν εκτάσεις που αποτελούνται από μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις περιοχές αλλά και από καλλιεργούμενη γη.



Εικόνα 2.12. Χρήσεις γης στον Δήμο Φλώρινας.

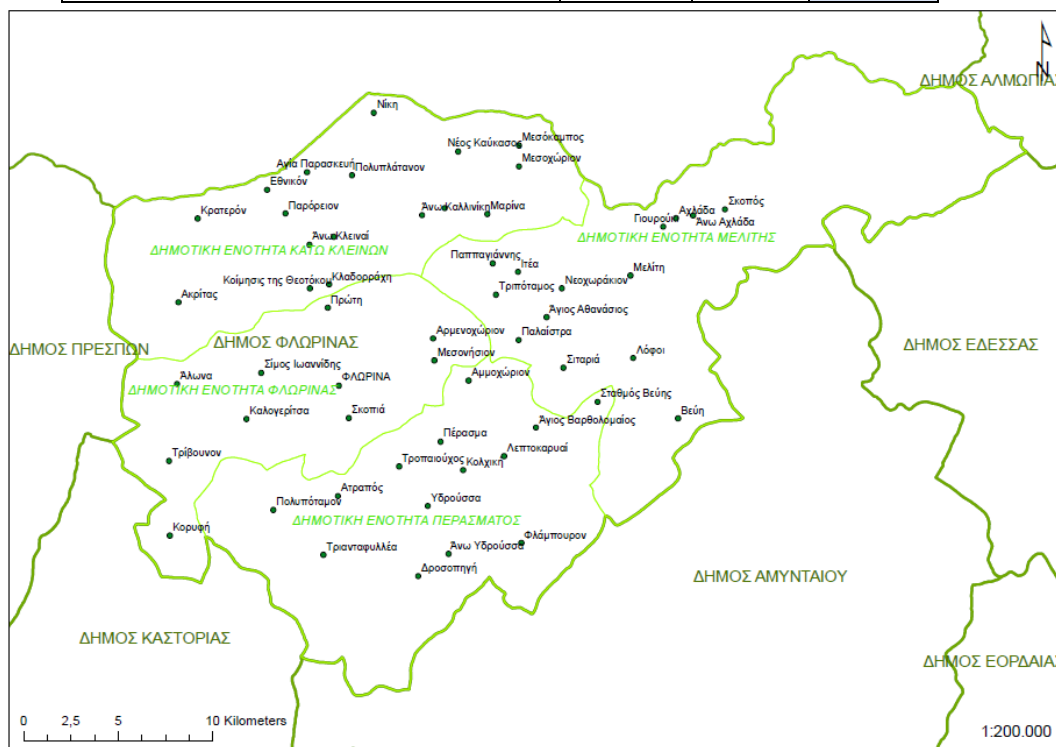
Οι κύριες καλλιέργειες στην περιοχή, θα μπορούσαν να διαχωριστούν σε δυο κατηγορίες, η πρώτη περιλαμβάνει τριφύλλι, καλαμπόκι, ηλιόσπορο, ελαιοκράβη, κηπευτικά και πατάτες που χαρακτηρίζονται ως υδροβόρες καλλιέργειες, ενώ η δεύτερη με φυτά, όπως σιτάρι, μύρτιλλα, κερασιές και καρυδιές, χαρακτηρίζεται ως μη υδροβόρα.

2.6 Δημογραφικά στοιχεία

Με βάση την πιο πρόσφατη απογραφή του 2021, ο πληθυσμός της Περιφερειακής Ενότητας Φλώρινας, ανέρχεται σε 50.921, παρατηρείται μείωση των κατοίκων σε σχέση με τους αριθμούς που καταγράφηκαν το 2011, 2001 και 1991, καθώς αυτοί ήταν 51.414, 54.751 και 53.147, αντίστοιχα. Παρατηρείται μια σταδιακή μείωση του πληθυσμού από το 2001 και έπειτα, πιθανότατα ως αποτέλεσμα της οικονομικής κρίσης, αλλά και της γενικότερης μείωσης του πληθυσμού στην χώρα, καθώς στη δεκαετία 2011 – 2021 μειώθηκε κατά 3,1% (πηγή: ΕΛΣΤΑΤ). Στον (Πίνακα 2.4), παρουσιάζεται η κατανομή του πληθυσμού του Δήμου, στις τέσσερις δημοτικές ενότητες που τον συγκροτούν.

Πίνακας 2.4. Πληθυσμιακή κατανομή του Δήμου Φλώρινας, στις επιμέρους Δ.Ε.

ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	2001	2011	2021
ΦΛΩΡΙΝΑΣ	16.756	19.985	17.086
ΚΑΤΩ ΚΛΕΙΝΩΝ	3.963	2.735	3.068
ΜΕΛΙΤΗΣ	7.038	5.927	6.254
ΠΕΡΑΣΜΑΤΟΣ	5.510	4.234	4.681
ΣΥΝΟΛΟ ΔΗΜΟΥ ΦΛΩΡΙΝΑΣ	33.267	32.881	31.089



Εικόνα 2.13. Δημοτικές ενότητες του Δήμου Φλώρινας.

2.6 Υδατικές ανάγκες – Ύδρευση

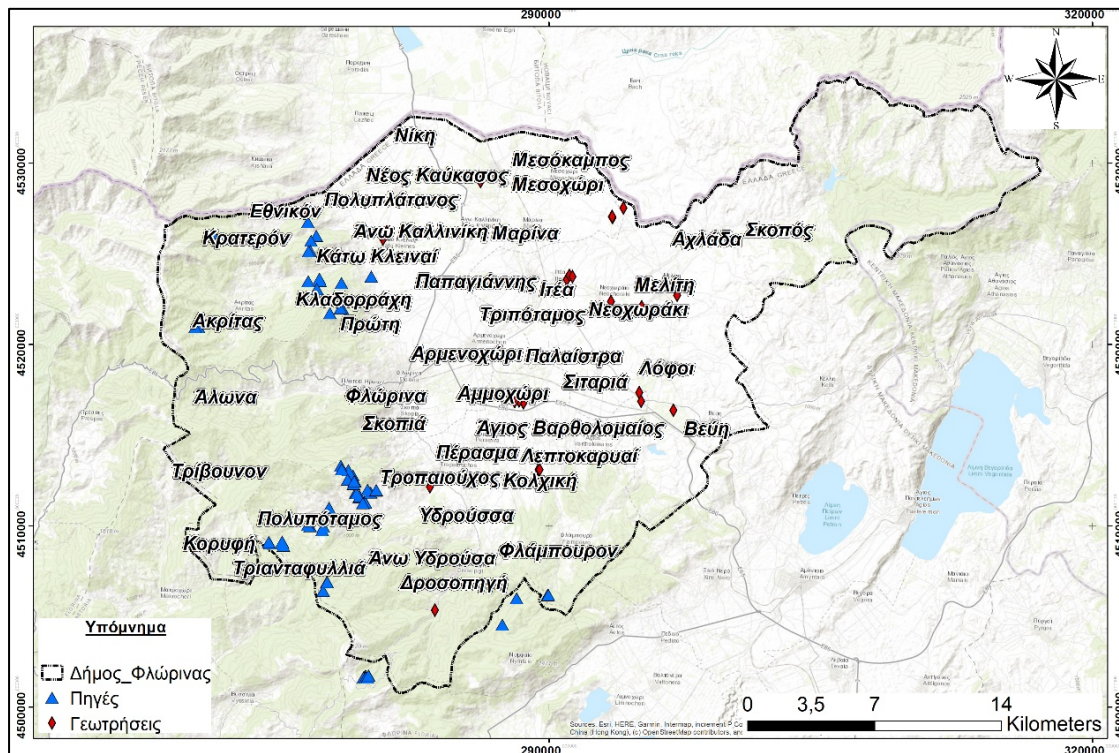
Ο Δήμος Φλώρινας, ο οποίος ανήκει στην Λεκάνη Απορροής Ποταμού (ΛΑΠ) Πρεσπών, από το 2010 και την εκπόνηση του προγράμματος Καλλικράτης, η διαχείριση της ύδρευσης και της αποχέτευσης, της ευρύτερης περιοχής υπάγεται στην Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Φλώρινας (Δ.Ε.Υ.Α.Φ.).

Η κάλυψη των υδρευτικών αναγκών του Δήμου Φλώρινας, γίνεται από την αξιοποίηση των νερών του Βερμίου, από το 1985 λειτουργεί στον οικισμό Δροσοπηγή διυλιστήριο με δυναμικότητα περίπου 5.000 m³/ημέρα. Στην κάλυψη των αναγκών συμβάλλουν συμπληρωματικά και πηγαία νερά από το Βίτσι.

Γενικότερα, η πόλη της Φλώρινας λόγω των υψηλών αναγκών αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα υδροδότησης. Η κατασκευή του φράγματος Τριανταφυλλιάς το οποίο ολοκληρώθηκε το 2016, έχει σκοπό να συμβάλλει στην αντιμετώπιση του προβλήματος, ωστόσο το φράγμα δεν έχει τεθεί σε λειτουργία, καθώς δεν έχουν κατασκευαστεί το διυλιστήριο και ο αγωγός που θα συνδέει το φράγμα με τις δεξαμενές στην Φλώρινα. Ο

ωφέλιμος όγκος του ταμειευτήρα ανέρχεται στα $9,5 \times 10^6 \text{ m}^3$, και η ετήσια απόληψη νερού για την κάλυψη των αναγκών θα είναι $2 \times 10^6 \text{ m}^3$, ποσότητα που αντιστοιχεί σε 5.470 m^3 ημερησίως.

Στην απογραφή των υδροληπτικών σημείων που έγινε από το Εργαστήριο τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του ΑΠΘ, καταγράφηκαν συνολικά 41 πηγές και 100 γεωτρήσεις που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των υδατικών αναγκών του Δήμου Φλώρινας (Εικόνα 2.14).



Εικόνα 2.14. Καταγεγραμμένα σημεία υδροληψίας.

2.7 Υδρολογικό ισοζύγιο

Το υδρολογικό ισοζύγιο μέσα από τις φυσικές διαδικασίες της βροχόπτωσης, της εξάτμισης, της απορροής αλλά και της κατείσδυσης, ρυθμίζει την κατανομή και τα αποθέματα νερού σε μια λεκάνη απορροής. Η σύνταξη του ισοζυγίου είναι απαραίτητη σε υδρογεωλογικές εφαρμογές και τεχνικά έργα. Η συνηθέστερη μορφή του είναι η εξής:

$$P = E + R + I$$

όπου P = τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

E = η πραγματική εξατμισοδιαπνοή

R = η επιφανειακή απορροή

I = η κατείσδυση

Στην παρούσα εργασία το υδρολογικό ισοζύγιο υπολογίστηκε για τον Δήμο Φλώρινας με έκταση **820,19 Km²**, ενώ το υδρολογικό έτος καθορίστηκε από τον Οκτώβριο έως το Σεπτέμβριο του επόμενου έτους.

2.7.1 Όγκος Βροχόπτωσης *P*

Η βροχόπτωση αποτελεί βασικό παράγοντα του υδρολογικού κύκλου, καθώς βάση αυτής, το νερό της ατμόσφαιρας φτάνει στην επιφάνεια. Με βάση την εξίσωση της βροχοβαθμίδας $P = 0,635 \cdot h + 112,25$ που υπολογίστηκε στην παράγραφο 2.4.2 και τη χρήση λογισμικού GIS, καθορίστηκαν οι ισοϋετείς καμπύλες και η επιφάνεια ανάμεσά τους.

2.7.2 Εξατμισοδιαπνοή *E*

Η εξατμισοδιαπνοή, αποτελεί την αντίστροφη διαδικασία της βροχόπτωσης καθώς μέσα από τη διεργασία αυτή, το νερό επιστρέφει στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση αφορά το νερό το οποίο με τη μορφή υδρατμών ανέρχεται στην ατμόσφαιρα από υδάτινες επιφάνειες, ενώ η διαπνοή αφορά τις διαδικασίες με τις οποίες το νερό επιστρέφει σε αέρια μορφή μέσα από τις λειτουργίες των φυτών.

Διακρίνεται σε πραγματική και δυνητική, με την τελευταία να εκφράζει τις απώλειες νερού που θα εξατμιζόνταν και θα χρησιμοποιούσαν τα φυτά αν τα αποθέματα νερού ήταν επαρκή για να αντισταθμίσουν τις απώλειες. Αποτελεί κλιματικό δείκτη και οριοθετεί την εξατμισοδιαπνοή σε μια περιοχή, αν υποθέσουμε ότι η τροφοδοσία του νερού κάλυπτε τις απώλειες της διαπνοής και της εξάτμισης (Βουδούρης, 2017).

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή ρυθμίζεται από αρκετούς παράγοντες με κυριότερους : τη θερμοκρασία εδάφους και αέρα, την υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου, την ηλιακή ακτινοβολία, την κάλυψη του εδάφους από φυτά και το είδος αυτών, το πορώδες των σχηματισμών και την κοκκομετρική διαβάθμιση του εδάφους.

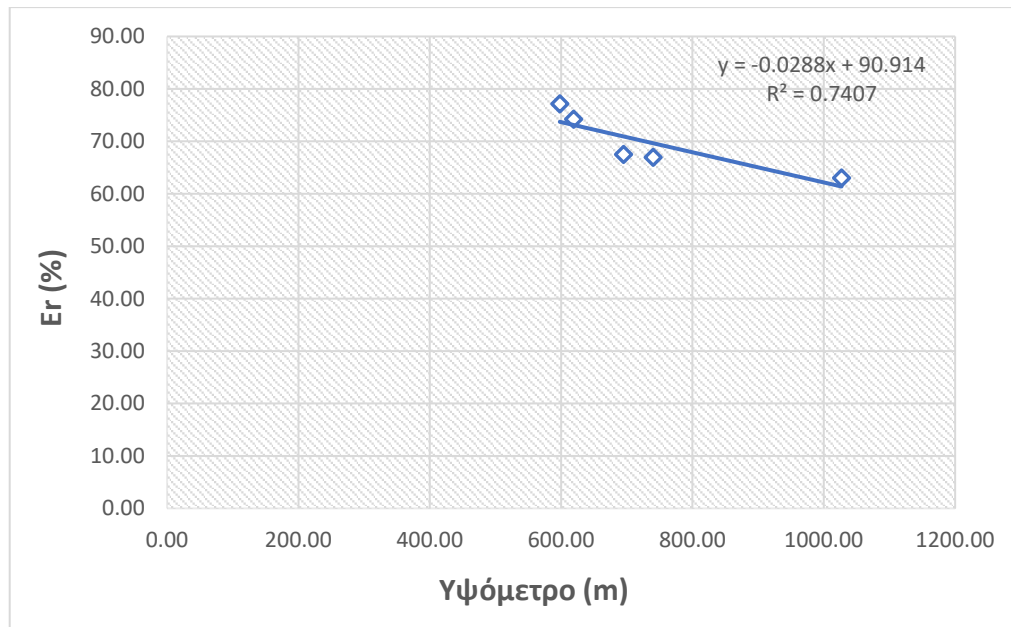
Για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής στον Δήμο Φλώρινας, χρησιμοποιήθηκαν τόσο τα βροχομετρικά δεδομένα που αναλύθηκαν παραπάνω, όσο και δεδομένα θερμοκρασίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι καταγραφές της θερμοκρασίας, είναι περιορισμένες, με αποτέλεσμα να υπάρχουν πιθανές διαφοροποιήσεις στην υπολογισμένη εξατμισοδιαπνοή με την πραγματικότητα. Στον **πίνακα 2.5** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμένων τιμών της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής με την μέθοδο Thornthwaite – Mather.

Πίνακας 2.5. Πραγματική εξατμισοδιαπνοή (*Er*).

Σταθμός	Βροχόπτωση	<i>Er</i>	Υψόμετρο	<i>Er</i> (%)
Τροπαιούχος	600,01	405,04	695,00	67,51
Φλώρινα	570,01	423,04	619,00	74,22
Βαρικό	701,13	469,32	740,00	66,94
Λιμνοχώρι	492,54	379,90	598,00	77,13
Δροσοπηγή	727,80	* 458	1027,00	*63

* Περιορισμένος αριθμός θερμοκρασιακών δεδομένων, τιμή κατ' εκτίμηση.

Με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκε η εξίσωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής με το υψόμετρο. Όπως παρουσιάζεται στην (Εικόνα 2.15), η κλίση της ευθείας είναι 2,8 %, δηλαδή ανά 100 μέτρα μείωσης του υψομέτρου η εξατμισοδιαπνοή μειώνεται κατά περίπου 3%, και πράγματι οι τιμές που αναμένουμε στον ελληνικό χώρο κυμαίνονται στο 2-4 (%) (Βουδούρης, 2017).



Εικόνα 2.15. Μεταβολή του συντελεστή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής σε σχέση με το υψόμετρο στον Δήμο Φλώρινας.

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή για τον Δήμο Φλώρινας υπολογίστηκε ξεχωριστά για κάθε 100 m υψομέτρου και έπειτα η συνολική, η οποία αντιστοιχεί σε $346,42 \times 10^6 \text{ m}^3$, από τον συνολικό όγκο της βροχόπτωσης ο οποίος είναι $590,12 \times 10^6 \text{ m}^3$, δηλ. το 58,7 % των κατακρημνισμάτων λαμβάνει μέρος στη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής (πίνακας 2.7).

2.7.3 Κατείσδυση I

Η κατείσδυση αποτελεί τον βασικότερο παράγοντα τροφοδοσίας των υπόγειων υδροφορεών, καθώς χάρη σε αυτήν ανανεώνονται τα αποθέματα τους. Η κατείσδυση ως φυσική διαδικασία μπορεί να εκφραστεί με τον συντελεστή κατείσδυσης, ο οποίος αντιπροσωπεύει το ποσοστό του νερού που κατεισδύει από το σύνολο των κατακρημνισμάτων.

$$\text{Συντελεστής κατείσδυσης (\%)} = \frac{I}{P} * 100$$

Οι τιμές του συντελεστή κυμαίνονται από 3 έως 60% και έχουν άμεση σχέση με την λιθολογία και την κοκκομετρία των σχηματισμών. Οι μικρότερες τιμές εντοπίζονται σε πετρώματα, όπως οι γνεύσιοι, οι φυλλίτες, ο φλύσχης, οι σχιστόλιθοι, τα ηφαιστειακά πετρώματα, ενώ μεγαλύτερες τιμές σε ανθρακικά πετρώματα, ανάλογα πάντα και με τον

βαθμό καρστικοποίησης. Στον (πίνακα 2.6), παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή ανάλογα με την λιθολογία στην περιοχή μελέτης.

Γενικότερα σε μία λεκάνη απορροής, με διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς, υπολογίζεται ένας μέσος συντελεστής κατείσδυσης μέσα από την εξίσωση :

$$I_{\mu} = \frac{I_1 * E_1 + I_2 * E_2 + \dots I_n}{E_{ολ}}$$

όπου I_{μ} = ένας μέσο συντελεστής κατείσδυσης της λεκάνης.

$E_1, E_2, \dots E_n$ = Το εμβαδόν των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής.

$I_1, I_2, \dots I_n$ = Ο συντελεστής κατείσδυσης του εκάστοτε γεωλογικού σχηματισμού.

$E_{ολ}$ = Το συνολικό εμβαδόν της λεκάνης.

Πίνακας 2.6. Συντελεστής κατείσδυσης για την περιοχή έρευνας.

Γεωλογικός σχηματισμός	Εμβαδόν (Km ²)	Συντελεστής κατείσδυσης	Χαρακτηρισμός	Εμβαδόν * Συντελεστής κατείσδυσης
<i>Pt.c,s</i>	97,01	20,00	Κροκαλοπαγή ψαμμίτες άμμοι άργιλοι	1940,12
<i>el</i>	0,71	15,00	Ελουβιακός μανδύας	10,71
<i>Tm-Ji.k.d</i>	30,94	50,00	Ημικρυσταλλικοί Ασβεστόλιθοι	1547,25
<i>al</i>	202,55	20,00	Αλλουβιακές αποθέσεις	4051,06
<i>Pt.c</i>	1,82	25,00	Κροκαλοπαγή	45,54
<i>H.c</i>	3,71	22,00	Σύγχρονες προσχώσεις	81,61
<i>Ng</i>	91,69	20,00	Άμμοι άργιλοι και κροκαλοπαγή	1833,89
<i>Pz,gn</i>	200,83	7,00	Γνεύσιοι	1405,79
<i>Pt.t</i>	5,46	15,00	Χερσαίες αναβαθμίδες	81,87
<i>γl</i>	63,02	8,00	Γρανίτης	504,13
<i>Q.sc,cs</i>	6,43	22,00	Πλευρικά κορήματα	141,47
<i>Pz,gnl</i>	0,96	8,00	Γρανιτογνεύσιοι	7,66
<i>σ</i>	3,80	6,00	Σερπεντίνης	22,78
<i>Pz,sch</i>	10,25	5,00	Σχιστόλιθοι	51,27
<i>Pz,sch</i>	101,01	7,00	Σχιστόλιθοι – Γνεύσιοι του όρους Βόρα	707,07
Σύνολο	820,19	-	-	12432,22
			I_{μ} (%)	15,16

Προκύπτει δηλαδή ότι το 15,16% του συνολικού όγκου της βροχόπτωσης στην έκταση του Δήμου, μέσα από τη διαδικασία της κατείσδυσης εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς. Συγκεκριμένα αν πολλαπλασιάσουμε τον όγκο των κατακρημνισμάτων με το 0,15, προκύπτει: $0,15 \times 590,12 \times 10^6 \text{ m}^3 = 89,46 \times 10^6 \text{ m}^3$ ο όγκος του νερού που κατεισδύει.

2.7.4 Επιφανειακή απορροή Q

Η επιφανειακή απορροή εκφράζει την διαδικασία με την οποία το νερό της βροχόπτωσης απορρέει επιφανειακά μέσα από υδατορεύματα και τα ποτάμια, καταλήγει συνήθως στη θάλασσα ή σε λίμνες. Αντίστοιχα ο συντελεστής απορροής, αντιπροσωπεύει το ποσοστό εκείνο, των κατακρημνισμάτων το οποίο λαμβάνει μέρος στην επιφανειακή απορροή.

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την απορροή είναι το κλίμα της περιοχής, η γεωμορφολογία της περιοχής, οι χρήσεις γης, ο κορεσμός του εδάφους και ο λιθολογικός τύπος (Βουδούρης, 2017). Συνήθως ο συντελεστής απορροής είναι μεγάλος (25 -45%) σε αδιαπέρατα πετρώματα με μικρό συντελεστή κατείσδυσης, όπως οι μάργες, ο φλύσχης ο γνεύσιος, ο γρανίτης, οι αργιλικοί σχιστόλιθοι κ.α. Μικρότερο συντελεστής απορροής εμφανίζουν οι ασβεστόλιθοι, περίπου 1-12% (εξαρτάται από το βαθμό καρστικοποίησης), ενώ κάπου ενδιάμεσα κατηγοριοποιούνται οι αλλουβιακές αποθέσεις με συντελεστή 5-30%.

Στην περιοχή μελέτης τα πετρώματα που συναντώνται είναι αρκετά, στο κεντρικό τμήμα του Δήμου εντοπίζονται σχηματισμοί κοκκώδεις, οι οποίοι ευνοούν την κατείσδυση και η απορροή είναι περιορισμένη, αντίθετα οι γύρω ορεινοί όγκοι αποτελούνται κυρίως από μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα τα οποία εμφανίζουν μεγαλύτερο συντελεστή απορροής. Το ποσοστό της επιφανειακής απορροής και κατ' επέκταση ο όγκος του νερού υπολογίστηκαν από την εξίσωση του ισοζυγίου (πίνακας 2.7), καθώς δεν υπάρχουν μετρήσεις της παροχής των ποταμοχειμάρρων.

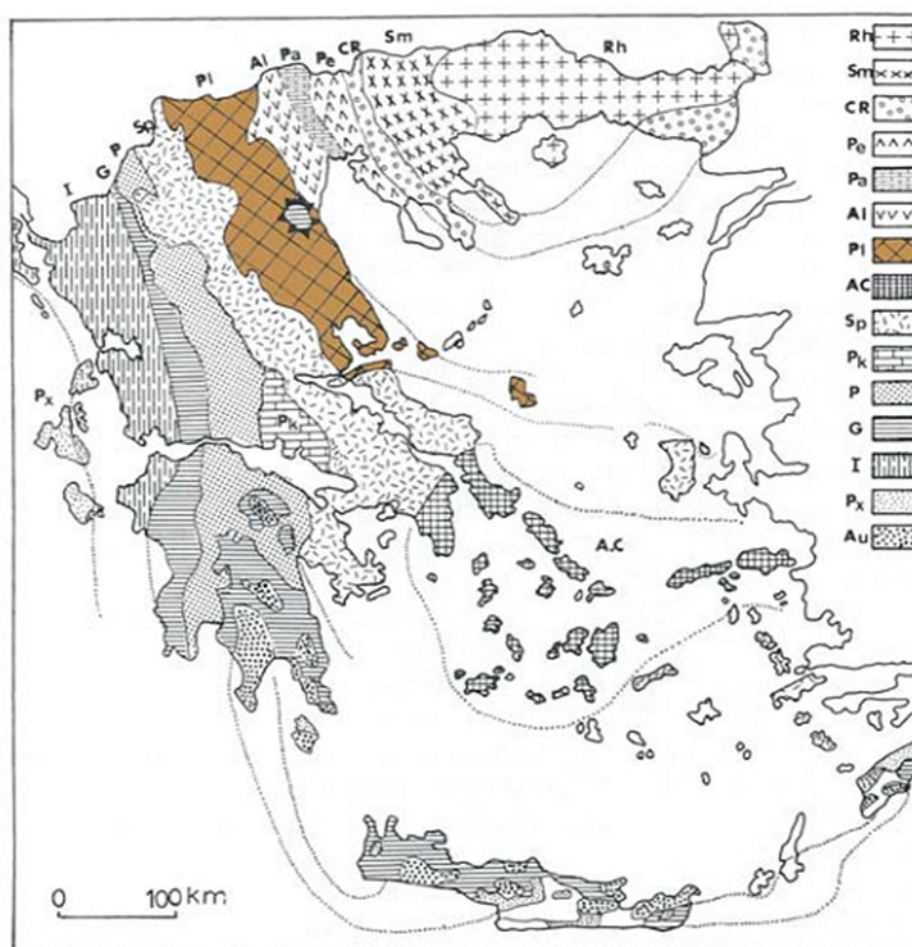
Πίνακας 2.7. Υδρολογικό ισοζύγιο Δήμου Φλώρινας.

	<i>Βροχόπτωση</i>	<i>Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή</i>	<i>Κατείσδυση</i>	<i>Απορροή</i>
<i>x10⁶ m³</i>	590,12	346,42	89,46	154,24
<i>mm</i>	718,73	421,92	108,96	187,85
<i>%</i>	100,00	58,70	15,16	26,14

Κεφάλαιο 3. Γεωλογία και Τεκτονική

3.1 Παλαιογεωγραφία και γεωτεκτονική τοποθέτηση

Η περιοχή μελέτης ανήκει βάσει γεωτεκτονικής στις εσωτερικές Ελληνίδες και πιο συγκεκριμένα στο Βόρειο τμήμα της Πελαγονικής ζώνης. Η ζώνη αυτή αποτελείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, πάνω στα οποία τοποθετήθηκαν με τη μορφή καλύμματος Μεσοζωικά ιζήματα. Για τον λόγο αυτό, χαρακτηρίστηκε από τον Kossmat (1924), ως «Πελαγονική μάζα και το κάλυμμά της».



Εικόνα 3.1. Απεικόνιση των γεωτεκτονικών ζωνών της Ελλάδας. Rh: Μάζα Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική, CR: Περιροδοπική ζώνη, [Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας] = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παζών ή Προαπούλια, Au: Ενότητες «Ταλέα όρη - πλακώδεις ασβεστόλιθοι» πιθανόν της Ιονίου ζώνης (Κατά Mountrakis et al. 1983).

Με τον διαχωρισμό της Ελλάδας σε επιμέρους ζώνες Brun (1956) και Aubin (1957), δόθηκε στην Πελαγονική ο χαρακτήρας του υβώματος που διαχώριζε τις δύο αύλακες, στα Ανατολικά της Αλμωπίας και στα Δυτικά της Πίνδου. Παράλληλα, θεωρήθηκε ότι, η υποθαλάσσια αυτή ράχη, δεν ήταν συνεχής αλλά διακόπτονταν και οι δυο αύλακες επικοινωνούσαν, στην περιοχή της Κοζάνης και της κεντρικής Εύβοιας. Οι δύο αυτές θέσεις θεωρήθηκαν διάυλοι γιατί παρόλο που σε όλη την έκταση της, κατά το Μεσοζωικό, η ζώνη εμφανίζει ιζηματογένεση ανθρακική καθαρά νηριτική στα σημεία αυτά, υπάρχουν πελαγικά ιζήματα μαζί με οφειολιθικές μάζες.

Πιο πρόσφατες απόψεις, παρουσιάζουν την Πελαγονική ως τμήμα της Κιμμερικής ηπείρου, που αποτέλεσε μέρος της Gondwana και αποσπάστηκε από αυτήν. Εκατέρωθεν του ηπειρωτικού αυτού τεμάχους, υπήρξαν δύο ωκεάνιες περιοχές, χαρακτηρισμός που έχει δοθεί στην ζώνη Αξιού και στην Υποπελαγονική. Οι δύο τοποθεσίες που σημειώθηκαν παραπάνω και όπου τα πετρώματα διαφοροποιούνται, αποτελούν θέσεις στις οποίες, οι οφειολιθικές μάζες και τα συνοδά ιζήματα, τα οποία επωθήθηκαν από τις δύο ωκεάνιες περιοχές διατηρούνται.

Η Πελαγονική ζώνη η οποία ξεκινάει από τα σύνορα με την Βόρεια Μακεδονία και εκτείνεται με διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ, μέχρι και την Εύβοια όπου κάμπτεται προς τις Σποράδες, καταλαμβάνει τους τρεις κύριους ορεινούς όγκους της περιοχής μελέτης (Βόρας, Βέρνο, Βέρμιο), αλλά και άλλα βουνά της Ελλάδας, όπως ο Όλυμπος, τα Πιέρια και το Πήλιο.

3.2 Λιθοστρωματογραφική εξέλιξη

Η ζώνη αποτελείται από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, γνευσιωμένους γρανίτες, τα ηλικίας Περμίου – Τριαδικού ημιμεταμορφωμένα πετρώματα, τα δύο ανθρακικά καλύμματα ηλικίας Τριαδικού – Ιουρασικού, από οφειόλιθους και επικλυσιγενή ιζήματα ηλικίας Άνω Κρητιδικού.

3.2.1 Το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο

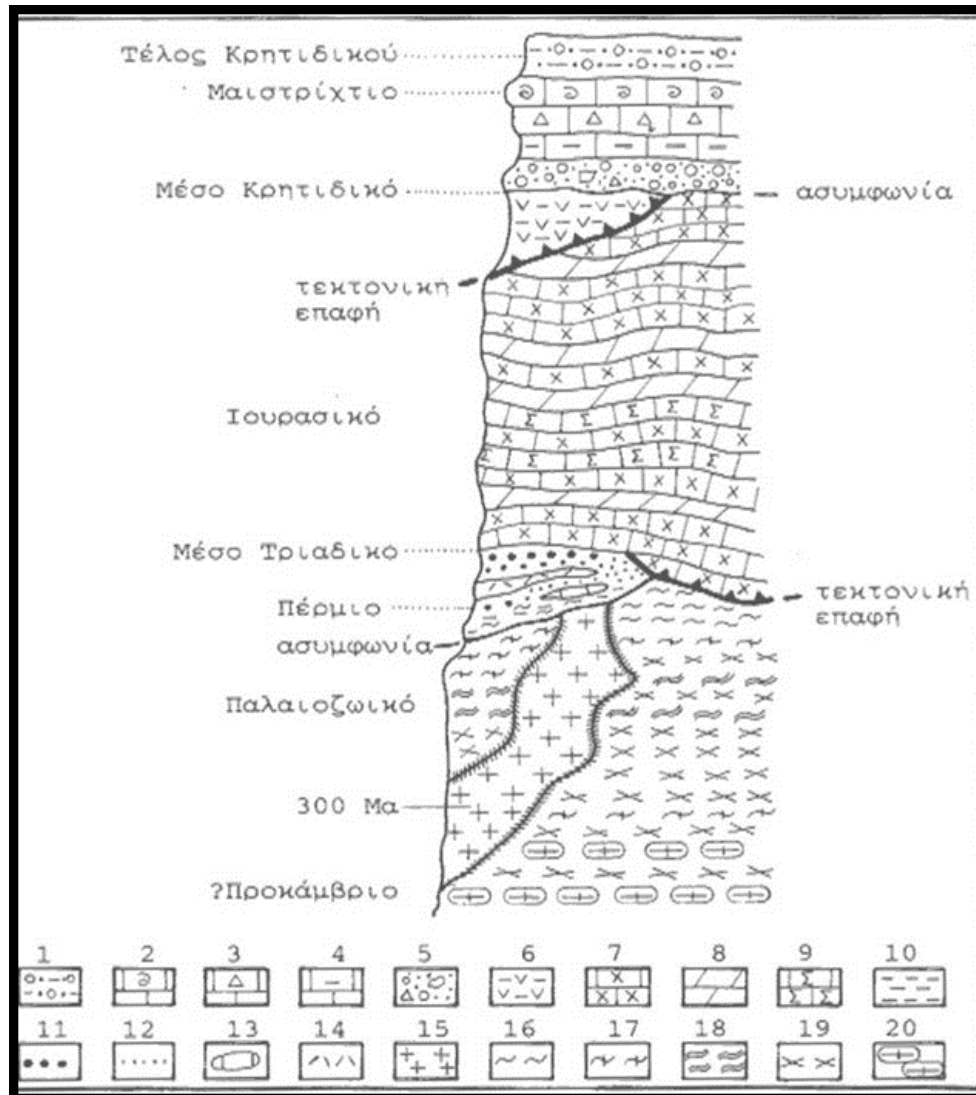
Τα κρυσταλλικά πετρώματα, τα οποία αποτελούν σημαντικό μέρος της Πελαγονικής ζώνης, έχουν ευρεία εξάπλωση. Στις διάφορες περιοχές, το υπόβαθρο δεν είναι ενιαίο και ομογενές, αλλά διαμορφώνεται από διάφορες ενότητες πετρωμάτων με την μορφή τεκτονικών λεπιών. Ενότητες όπως αυτές, συναντώνται στους ορεινούς όγκους που καταλαμβάνει η ζώνη (Βόρας, Βέρνο, Πιέρια).

Οι ενότητες αυτές αποτελούν ακολουθία ενός κοινού υποβάθρου, έχουν παρόμοια λιθολογία και σχηματίστηκαν κάτω από τις ίδιες συνθήκες κατά το Παλαιοζωικό. Η Λιθοστρωματογραφική τους ακολουθία από τους παλαιότερους ορίζοντες προς τους νεότερους είναι η εξής:

- Βιοτιτικοί γνεύσιοι οφθαλμοειδείς, ορθό-προέλευσης
- Μιγματιτικοί γνεύσιοι
- Γνεύσιοι ταινιωτοί, μοσχοβιτικοί παρά- προέλευσης
- Βιοτιτικοί και Αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι
- Γρανατούχοι διμαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι

- Εναλλαγές μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων, με αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους και επιδοτιτικοί σχιστόλιθοι με παρεμβολές απλιτογενευσίων

Το κρυσταλλοσχιστώδες αυτό υπόβαθρο, υπέστη κατά το Παλαιοζωικό – Άνω Λιθανθρακοφόρο μια πρώτη μεταμόρφωση αμφιβολιτικής φάσης.



Εικόνα 3.2. Συνοπτική λιθοστρωματογραφική- τεκτονική στήλη της Πελαγονικής ζώνης (Μουντράκης, 1985). 1 - 5: Επικλυσιογενή ιζήματα Μέσου - Άνω Κρητιδικού. 1: Φλύσχης Άνω Μαιστριχτίου- Κάτω Παλαιοκαίνου, 2: ασβεστόλιθος Μαιστριχτίου, 3: μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι, 4: μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 5: κροκαλο- λατυποπαγή της βάσης, 6: οφειόλιθοι και συνοδά πελαγικά ιζήματα. 7-9: πετρώματα των δύο ανθρακικών καλυμμάτων Τριαδικού- Ιουρασικού, 7: κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, 8: δολομίτες, 9: σιπολίνες, 10-14: πετρώματα της μετακλαστικής σειράς Περμίου- Κάτω Τριαδικού, 10: μετα-πेलίτες, φυλλίτες, 11: χαλαζιάκαμετα- κροκαλοπαγή, 12: μετα- ψαμμίτες, μετα--αρκόζες, 13: φακοί ασβεστολίθων, 14: μετα-ρνόλιθοι, μετα-τόφοι, 15: γενευσιομένοι γρανίτες Άνω Λιθανθρακοφόρου, 16-20: πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου Παλαιοζωικής ή και προ. - Κάμβριας ηλικίας, 16: σχιστόλιθοι (χλωριτικοί, μαρμαρυγιακοί, αμφιβολιτικοί, επιδοτιτικοί), 17: διμαρμαρυγιακοί γρανατούχοι σχιστόλιθοι, 18: αμφιβολίτες, 19: γενέσιιοι, 20: οφθαλμογενέσιιοι.

3.2.2 Γνευσιωμένοι πλουτωνίτες

Σε πολλά σημεία της Πελαγονικής, παρατηρούνται εμφανίσεις πλουτωνικών πετρωμάτων, αποτελούμενες από γρανίτες και χαλαζιακούς μονζονίτες με χαρακτηριστικούς κρυστάλλους αστρίων. Τα πλουτωνικά αυτά πετρώματα αποτελούν μαγματικές διεισδύσεις στο υπόβαθρο που έγιναν κατά το Άνω Λιθανθρακοφόρο και συνοδεύονται από μεταμόρφωση επαφής στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο. Επειδή, οι γρανίτες αυτοί κατά το Άνω Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό υπέστησαν την αλπική μεταμόρφωση σε συνθήκες χαμηλής πρσινοσχιστολιθικής φάσης, χαρακτηρίζονται ως γνευσιωμένοι. Τέλος, στην Πελαγονική παρατηρούνται ζώνες μυλονιτωμένων πετρωμάτων, εξαιτίας της τεκτονικής που έχει δεχτεί.

3.2.3 Περμοτριάδικές μετακλαστικές ακολουθίες

Επάνω στο κρυσταλλικό υπόβαθρο και τους πλουτωνίτες του Άνω Λιθανθρακοφόρου, αποτέθηκε μια μετα-κλαστική ακολουθία με πάχος περίπου 200m, μέσα στην ακολουθία εμφανίζονται παρεμβολές ηφαιστειακών υλικών, όξινων και βασικών λαβών, αλλά και τόφφων. Η ακολουθία αυτή που αποτέθηκε κατά το Πέρμιο και Κάτω Κρητιδικό, μεταμορφώθηκε κατά το Άνω Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό σε πρσινοσχιστολιθικές συνθήκες. Τα κυριότερα πετρώματα της είναι : φυλλίτες, μετά-πελίτες, μετά-αρκόζες , σερικιτικοί και χλωριτικοί σχιστόλιθοι, μετα-ψαμμίτες, χαλαζιακά μετα-κροκαλοπαγή, ασβεστόλιθοι ανακρυσταλλωμένοι και λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι, ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, μετα-ρυόλιθοι, μετα-βασάλτες και μετά-τόφφοι.

3.2.4 Ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού – Ιουρασικού

Η ιζηματογένεση στην Πελαγονική ζώνη κατά την διάρκεια Τριαδικού – Ιουρασικού είναι νηριτική, ανθρακική. πρόκειται για ιζηματογένεση ηπειρωτικής πλατφόρμας. Το ανθρακικό κάλυμμά δεν είναι ενιαίο, αλλά αποτελείται από δύο χωριστά καλύμματα που αποτέθηκαν στο ανατολικό και δυτικό όριο της ζώνης. Το δυτικό κάλυμμα το οποίο αποτέθηκε πάνω στην μετακλαστική ακολουθία από το Μέσο Τριαδικό μέχρι και το Άνω Ιουρασικό, είναι αυτόχθονο και αποτελείται από ασβεστόλιθους ανακρυσταλλωμένους με πάχος 600 – 800m. Το κάλυμμα αυτό, εμφανίζει βαθμιαία διαφοροποίηση των συνθηκών ιζηματογένεσης προς τα δυτικά από νηριτικές σε ημιπελαγικές – πελαγικές συνθήκες που υποστηρίζει την θεωρία ύπαρξης ενός βαθύτερου χώρου στα δυτικά της ζώνης.

Το ανατολικό κάλυμμα, χαρακτηρίζεται ως πάρα – αυτόχθονο, καθώς αποτέθηκε στο ανατολικό περιθώριο της Πελαγονικής, και επωθήθηκε αργότερα δυτικά, επάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Πελαγονικής. Η θέση του καλύμματος είναι αυτή που βρίσκεται σήμερα, ενώ ενδιάμεσα δεν εντοπίζεται η ιζηματογενής ακολουθία. Το ανατολικό κάλυμμα, συγκροτείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μάρμαρα, δολομίτες και σιπολίνες.

Κατά το Άνω Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό και τα δύο καλύμματα μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες χαμηλής πρσινοσχιστολιθικής φάσης, παρόμοια με αυτή των Περμοτριάδικων ιζημάτων.

3.2.5 Οφειόλιθοι και συνοδά ιζήματα

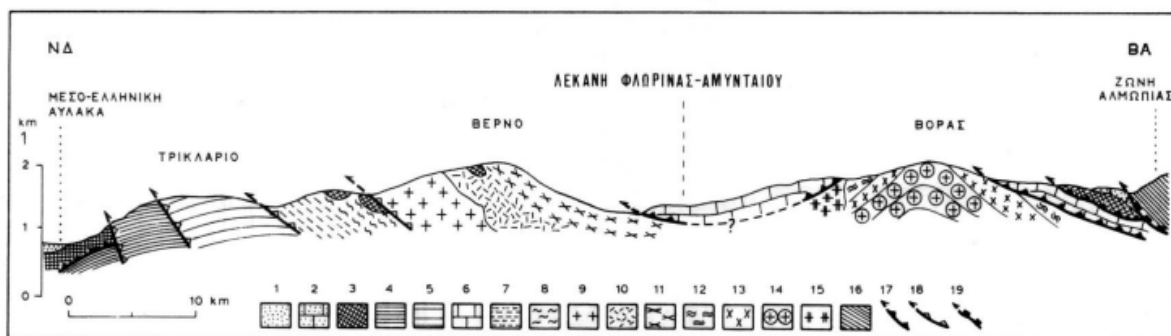
Οι κυριότερες οφειολιθικές μάζες της Πελαγονικής, εμφανίζονται στα δύο όρια της ζώνης και κατά θέσεις στο εσωτερικό της. Οι μάζες αυτές είναι αλλόχθονες και προέρχονται από τις δύο ωκεάνιες περιοχές εκατέρωθεν της. Στην περιοχή της Κοζάνης και κυρίως στο όρος Βούρινος εμφανίζονται οι μεγάλες οφειολιθικές μάζες που αντιστοιχούν στον διάυλο και επωθήθηκαν πάνω στην Πελαγονική.

Τα συνοδά ιζήματα αποτελούνται από ραδιολαριτικούς κερατόλιθους, αργλικούς σχιστόλιθους και κλαστικά ιζήματα, ενώ από την ανάμειξη ανθρακικών τεμαχών με τους οφειολίθους, παρατηρούνται και τεκτονικά οφειολιθικά μίγματα (melanges).

3.2.6 Επικλυσγενή ιζήματα

Τα ιζήματα αυτά τοποθετήθηκαν ασύμφωνα με την Άνω Κρητιδική επίκλυση είτε επάνω στα ανθρακικά πετρώματα Τριαδικοϊουρασιακής ηλικίας είτε επάνω στους οφειόλιθους και τα συνοδά ιζήματα. Χαρακτηριστικά ιζήματα της Μέσο – Άνω Κρητιδικής επίκλυσης από τα παλαιότερα προς τα νεότερα είναι :

- Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, μικρολατυποπαγή και κροκαλοπαγή ηλικίας Κενομανίου – Τουρωνίου.
- Ασβεστόλιθοι Μικρολατυποπαγείς Σαντωνίου –Καμπανίου
- Ασβεστόλιθοι με χαρακτηριστικά απολιθώματα Orbitoides, ηλικίας Μαιστριχτίου
- Φλύσχης ασβεστιτικός, που μεταπίπτει σε ασβεστοπηλινικό-ψαμμιτικό και καταλήγει σε πηλινικό- κροκαλοπαγή, ηλικίας Άνω Μαιστριχτίου - Παλαιοκαίνου.



Εικόνα 3.3. Σχηματική γεωλογική τομή Βορείας Πελαγονικής ζώνης στην οποία φαίνονται οι ενότητες Βόρα και Βέρνου. 1) μολάσση της Μεσοελληνικής αύλακας, 2) Άνω Κρητιδικά επικλυσγενή ιζήματα, 3) οφειόλιθοι και συνοδά ιζήματα, 4) ιζήματα Υποπελαγονικής ζώνης, 5) ανθρακικό κάλυμμα Δυτικού Πελαγονικού περιθωρίου, 6) ανθρακικό κάλυμμα Ανατολικού Πελαγονικού περιθωρίου, 7 και 8) μετακλαστικά ιζήματα Περιοτριάδικού, 9) γνευσιωμένοι γρανίτες, 10 και 11) κρυσταλλοσχιστώδεις υπόβαθρο Βέρνου, 12-15) κρυσταλλοσχιστώδεις υπόβαθρο Βόρα, 16) λείπια Αλμωπίας, 17) επωθήσεις Ανώτερου Ιουρασιακού – Κάτω Κρητιδικού, 18) επωθήσεις – επιπτεύσεις Τριτογενούς, 19) επώθηση ζώνης Αλμωπίας (κατά Μουντράκη 1983) .

3.3 Μεταμόρφωση – Τεκτονική

3.3.1 Συνθήκες μεταμόρφωσης

Στη Πελαγονική διαχωρίζονται δύο μεταμορφικές φάσεις. Η πρώτη συνέβη κατά το Παλαιοζωικό επηρεάζοντας το κρυσταλλικό υπόβαθρο σε συνθήκες κάτω πρασινοσχιστολιθικής φάσης μέχρι και άνω αμφιβολιτικής. Η δεύτερη που χαρακτηρίζεται ως αλπική μεταμόρφωση, έγινε κατά το Ανώτερο Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικές επηρεάζοντας το ήδη μεταμορφωμένο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο (ανάδρομη μεταμόρφωση). Επιπλέον, η δεύτερη αυτή μεταμόρφωση, επηρέασε τους γρανίτες ηλικίας Άνω Λιθανθρακοφόρου, τις μετακλαστικές ακολουθίες Περμοτριάδικης ηλικίας και τα δύο ανθρακικά καλύμματα Τριαδικοϊουρασικής ηλικίας. Τέλος, κατά θέσεις παρατηρούνται συνθήκες μεταμόρφωσης υψηλών πιέσεων (γλαυκοφανιτική φάση), που συνδέονται με τις επωθήσεις.

3.3.2 Τεκτοορεγενετική εξέλιξη

Τα πετρώματα τα οποία αποτελούν το υπόβαθρο της Πελαγονικής, έχουν υποστεί τρεις κύριες παραμορφωτικές φάσεις.

1^η φάση, Ερκύνιας ηλικίας

Στο Άνω Λιθανθρακοφόρο, το υπόβαθρο δέχτηκε μια πρώτη παραμόρφωση, η οποία είναι συµμεταμορφική με την πρώτη μεταμορφική φάση αμφιβολιτικών συνθηκών, και συνέβαλλε στην δημιουργία πτυχών ισοκλινών με αξονική διεύθυνση περίπου $155^\circ - 160^\circ$. Παράλληλα, την περίοδο αυτή πραγματοποιήθηκε και η πρώτη φύλλωση των πετρωμάτων του υποβάθρου με τη μορφή σχιστότητας (S1), παράλληλα στα αξονικά επίπεδα των ισοκλινών πτυχών.

2^η φάση, ηλικίας Άνω Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικό

Την περίοδο αυτή, συνέβη η καταστροφή των δύο ωκεάνιων περιοχών εκατέρωθεν της Πελαγονικής. Η τεκτονική αυτή διαδικασία, προκάλεσε τον έντονο τεκτονισμό των πετρωμάτων και συνέβαλε στην επώθηση των οφιολιθικών μαζών μαζί με τα συνοδά τους ιζήματα, στα ηπειρωτικά περιθώρια της Πελαγονικής.

Στο Άνω Ιουρασικό οι οφιόλιθοι που σχηματίστηκαν στην ζώνη Αξιού, τοποθετήθηκαν τεκτονικά στο Ανατολικό όριο της Πελαγονικής, κυρίως επάνω στο ανθρακικό κάλυμμα με κύρια κατεύθυνση ΒΑ – ΝΔ, η επώθηση των οφιολίθων συνοδεύτηκε από μία φάση πτυχώσεων (JE1). Οι πτυχές της φάσης αυτής, είναι υπο – ισοκλινείς μέχρι και ισοκλινείς με αξονική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ ($150^\circ - 170^\circ$), και συνοδεύονται από σχιστότητα S2, η οποία αποτελεί τη δεύτερη σχιστότητα για τα πετρώματα του υποβάθρου και την πρώτη κύρια σχιστότητα για τους σχηματισμούς Άνω Παλαιοζωικού και Τριαδικοϊουρασικού.

Στο Κάτω Κρητιδικό, πραγματοποιήθηκε το κλείσιμο της δυτικής λεκάνης και η επώθηση των οφιολίθων της Υποπελαγονικής επάνω στο δυτικό ανθρακικό κάλυμμα της Πελαγονικής. Η τεκτονική αυτή διαδικασία είχε ως αποτέλεσμα την πτύχωση των

πετρωμάτων (JE2), με πτυχές κλειστές, ανοιχτές, όμοιες ή ισοπαχείς, κατά περιπτώσεις συνοδευόμενες από σχιστότητα ολίσθησης με αξονική διεύθυνση $0^\circ - 30^\circ$.

Με την ορογενετική δράση του Άνω Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού, η Πελαγονική ζώνη χέρσενε μέχρι τη Μέσο - Άνω Κρητιδική επίκλυση.

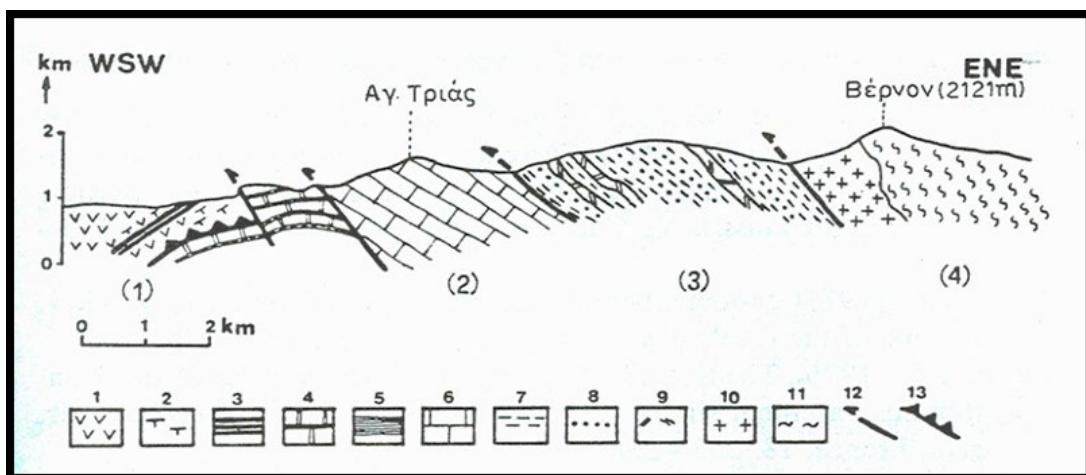
3^η φάση, Τριτογενούς ηλικίας

Μετά το Κρητιδικό και πριν το Μέσο Ηώκαινο πραγματοποιήθηκε η ανάδυση της Πελαγονικής ζώνης. Στο διάστημα που μεσολάβησε συνέβησαν οι εξής παραμορφωτικές φάσεις.

Η πρώτη (CT1), είχε ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό πτυχών ισοπαχών, ανοιχτών, αξονικής διεύθυνσης ΒΑ – ΝΔ, και απόκλιση προς ΝΔ

Η δεύτερη (CT2), δημιούργησε πτυχές ανοιχτές – κλειστές με αξονική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, και απόκλιση προς ΝΑ.

Γενικότερα, οι παραμορφωτικές διαδικασίες που έδρασαν κατά το πρώιμο Τριτογενές, δημιούργησαν σημαντικές δομές (αντικλινική δομή όρους Βόρα), ενώ η συμπιεστική αυτή παραμόρφωση, συνεχίστηκε και στο Ανώτερο Ηώκαινο και κατώτατο Ολιγόκαινο, με την τελική παραμόρφωση (CT3). Η φάση αυτή, δημιούργησε πτυχές τύπου Knick με αξονική διεύθυνση Β – Ν, παράλληλα εικάζεται ότι, συνέβη η λεπίωση των σχηματισμών της Πελαγονικής και η τοποθέτησή τους, από Ανατολικά προς Δυτικά. Η λεπίωση των σχηματισμών προκάλεσε σε ορισμένες περιπτώσεις την αναστροφή των πετρωμάτων, όπως παρατηρείται σε περιοχές της Δυτικής Μακεδονίας.



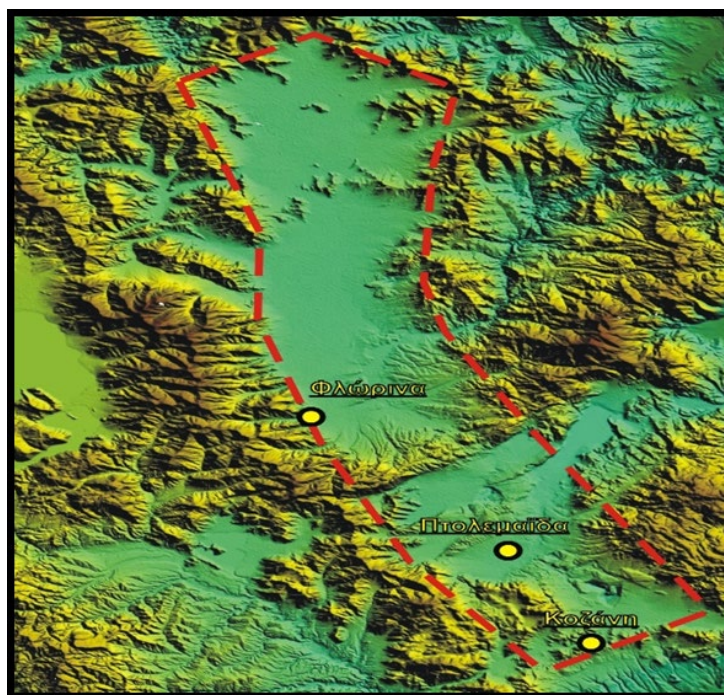
Εικόνα 3.4. Γεωλογική τομή που παρουσιάζει τους ανεστραμμένους σχηματισμούς στο δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής στην περιοχή Βέρνου-Καστοριάς. (1): πετρώματα Υποπελαγονικής ζώνης, (2): δυτικό ανθρακικό κάλυμμα Πελαγονικής, (3): μετακλαστική σειρά Περμοτριαδικού, (4): υπόβαθρο. 1: οφιολίθιοι, 2: αργιλικά ιζήματα, 3: κερατόλιθοι, 4: ασβεστόλιθοι Τριαδικού-Ιουρασικού της Πελαγονικής, 6: ασβεστόλιθοι νηριτικοί Τριαδικού-Ιουρασικού της Πελαγονικής, 7: φυλλίτες-σχιστόλιθοι, 8: μεταψαμμίτες, μετα-αρκόζες, μετα-κροκαλοπαγή, 9: ηφαιστειακά, 10: γρανίτες, 11: κρυσταλλοσχιστόδη πετρώματα του υπόβαθρου, 12: επιπτεύσεις-επωθήσεις, 13: τεκτονική τοποθέτηση των οφιολίθων στο Ανώτερο Ιουρασικό-Κάτω Κρητιδικό.

3.3.3 Νεοτεκτονική εξέλιξη

Η τεκτονική παραμόρφωση από το Μέσο – Ανώτερο Μειόκαινο μέχρι και σήμερα είναι εφελκυστική. Η τεκτονική αυτή δράση συνέβαλε στην κατάρρευση του ορογενούς και στη δημιουργία τεκτονικών δομών όπως το τεκτονικό παράθυρο του Ολύμπου.

Με το τέλος της αλπικής παραμόρφωσης, η εφελκυστική τεκτονική που επικράτησε συνέβαλε στη δημιουργία λεκανών. Στην περιοχή μελέτης, ρήγματα διεύθυνσης ΒΒΔ – ΝΝΑ, συνέβαλαν στην δημιουργία της αρχικής λεκάνης Φλώρινας – Πτολεμαΐδας η οποία είχε διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ, παρόμοια με αυτή των Ελληνίδων. Στη διάρκεια του Τεταρτογενούς η λεκάνη διαχωρίστηκε σε μικρότερα βυθίσματα και εξάρματα από τη δράση ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ και ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης.

Η λεκάνη Φλώρινας – Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας, χωρίζεται σε δύο υπολεκάνες, στη λεκάνη της Φλώρινας στα βόρεια και στη λεκάνη Αμυνταίου – Πτολεμαΐδας στα νότια σε διεύθυνση κάθετη με την αρχική. Ενδιάμεσά τους, η περιοχή Κλειδιού – Ξινού Νερού – Αετού αποτελεί έξαρμα και οριοθετεί τις δύο περιοχές.

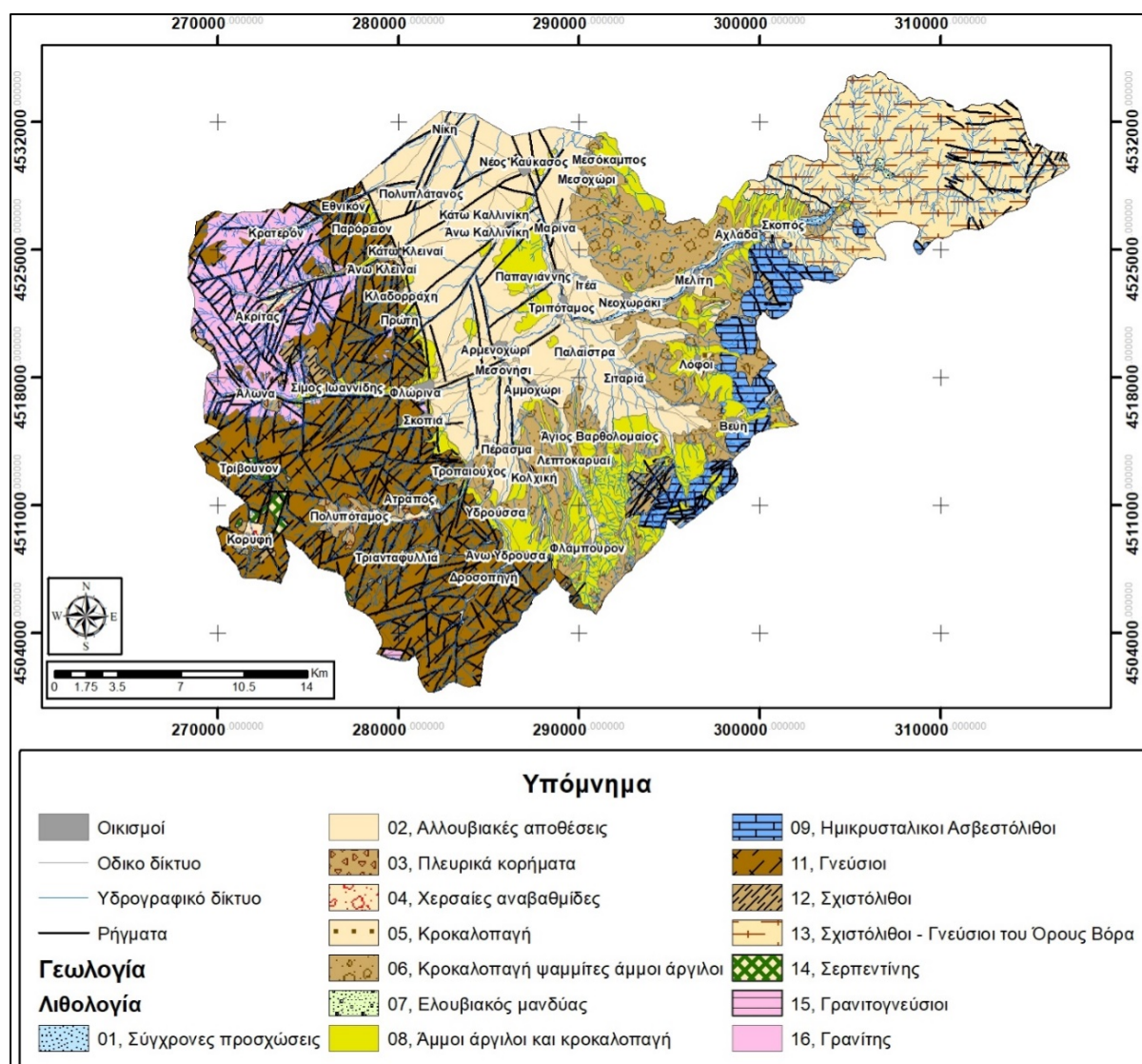


Εικόνα 3.5. Η λεκάνη Κοζάνης, Πτολεμαΐδας, Φλώρινας και Μοναστηρίου.

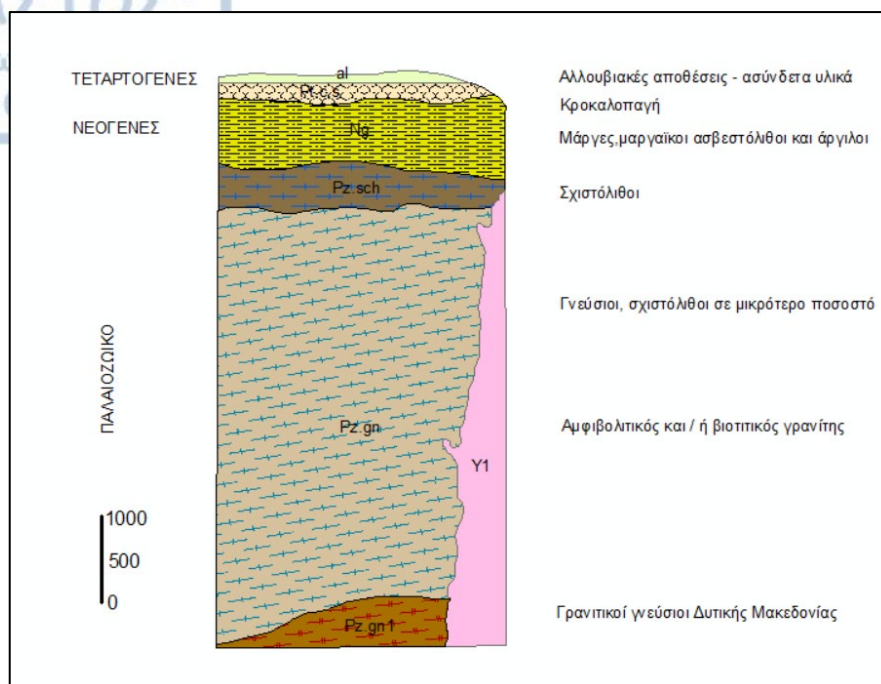
3.4 Γεωλογία περιοχής μελέτης

Ο Δήμος Φλώρινας εμφανίζει έντονη ετερογένεια όσο αφορά τους σχηματισμούς που επικρατούν στην έκταση του. Στο κεντρικό τμήμα του Δήμου, συναντάται η πεδιάδα της Φλώρινας, η οποία καλύπτεται κυρίως από αλλουβιακές αποθέσεις του Τεταρτογενούς (άμμοι, χαλίκια, κροκάλες, άργιλοι), αλλά και από Νεογενή ιζήματα (μάργες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, άμμοι, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι). Στους ορεινούς όγκους που περιβάλλουν

την πεδιάδα επικρατούν, Κρυσταλλοσχιστώδη, Ανθρακικά (Ασβεστόλιθοι και Δολομίτες) και Γρανιτικά πετρώματα (Εικόνα 3.6).



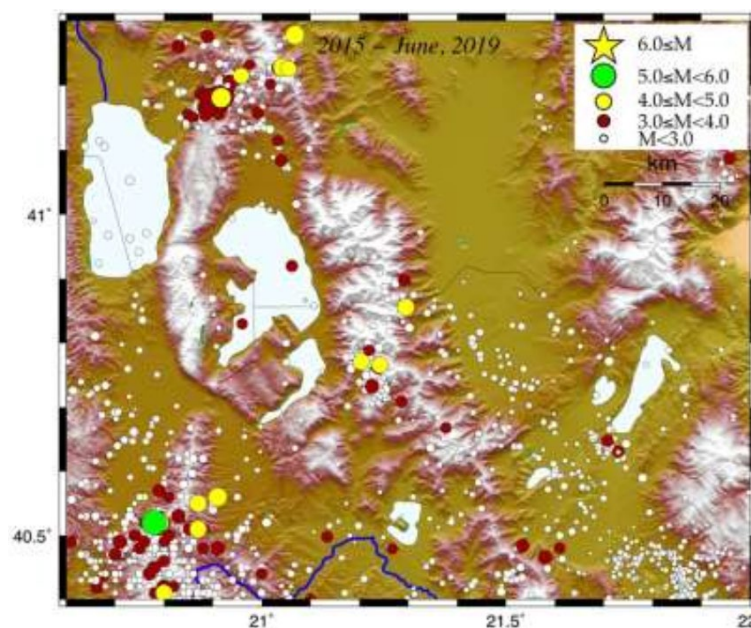
Εικόνα 3.6. Γεωλογικός χάρτης του Δήμου Φλώρινας (Βουδούρης, Καζάκης, 2024).



Εικόνα 3.7. Στρωματογραφική στήλη στην περιοχή μελέτης με βάση τον γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. (φύλλο Φλώρινα).

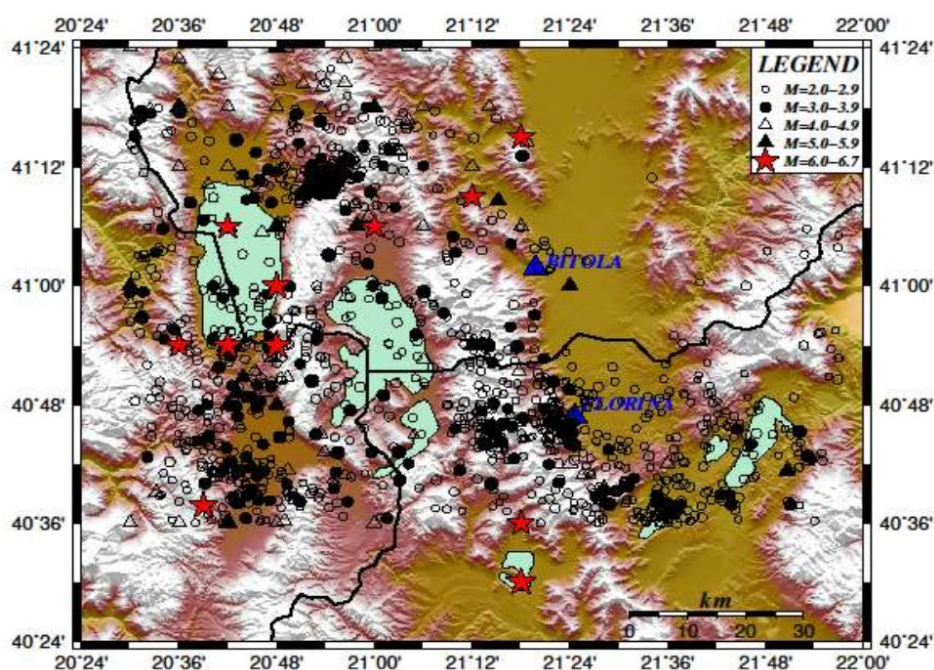
3.5 Σεισμικότητα

Η καταγραφή και η απεικόνισή των σεισμών της ευρύτερης περιοχής που έγινε από την επιστημονική ομάδα του Α.Π.Θ. για το πρόγραμμα J-CROSS (Εικόνα 22), κάλυψε την χρονοσειρά από το 2015 έως τον Ιούνιο του 2019. Βάσει της μελέτης αυτής, οι σεισμοί με επίκεντρο κοντά στην πόλη της Φλώρινας έχουν συνήθως μέγεθος $M \leq 4$, ενώ σε μεγαλύτερες αποστάσεις έχουν καταγραφεί και σεισμοί με μέγεθος $M \geq 6$ (Εικόνα 3.8).



Εικόνα 3.8. Σεισμοί που καταγράφηκαν κατά το διάστημα 2015 - Ιούνιος 2019, στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (J-Cross, 2019).

Παράλληλα, η απεικόνιση των επιφανειακών σεισμών με μέγεθος $M \geq 2$ από το 552 μ.Χ. μέχρι και το 2018 (Εικόνα 3.9), παρουσιάζει μια κατανομή των μεγάλων σεισμικών γεγονότων κατά μήκος μεγάλων ενεργών ρηγμάτων στην περιοχή της λίμνης Οχρίδας, του Αμυνταίου και της Βεγορίτιδας. Στους 9 αυτούς, ιστορικά είτε ενόργανα καταγεγραμμένους σεισμούς μεγέθους 6.1 – 6.7, παρουσιάστηκαν προβλήματα τόσο στην πόλη της Φλώρινας, όσο και στο γειτονικό κράτος στην περιοχή της Μπίτολα.



Εικόνα 3.9. Καταγεγραμμένοι σεισμοί στην περιοχή μελέτης από το 552 έως το 2018 (J-Cross, 2019).

Στην ίδια μελέτη παρουσιάζονται οι αναμενόμενες σεισμικές επιταχύνσεις ανάλογα με τον το υπέδαφος αποτελείται από βράχο, χαλαρά εδάφη ή μια ενδιάμεση κατάσταση. Στην πόλη της Φλώρινας και τους γύρω οικισμούς, οι οποίοι είναι θεμελιωμένοι επάνω στα ιζήματα της λεκάνης αναμένονται μεγαλύτερες τιμές PGA περίπου 0,13g, καθώς τα ιζήματα ενισχύουν τη σεισμική κίνηση.

Πράγματι, σύμφωνα με τον νέο Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (NEAK) του 2000 (απόφαση Δ17α/141/3/ΦΝ275 της 15/20-12-1999/Φ.Ε.Κ. 2184Β') και όπως αυτός τροποποιήθηκε με την με αρ. Δ17α/57/1/18-6-2003 (ΦΕΚ Β' 781/18-6-2003), η περιοχή μελέτης, ανήκει στην Ζώνη Ι με τη χαμηλότερη σεισμική επικινδυνότητα και ο κανονισμός καλύπτει τις αναμενόμενες σεισμικές επιταχύνσεις.

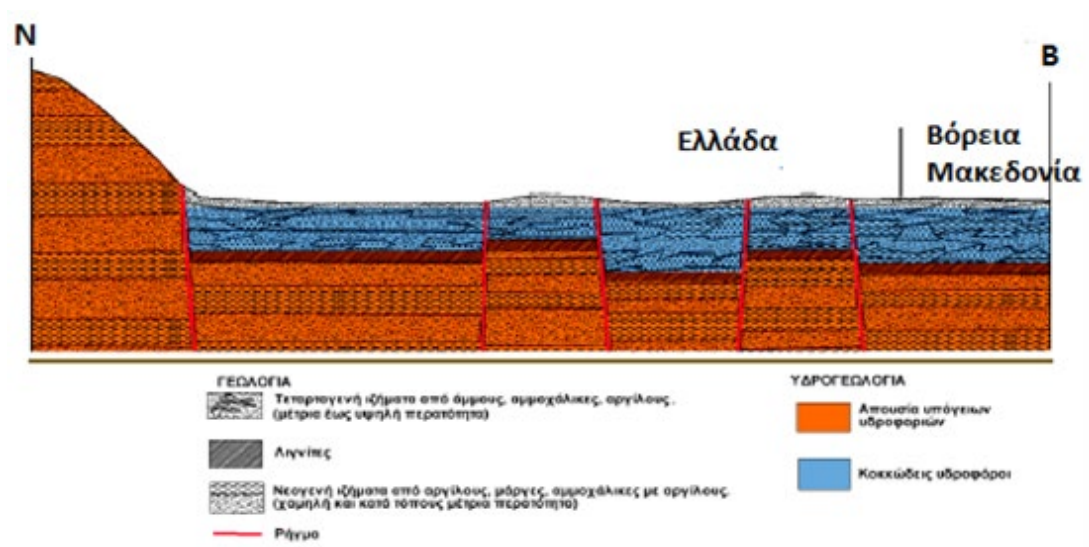
Κεφάλαιο 4. Υδρογεωλογία

Η περιοχή του Δήμου Φλώρινας εντάσσεται στη λεκάνη απορροής (ΛΑΠ), του υδατικού διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας (EL09), και συγκεκριμένα στη ΛΑΠ Πρεσπών (EL0901). Στο κεντρικό τμήμα του Δήμου εντοπίζεται η πεδιάδα της Φλώρινας, στην οποία αναπτύσσεται ο υπό μελέτη προσχωματικός υδροφορέας με έκταση 215 Km².

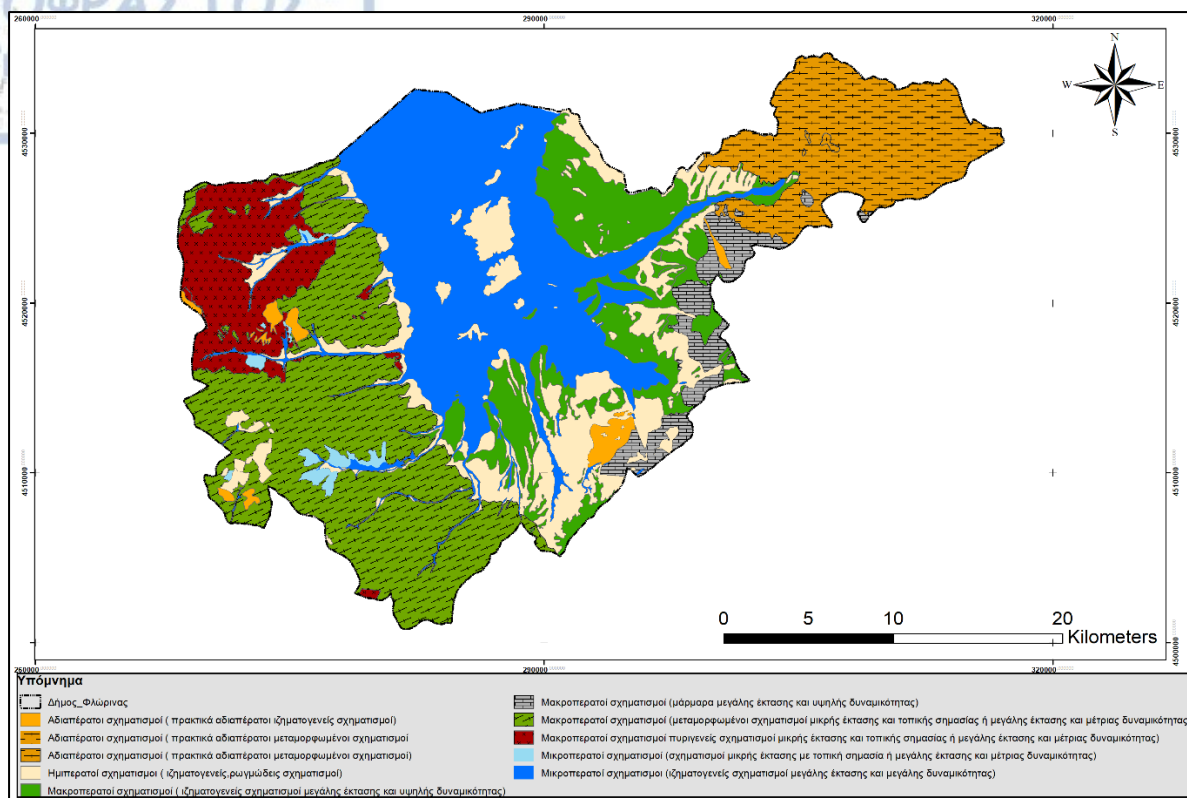
4.1 Υδρολιθολογία

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η πεδινή αυτή έκταση, καλύπτεται από Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις με εμφανή διαφοροποίηση της υδρογεωλογικής τους συμπεριφοράς.

- **Τα Νεογενή ιζήματα** αποτελούμενα από μάργες, μαργαϊκούς ασβεστολίθους, ψαμμίτες, άμμους και κροκαλοπαγή, εμφανίζουν πτωχή υδροφορία, εξαιτίας αυτής της αργιλομαργαϊκής σύστασης τους.
- **Αντίθετα, οι Τεταρτογενείς αποθέσεις**, οι οποίες καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής αποτελούνται από χαλίκια, κροκάλες, άμμους, αργίλους και ποταμολιμναία ιζήματα σε εναλλαγές. Τα κλάσματα αυτά, επιτρέπουν την ανάπτυξη υπόγειων υδροφόρων συστημάτων, με δυναμικότητα που μεταβάλλεται ανάλογα με την λιθολογία. Σε θέσεις αδρόκοκκων υλικών ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας ή υδροπερατοτητας (k) μπορεί να είναι 10⁻⁸ m/s, ενώ σε θέσεις λεπτόκοκκων υλικών ο συντελεστής αυξάνεται στα 10⁻⁴ m/s. Γενικότερα, οι υψηλότερες τιμές του k, εμφανίζονται στα χαλίκια, τις κροκάλες και τις άμμους.
- Το πάχος του υδροφόρου ανέρχεται στα 120 περίπου μέτρα και το καθαρό πάχος των υδροφόρων στρωμάτων στα 40.



Εικόνα 4.1. Υδρογεωλογική τομή στον προσχωματικό υδροφορέα Φλώρινας (Στάμος, 2010, ΙΓΜΕ).



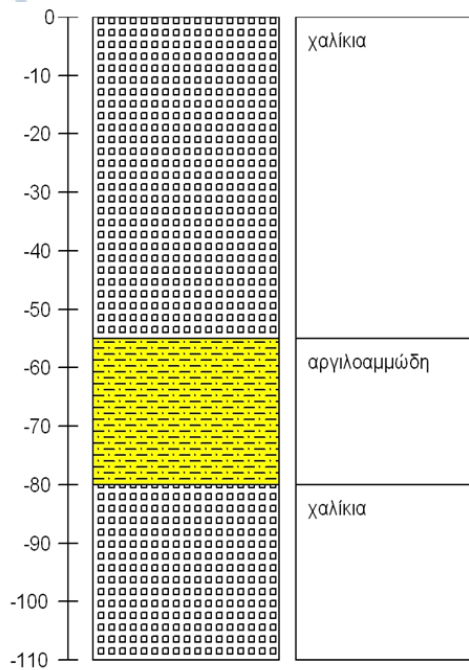
Εικόνα 4.2. Υδρολιθολογικός χάρτης Δήμου Φλώρινας.

4.2 Υπόγειοι υδροφορείς

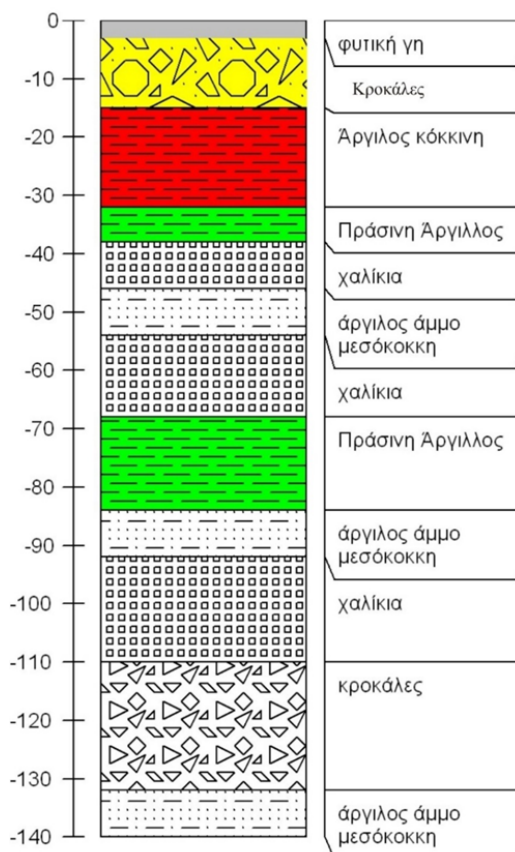
Το κοκκώδες σύστημα Φλώρινας (GR090F040), αποτελεί τον κυριότερο υδροφορέα του πεδινού τμήματος, από το οποίο καλύπτονται οι υδατικές ανάγκες των γύρω περιοχών. Το υπόγειο αυτό υδατικό σύστημα, αναπτύσσεται εντός των αδρο-μεσοκλαστικών αποθέσεων του Τεταρτογενούς. Εξαιτίας, της ετερογένειας των κόκκων και την παρουσία φακών λεπτόκοκκων υλικών, τόσο στην κατακόρυφη διεύθυνση όσο και στην οριζόντια, ο υδροφορέας αυτός, χαρακτηρίζεται από έντονη ανισοτροπία.

Στο συγκεκριμένο υπόγειο υδροφόρο σύστημα, συναντάται ένας φρεάτιος υδροφορέας σε μικρό βάθος και επάλληλα υπό πίεση υδροφόρα στρώματα σε μεγαλύτερα βάθη. Το πάχος του προσχωματικού υδροφορέα προσδιορίστηκε περίπου στα 120 μέτρα, ενώ στην ευρύτερη περιοχή εντοπίζονται φαινόμενα αρτεσιανισμού με ανθρακούχο νερό.

Το σύστημα αυτό, σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας (Υ.Α. 1005/ΦΕΚ 2292/13-09-2013), καθώς και το αναθεωρημένο Σχέδιο Διαχείρισης του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας και την έγκριση αυτού (21-12-2017) εντάσσεται στη ΛΑΠ Πρεσπών και στο Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Φλώρινας με κωδικό **EL09AF040**.



Εικόνα 4.3. Λιθολογική τομή της περιοχής με χαρακτηριστικό ελεύθερο υδροφόρο στρώμα (γεώτρηση στην περιοχή Μεσονήσι).



Εικόνα 4.4. Λιθολογική τομή της περιοχής με χαρακτηριστικά επάλληλα υπό πίεση υδροφόρα στρώματα (γεώτρηση στην περιοχή Βέθης).

Στην έκταση του Δήμου υπάρχουν επιπλέον άλλα πέντε υπόγεια υδατικά συστήματα, τα οποία συνορεύουν με το ΥΥΣ Φλώρινας (**Εικόνα 4.5**).

- **Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Βαρνούντα – Βέρνου (GR090F301):** Το σύστημα αυτό, εντάσσεται στην ΛΑΠ Πρεσπών και συναντάται στο ΒΔ τμήμα του Δήμου Φλώρινας. Το σύστημα αναπτύσσεται κυρίως μέσα σε γρανίτες, γρανοδιορίτες, μονζογρανίτες, διορίτες, έντονα παραμορφωμένους και τεκτονισμένους μεταγρανίτες, σχιστόλιθους και σε μικρότερη έκταση σιπολίτες, μάρμαρα, σεπρεντινίτες. Επιπλέον, σε μικρότερο βαθμό συναντώνται ελαφρώς μεταμορφωμένα κροκαλοπαγή, αρκόζες και ψαμμίτες που σταδιακά μεταβαίνουν προς τα πάνω σε φυλλίτες ενώ σε ορισμένα σημεία εντοπίζονται ασβεστολιθικοί φακοί. Τέλος, κατά θέσεις επάνω στα κρυσταλλοσχιστόδη πετρώματα απαντώνται ποτάμιες αναβαθμίδες και αλλουβιακές αποθέσεις με περιορισμένης δυναμικότητας κοκκώδεις υδροφορείς.

Στο συγκεκριμένο σύστημα, η υδροφορία εντοπίζεται είτε στην επαφή του μανδύα αποσάθρωσης των πυριγενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων που εκφορτίζονται μέσω πηγών σε χαμηλότερα υψομετρικά σημεία και κυρίως στις κοίτες των υδρορεμάτων, είτε στα βαθύτερα μη αποσθρωμένα, διερρηγμένα μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα κυρίως σε ζώνες διάρρηξης.

- **Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Νυμφαίου – Βλάστης (GR0900331):** Πρόκειται για δευτερεύον, ρωγματικό υδατικό σύστημα, το οποίο εντάσσεται στην ΛΑΠ Αλιάκμονα και εντοπίζεται στα ΝΔ του Δήμου. Το σύστημα αναπτύσσεται μέσα σε μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, γνευσιοσχιστόλιθους, αμφιβολίτες και φακούς μαρμάρων, που αποτελούν το μεταμορφωμένο Παλαιοζωικό υπόβαθρο.

Η υδροφορία εντοπίζεται, κυρίως εντός των έντονα διερρηγμένων πετρωμάτων είτε στην επαφή του εδαφικού καλύμματος και του υγειούς υποβάθρου.

- **Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Βεύης - Φλάμπουρου (GR090F321):** Πρόκειται για δευτερεύον κοκκώδες σύστημα το οποίο εντοπίζεται στο ΝΝΔ τμήμα του Δήμου Φλώρινας και εντάσσεται στην ΛΑΠ Πρεσπών. Η περιοχή ανάπτυξης του συγκεκριμένου ΥΥΣ, καλύπτεται από ποταμοχειμάρριες αποθέσεις κυρίως κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, άμμοι με εναλλαγές αδρόκοκκων έως λεπτόκοκκων υλικών. Οι εναλλαγές των υλικών και της κοκκομετρίας τόσο κατακόρυφα όσο και οριζόντια είναι έντονες με αποτέλεσμα την ανισοτροπία των υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών. Οι σχηματισμοί αυτοί τοποθετούνται επάνω σε Νεογενείς αποθέσεις λεπτόκοκκων κατά βάση υλικών όπως μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, αργιλικές μάργες και αργίλους. Σε βαθύτερα στρώματα συναντώνται λεπτές στρώσεις λιγνίτη και ξυλίτη.

Ο υδροφορέας που αναπτύσσεται, είναι μικρής δυναμικότητας και περιορίζεται στα υπερκείμενα Πλειστοκαινικά ιζήματα.

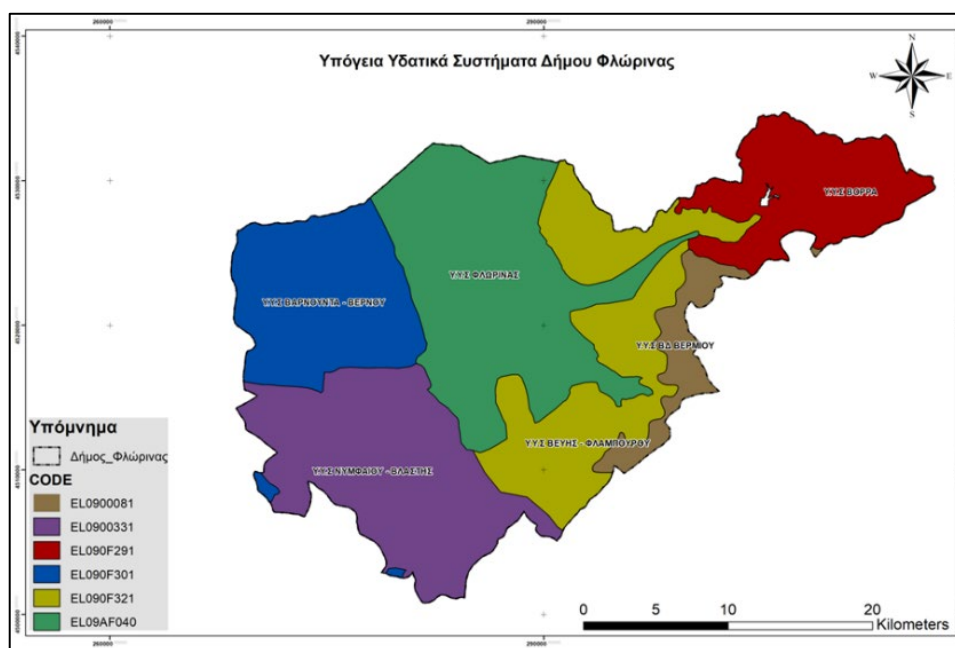
- **Υπόγειο Υδατικό Σύστημα ΒΔ Βερμίου Όρους (GR0900080):** Το συγκεκριμένο σύστημα συναντάται στο ΝΔ τμήμα της περιοχής μελέτης, χαρακτηρίζεται ως κύριο και καταλαμβάνει το ΒΔ μέρος του Βερμίου όρους. Το σύστημα χωρίζεται σε δύο υποσυστήματα α) το **καρστικό υποσύστημα GR0900081 ΒΔ Βερμίου όρους (καρστικό Βεγορίτιδας)**, το οποίο θα αναπτυχθεί παρακάτω και β) το **κοκκώδες**

υποσύστημα GR0900082. Το καρστικό υποσύστημα GR0900081, αναπτύσσεται μέσα σε Τριαδικό-Ιουρασικούς ασβεστόλιθους, δολομιτικούς ασβεστόλιθους, άστρωτους δολομίτες, παχυστρωματώδεις έως λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους με διαφοροποίηση στο βαθμό καρστικοποίησης και τεκτονισμού. Το καρστικό αυτό σύστημα, τροφοδοτείται από τα επιφανειακά κατακρημνίσματα, τη διήθηση των επιφανειακών νερών από τα υδατορρέυματα της περιοχής και τη διήθηση νερών από την τεχνητή λίμνη Περδίκκα.

Το Δ-ΒΔ τμήμα του υπόγειου συστήματος το οποίο καταλαμβάνει μικρή έκταση στα ΝΔ του Δήμου Φλώρινας, εκφορτίζεται στην λίμνη Βεγορίτιδα, εκτός από ένα μικρό τμήμα το οποίο εκφορτίζεται αρχικά στη λίμνη Πετρών και έπειτα καταλήγει στην Βεγορίτιδα εξαιτίας της υδραυλικής επικοινωνίας των λιμνών.

- **Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Βόρα (GR090F290):** Το συγκεκριμένο υδατικό σύστημα τοποθετείται στον ομώνυμο ορεινό όγκο στα ΒΑ του Δήμου Φλώρινας. Δομείται κυρίως από πετρώματα όπως γνεύσιοι, αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι, ενώ στο δυτικό του τμήμα εντοπίζονται πρασινίτες, μεταγάββροι και αμφιβολίτες έντονα τεκτονισμένοι.

Η υδροφορία παρουσιάζεται, είτε μεταξύ του μανδύα αποσάθρωσης των σχιστολίθων και των γνευσίων, με εκφόρτιση μέσω πηγών σε χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία, στις κοίτες των υδατορρευμάτων, είτε στα υποκείμενα μη αποσαθρωμένα πετρώματα κυρίως σε ζώνες έντονης διάρρηξης.

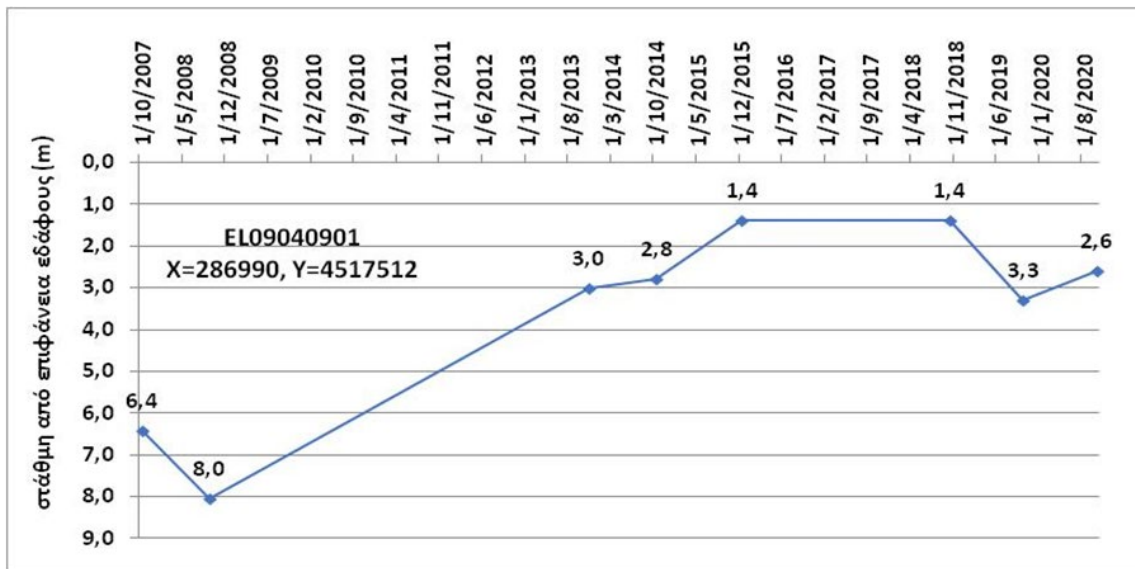


Εικόνα 4.5. Υπόγεια υδατικά συστήματα (ΥΥΣ) της περιοχής του Δήμου Φλώρινας.

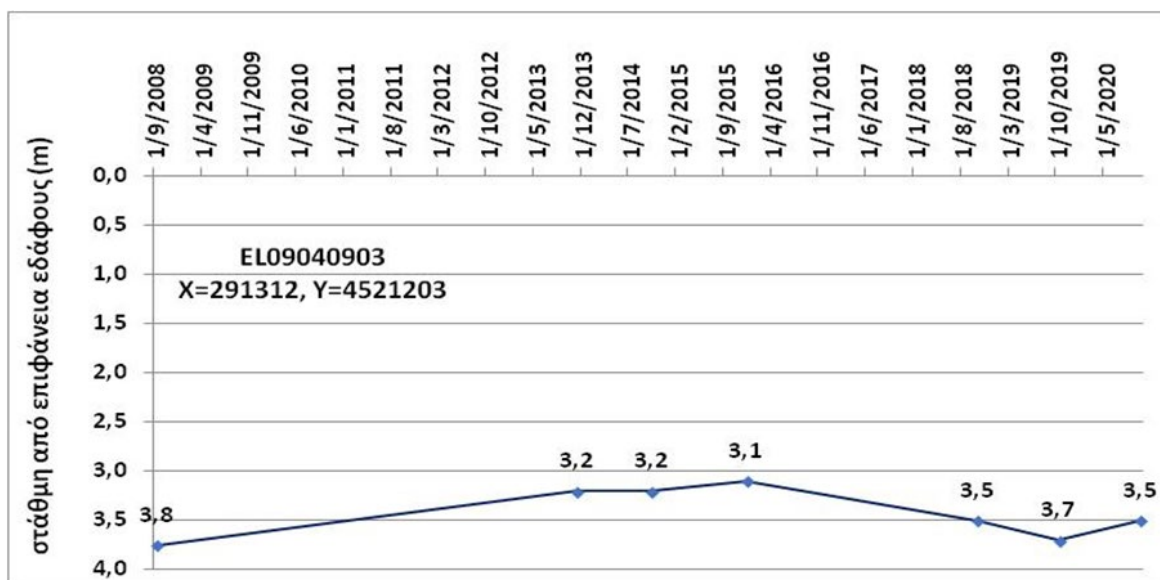
4.3 Πιεζομετρία – στάθμη υπόγειου νερού

Με βάση τις μετρήσεις της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών στις γεωτρήσεις με κωδικό EL09040901, EL09040903, και EL09040904, για μια σειρά ετών από το 2007 έως το 2020, παρατηρείται γενικά μια σταθερή διακύμανση της στάθμης με

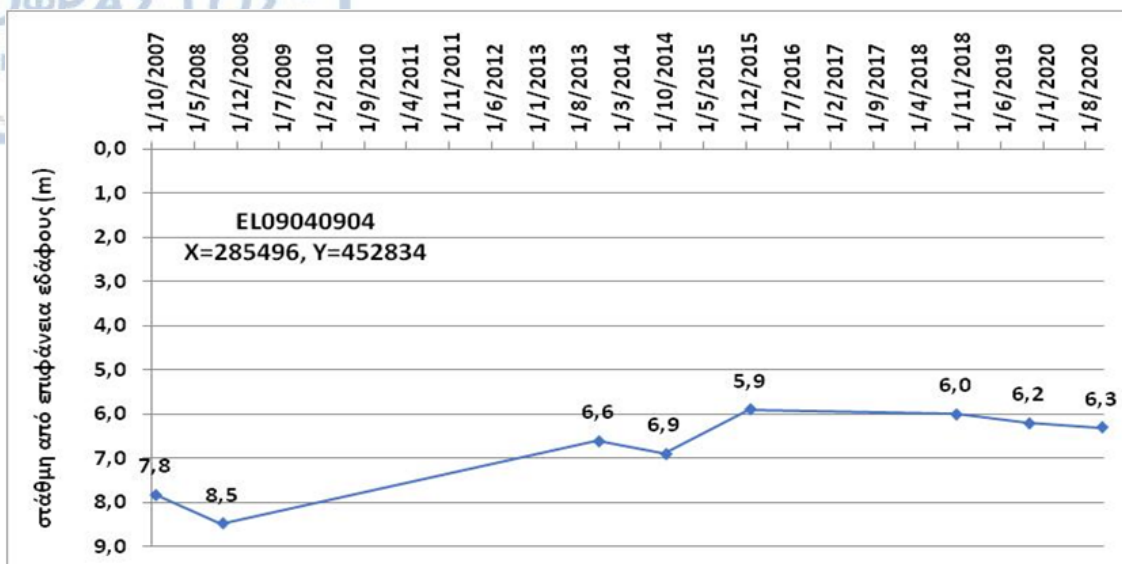
πτώση κατά την διάρκεια της ξηρής περιόδου (Ιούνιος – Σεπτέμβριος), ενώ η στάθμη αυξάνεται κατά την διάρκεια της υγρής περιόδου (Οκτώβριος – Μάιος). Η υψομετρική διαφορά της στάθμης ανάμεσα στις δυο περιόδους κυμαίνεται από 0 έως 20 μέτρα και εξαρτάται από το υδρολογικό έτος. Έντονη πτώση στάθμης σημειώνεται σε υδρολογικά έτη όπου η βροχόπτωση είναι περιορισμένη. Στα έτη που επακολουθούν αυτή επανέρχεται.



Εικόνα 4.6. Διακύμανση της στάθμης υπόγειου νερού στη γεώτρηση EL09040901.

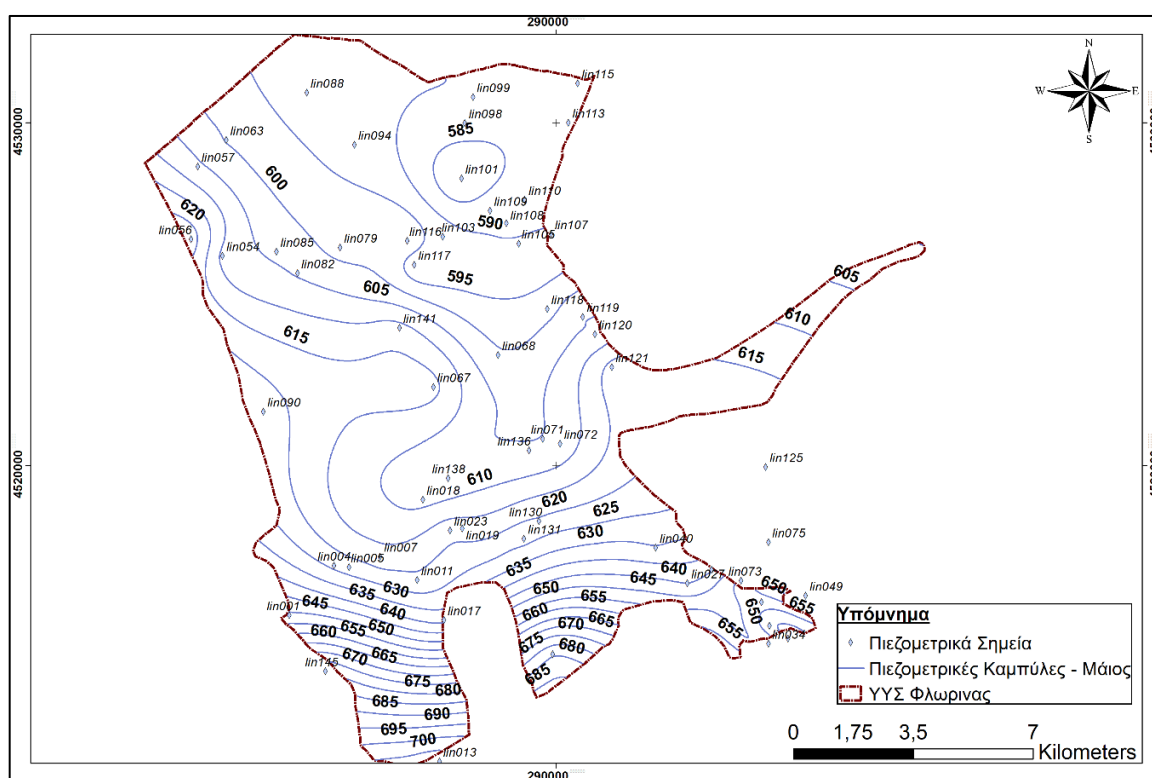


Εικόνα 4.7. Διακύμανση της στάθμης υπόγειου νερού στη γεώτρηση EL09040903.

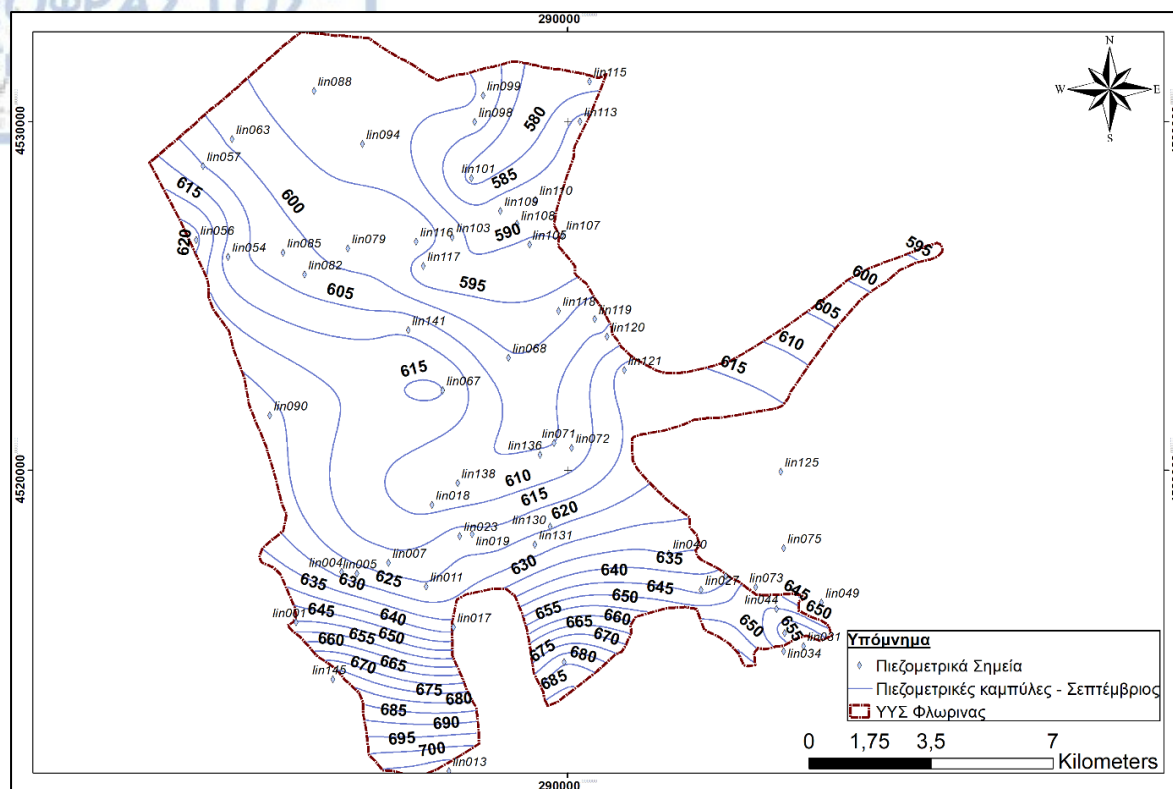


Εικόνα 4.8. Διακύμανση της στάθμης υπόγειου νερού στη γεώτρηση EL09040904.

Από δεδομένα μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν το 2016 (Μανδραλή.Π, 2017) στον προσχωματικό υδροφορέα της Φλώρινας, τόσο κατά τον Μάιο όσο και τον Σεπτέμβριο του ίδιου έτους κατασκευάστηκαν οι πιεζομετρικοί χάρτες της περιοχής για τις δύο περιόδους.



Εικόνα 4.9. Πιεζομετρικός χάρτης Μαΐου 2016.



Εικόνα 4.10. Πιεζομετρικός χάρτης Σεπτεμβρίου 2016.

Από την παρατήρηση των δύο χαρτών διαπιστώνεται ότι, οι υψηλότερες τιμές του πιεζομετρικού φορτίου εντοπίζονται στο Δυτικό – Νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης, με τιμές (+700), ενώ τα χαμηλότερα πιεζομετρικά σημεία διαπιστώνονται στο Βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης με τιμή (+580). Η ροή του υπόγειου νερού, στο Ανατολικό τμήμα της λεκάνης, γίνεται με κατεύθυνση προς τα Βορειοδυτικά ενώ στο κεντρικό μέρος της, έχει κατεύθυνση Νότου – Βορά.

Στο Νότιο – Νοτιοανατολικό τμήμα της ευρύτερης περιοχής και συγκεκριμένα δυτικά της γραμμής Αχλάδα - Κορυφή Ορόσημο – Κορυφή Τσίκου – Μεσοβούνι, αναπτύσσεται η μία από τις δύο μεγάλες υδρογεωλογικές ενότητες της ανθρακικής μάζας του Δυτικού Βόρα (Κουμαντάκης, 1995). Βάσει της πιεζομετρίας διαπιστώνουμε ότι, ο προσχωματικός υδροφορέας που αναπτύσσεται στο κέντρο της λεκάνης, τροφοδοτείται κυρίως από τους ανθρακικούς σχηματισμούς.

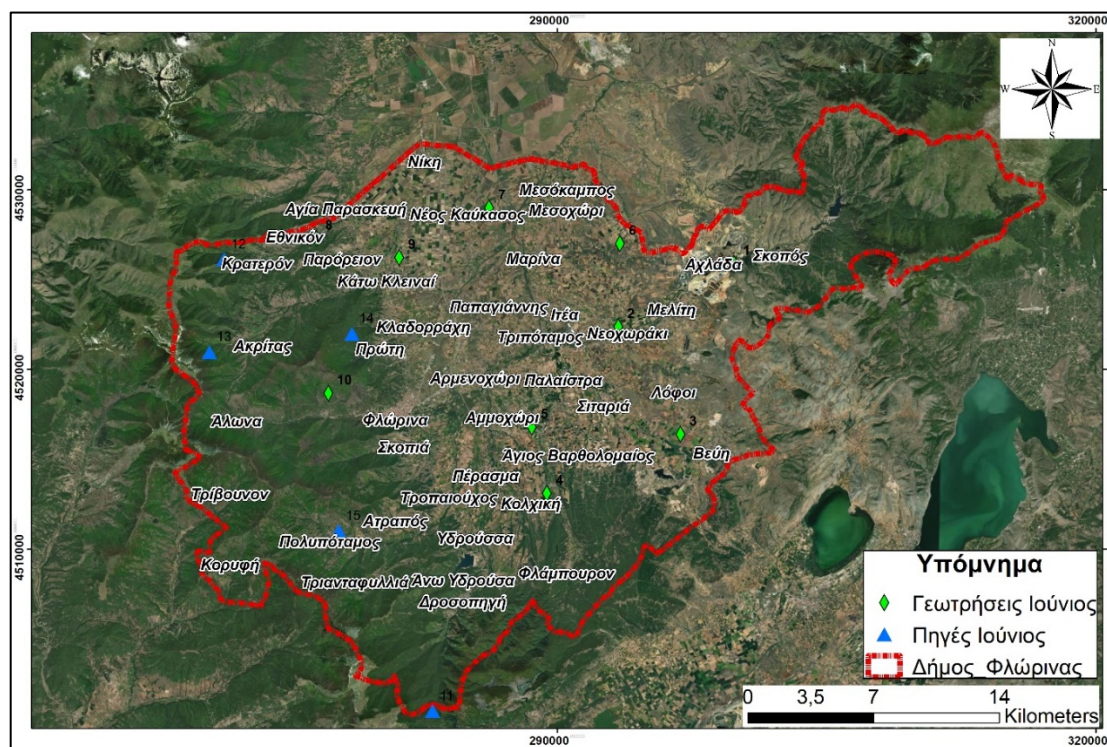
Η υδραυλική κλίση στο Βορειοανατολικό τμήμα του υδροφορέα έχει τιμή περίπου 9‰, στο νότιο τμήμα όπου οι πιεζομετρικές γραμμές είναι πιο πυκνές η υδραυλική κλίση είναι περίπου 18‰, ενώ οι μικρότερες τιμές εμφανίζονται στο Δυτικό τμήμα της λεκάνης με τιμές κοντά στο 5‰.

Γενικότερα για το 2016, η διαφορά της στάθμης μεταξύ των δύο περιόδων, κυμαίνεται από 0, έως 7,6 μέτρα, εκτός από τις γεωτρήσεις Lin116 και Lin120, όπου κατά την ξηρή περίοδο αυξήθηκε κατά 0,4 και 0,2 μέτρα αντίστοιχα (Μανδραλή, 2017).

4.4 Υδροχημεία

Για τη μελέτη των χημικών χαρακτηριστικών του νερού, πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες τόσο κατά τον Ιούνιο του 2023, όσο και κατά τον Σεπτέμβριο του ίδιου έτους. Χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν σε 15 διαφορετικά σημεία του Δήμου Φλώρινας και περιλάμβαναν 10 γεωτρήσεις και 5 πηγές (Εικόνα 4.11). Οι χημικές

αναλύσεις έγιναν στο πλαίσιο του έργου «Δράσεις Προστασίας των Υδάτων ΔΕΥΑ Φλώρινας», που υλοποιείται από την Κοινοπραξία DELCO ΕΠΕ- Ν. ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΙΔΗΣ & ΣΙΑ- ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ. Στο έργο αυτό συμμετέχει το Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας του ΑΠΘ με επιστημονικό σύμβουλο τον Καθηγητή ΑΠΘ Κ. Βουδούρη. Οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο πιστοποιημένο χημικό εργαστήριο ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ: Χημικές & Μικροβιολογικές Αναλύσεις Μελέτες & Συμβουλευτικές Υπηρεσίες, στη Θέρμη Θεσσαλονίκης.



Εικόνα 4.11. Θέσεις δειγματοληψίας των δύο περιόδων.

4.4.1 Περίοδος Ιουνίου

Α) Γεωτρήσεις

Με βάση τον (Πίνακα 4.1), διαπιστώνουμε ότι η μέση τιμή του pH είναι 7.19, προσδίδοντας στο νερό ελαφρά αλκαλικό χαρακτήρα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα με μέγιστη τιμή 634,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και μικρότερη στα 253 $\mu\text{S}/\text{cm}$, έχει μέση τιμή 439,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ενώ το σύνολο των διαλυμένων αλάτων (TDS) που συσχετίζεται με αυτήν, παρουσιάζει μέση τιμή 327,8 mg/L. Επιπλέον η μέση τιμή της ολικής σκληρότητας κυμαίνεται στα 215 mg/L CaCO_3 , η οποία ανάγεται σε 21,5 Γαλλικούς βαθμούς (1 Γαλλικός βαθμός = 10 mg/L CaCO_3), βάσει της τιμής τους, το νερό των γεωτρήσεων χαρακτηρίζεται σκληρό.

Αναλυτικότερα το νερό χαρακτηρίζεται : 0-75 mg/L CaCO_3 πολύ μαλακό νερό, 76-150 mg/L ελαφρά σκληρό (μαλακό) νερό, 151-200 mg/L μέτρια σκληρό νερό, 201-300 σκληρό νερό, και >300 mg/L πολύ σκληρό νερό.

Πίνακας 4.1. Πίνακας Χημικών αναλύσεων Μαΐου 2023.

	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	NO ₂	NH ₄	As	Al	Fe	Mn	pH	EC	TDS	TH
Γεωτρήσεις																		
1	109	19,16	7,52	2,99	268	< 10	84,06	< 2,5	< 0,10	< 0,15	5,3	< 10	198,7	5,3	7,60	581,8	433,6	35,1
2	81,6	11,87	11,36	1,26	220	< 10	88,93	9,02	< 0,10	< 0,15	-	437,9	391,4	9,5	7,50	479,5	357,4	25,3
3	127,10	7,27	6,87	0,52	281	15,33	80,83	57,49	< 0,10	< 0,15	-	< 10	36,5	3,5	7,5	632,5	471,4	34,7
4	23,24	8,76	19,64	0,78	146	< 10	<20	7,22	< 0,10	< 0,15	-	< 10	< 10	< 3,3	7	245,6	183	9,4
5	39,21	11,27	14,3	1,93	98	10,23	37,53	61,87	< 0,10	< 0,15	-	< 10	177	45,2	6,1	321,6	239,7	14,4
6	82,24	29,62	54,12	2,34	390	20,44	89,97	6,61	< 0,10	< 0,15	-	< 10	87,6	10,7	7,3	731,6	545,2	32,7
7	51,36	16,63	32,5	1,45	207	11,65	83,07	8,72	< 0,10	< 0,15	< 3,3	< 10	47,5	108,7	7,3	463,9	345,7	19,7
8	23,72	29,38	12,29	2,93	220	< 10	<20	< 2,5	< 0,10	< 0,15	-	< 10	< 10	< 3,3	7,3	351	261,6	18
9	37,16	13,81	11,69	1,93	110	14,55	31,55	41,17	< 0,10	< 0,15	-	< 10	15	< 3,3	6,9	338,2	252,1	15
10	34,3	6,27	8,32	1,95	122	< 10	33,08	< 2,5	< 0,10	< 0,15	-	18,5	867	169,8	7,4	253	188,6	11,1
Πηγές																		
11	3,37	1,14	3,69	0,54	24	< 10	<20	< 2,5	< 0,10	< 0,15	-	< 10	12,5	< 3,3	7	45,9	34,2	1,3
12	5,39	1,32	4,0	1,4	24	< 10	<20	< 2,5	< 0,10	< 0,15	< 3,3	45,6	67,8	5	7,2	59,4	44,3	1,9
13	5,08	0,93	3,63	1,03	37	< 10	<20	< 2,5	< 0,10	< 0,15	-	< 10	< 10	< 3,3	6,7	54,2	40,4	1,7
14	5,74	2,21	4,09	1,36	24	< 10	<20	< 2,5	< 0,10	< 0,15	-	45,9	33,8	< 3,3	6,7	71,5	53,3	2,3
15	9,91	4,82	3,47	1,06	49	< 10	<20	2,71	< 0,10	< 0,15	-	134,4	96,9	< 3,3	6,6	100,7	75	4,5

Η μέση περιεκτικότητα του ασβεστίου είναι περίπου 60 mg/L και του μαγνησίου ≈ 15 mg/L. Όσο αφορά τα αλκάλια οι μέσες περιεκτικότητες είναι μικρές με τιμές 17 mg/L και 1,8 mg/L, για το Νάτριο και το Κάλιο αντίστοιχα.

Η περιεκτικότητα των όξινων ανθρακικών ιόντων, ανέρχεται σε 206,2 mg/L, ενώ τα θειικά ιόντα με μέση περιεκτικότητα περίπου 55,9 mg/L, είναι αρκετά χαμηλότερα από το όριο των 250 mg/L, που θέτει η νομοθεσία. Παράλληλα, η μέση περιεκτικότητα των χλωριόντων, είναι 11,2 mg/L. Τα νιτρικά ιόντα τα οποία αποτελούν σημαντικό δείκτη ανθρωπογενούς ρύπανσης και θεωρούνται επιβλαβή για την υγεία, παρουσιάζουν διακύμανση με περιεκτικότητες οι οποίες κυμαίνονται από 2 έως 61,9 mg/L, με μέση τιμή περίπου 19,8 mg/L. Στις γεωτρήσεις 3 και 5 η περιεκτικότητα ξεπερνάει την επιτρεπόμενη από την Οδηγία 98/83/EK τιμή, των 50 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων και των μεταλλοειδών στο νερό των γεωτρήσεων είναι κατά πολύ χαμηλότερες από το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο. Συγκεκριμένα, το αρσενικό έχει μέση περιεκτικότητα περίπου 4 $\mu\text{g/L}$, με ανώτατο επιτρεπτό όριο τα 10 $\mu\text{g/L}$ και απαντάται μόνο στις γεωτρήσεις 1 και 7. Ο σίδηρος εμφανίζεται με μέση περιεκτικότητα περίπου τα 183,6 $\mu\text{g/L}$ και ανώτατο επιτρεπτό όριο τα 200 $\mu\text{g/L}$. Γενικότερα, η παρουσία βαρέων μετάλλων και μεταλλοειδών στο υπόγειο νερό, προέρχεται είτε από ανθρωπογενείς δραστηριότητες είτε από γεωγενή αίτια, τους η παρουσία μαγματικών πετρωμάτων, είτε από συνδυασμό και των δύο.

B) Πηγές

Από τις χημικές αναλύσεις του νερού των 5 πηγών, παρατηρείται διαφοροποίηση στα χημικά του χαρακτηριστικά. Αρχικά, το νερό των πηγών, χαρακτηρίζεται ελαφρώς όξινο με την μέση τιμή του pH να είναι 6.84. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), έχει μέση τιμή 66,3 $\mu\text{S/cm}$, ενώ το σύνολο των διαλυμένων αλάτων (TDS) που συσχετίζεται με αυτήν, είναι 49,4 mg/L.

Η μέση ολική σκληρότητα προσδιορίστηκε 23 mg/L CaCO_3 , αντιστοιχεί σε 2,3 Γαλλικούς βαθμούς και καθιστά το νερό των πηγών μαλακό.

Οι περιεκτικότητες του ασβεστίου και του μαγνησίου είναι κατά πολύ μικρότερες από αυτές των γεωτρήσεων, με μέσες περιεκτικότητες 5,9 mg/L και 2,08 mg/L αντίστοιχα. Το νάτριο έχει περιεκτικότητα 3,7 mg/L, ενώ η μέση συγκέντρωση για το κάλιο προσδιορίστηκε 1,07 mg/L.

Επιπλέον, και στις 5 πηγές οι περιεκτικότητες των θεικών ιόντων είναι μικρότερες από 20 mg/L, παρόμοια εικόνα παρουσιάζουν και τα χλωριόντα τα οποία σε καμία πηγή δεν ξεπερνούν τα 10 mg/L. Τα όξινα ανθρακικά άλατα έχουν μέση περιεκτικότητα που ανέρχεται σε 31,6 mg/L.

Τα νιτρικά ιόντα στις πηγές δεν ξεπερνούν τα 2,5 mg/L, εκτός από πηγή νούμερο 11, που έχει τιμή 2,7 mg/L. Σε κάθε περίπτωση οι περιεκτικότητες είναι αρκετά μικρότερες από τα 50 mg/L που ορίζει η νομοθεσία.

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων και των μεταλλοειδών στο νερό των πηγών είναι κατά πολύ χαμηλότερες από το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο. Συγκεκριμένα, το αρσενικό (μεταλλοειδές) συναντάται μόνο στην πηγή 12 με περιεκτικότητα μικρότερη από 3,3 $\mu\text{g/L}$ με επιτρεπόμενο όριο τα 10 $\mu\text{g/L}$. Ο σίδηρος έχει μέση περιεκτικότητα $\approx 43,8$ $\mu\text{g/L}$, με ανώτερο αποδεκτό όριο τα 200 $\mu\text{g/L}$. Τέλος, οι περιεκτικότητες αργιλίου και μαγνησίου που μετρήθηκαν στις πέντε πηγές, έχουν περιεκτικότητες πολύ μικρότερες από τα όρια ποσιμότητας 200 $\mu\text{g/L}$ και 50 $\mu\text{g/L}$, αντίστοιχα.

Υδροχημικοί τύποι νερού- Διαγράμματα Piper και Durov

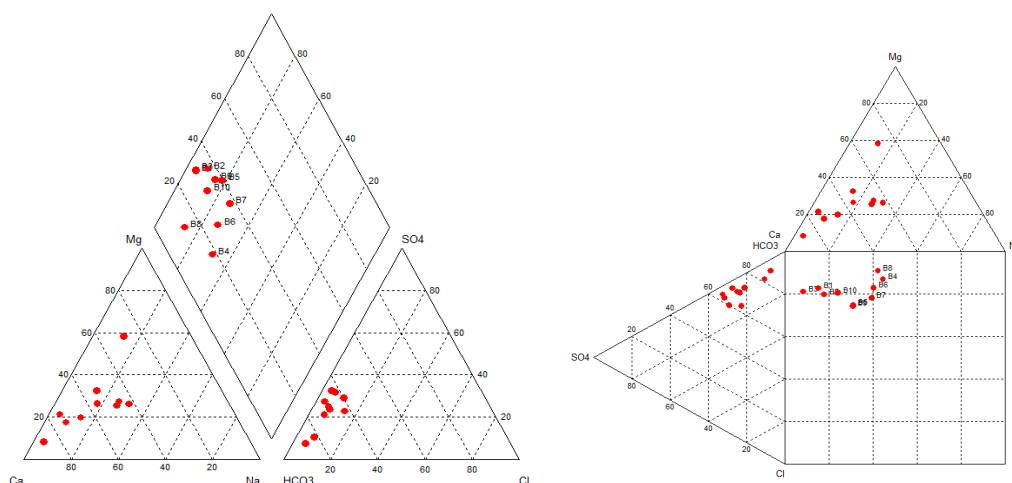
Τα διαγράμματα Piper και Durov, που παρουσιάζονται παρακάτω αποτελούν έναν άμεσο τρόπο ταξινόμησης του νερού σε διαφορετικούς τύπους. Ως μονάδα μέτρησης στα διαγράμματα αυτά λαμβάνεται το meq/L, και κυρίως η αναλογία επί τις εκατό των ανιόντων και κατιόντων (Βουδούρης, 2009).

Πιο συγκεκριμένα, το διάγραμμα Piper, χωρίζεται σε τρία επιμέρους διαγράμματα, τα δύο τριγωνικά αποτελούν προβολές των ανιόντων και των κατιόντων, ενώ στο κεντρικό σε σχήμα ρόμβου προβάλλεται ο τύπος του νερού.

Το διάγραμμα Durov, αποτελείται και αυτό από δύο τριγωνικά μέρη και ένα τετράγωνο στο κέντρο, όπου ανάλογα με την προβολή των χημικών παραμέτρων του νερού, καθορίζεται ο τύπος του. Ειδικότερα, στο ανώτερο αριστερό τμήμα του τετραγώνου βρίσκεται ο ασβεστούχος – οξυανθρακικός τύπος, ενώ στο κατώτερο δεξιό τμήμα του τετραγώνου εντοπίζεται ο νατριούχος – χλωριούχος τύπος νερού.

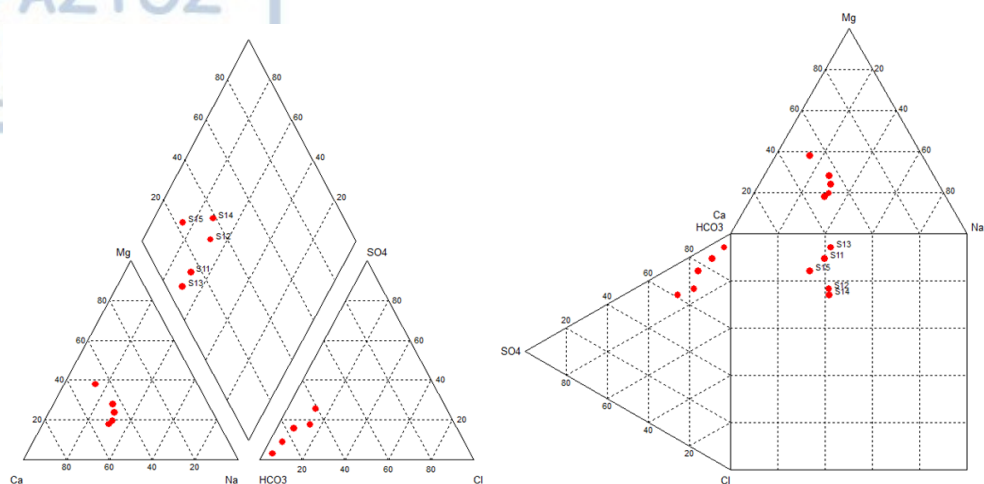
Με την χρήση του λογισμικού Aquachem, δημιουργήθηκαν τα παρακάτω διαγράμματα για την καλύτερη αποτύπωση και ερμηνεία των υδροχημικών αναλύσεων.

Όπως προέκυψε από τα διαγράμματα, ο τύπος του νερού των γεωτρήσεων είναι **ασβεστούχος-οξυανθρακικός (Ca-HCO₃)**.



Εικόνα 4.12. *Διάγραμμα Piper (αριστερά) και Durov (δεξιά) των υπόγειων νερών από γεωτρήσεις του Δήμου Φλώρινας (περίοδος Ιουνίου 2023).*

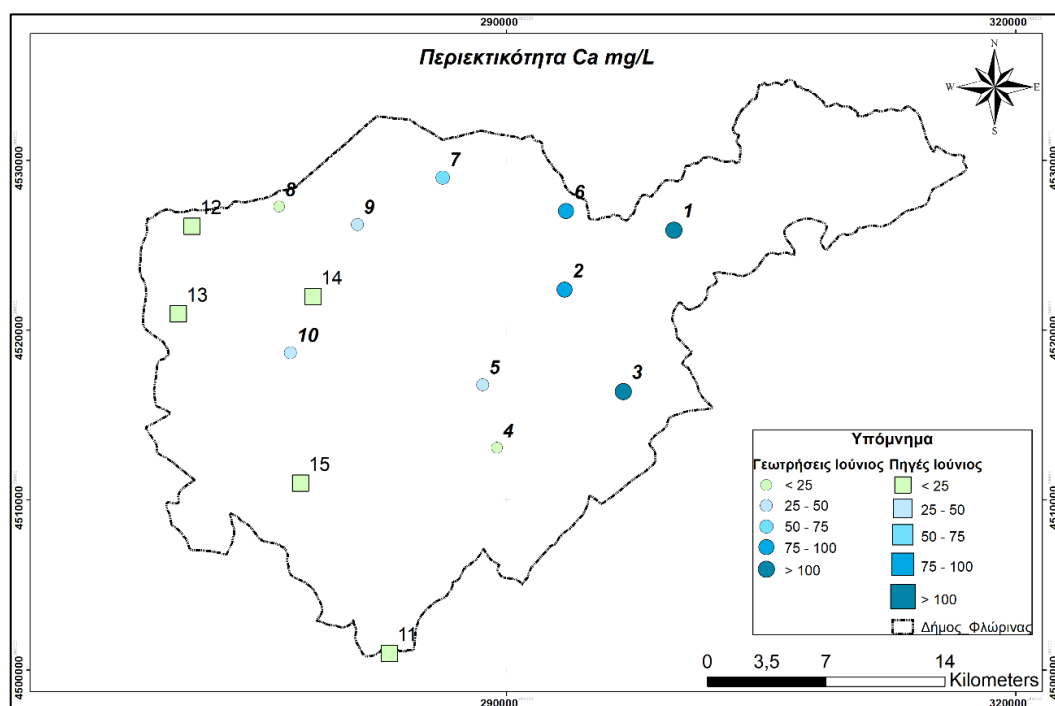
Στην (Εικόνα 4.13) παρουσιάζονται τα διαγράμματα Piper και Durov, για τις πηγές την περίοδο του Ιουνίου. Ο τύπος του νερού και σε αυτή την περίπτωση είναι ασβεστούχος-οξυανθρακικός



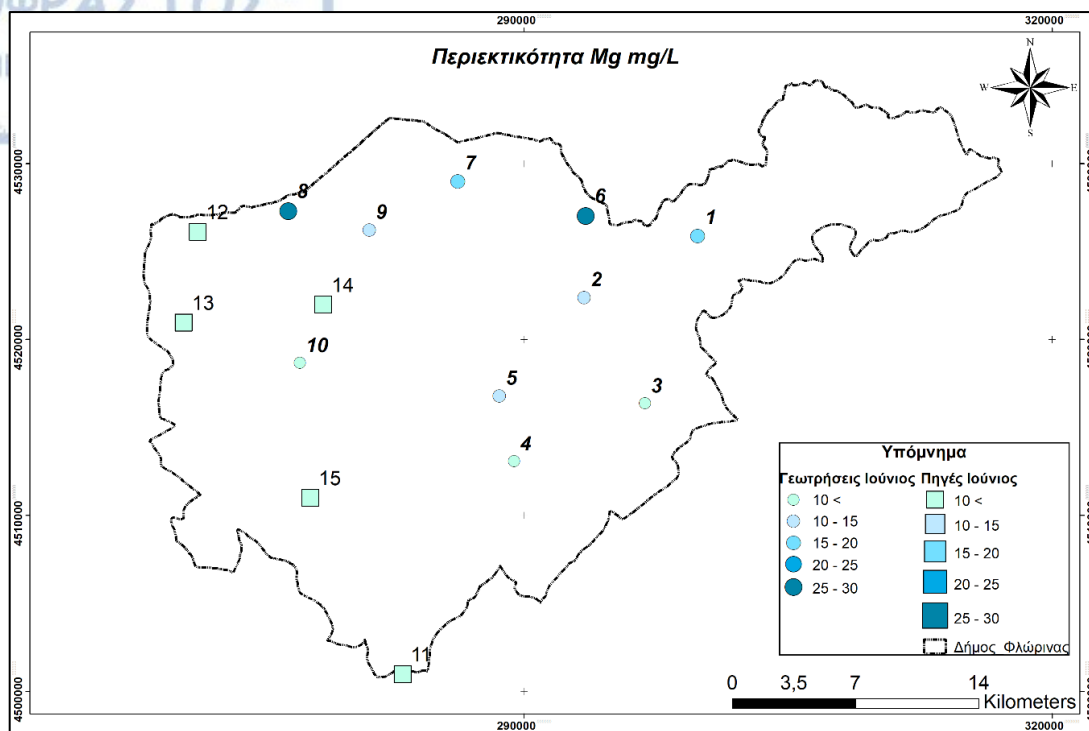
Εικόνα 4.13. Διάγραμμα Piper (αριστερά) και Durov (δεξιά) των υπόγειων νερών από πηγές του Δήμου Φλώρινας (περίοδος Ιουνίου 2023).

Υδροχημικοί χάρτες Ιουνίου 2023

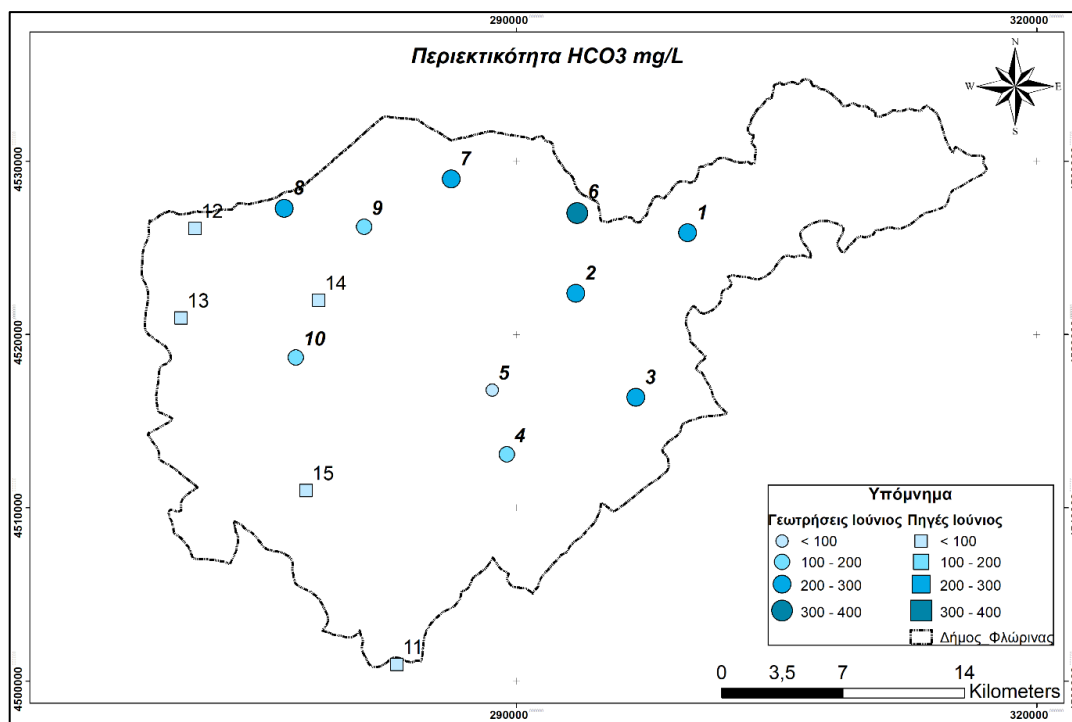
Στη συνέχεια παρουσιάζονται υδροχημικοί χάρτες που παρουσιάζουν την κατανομή των κύριων ιόντων.



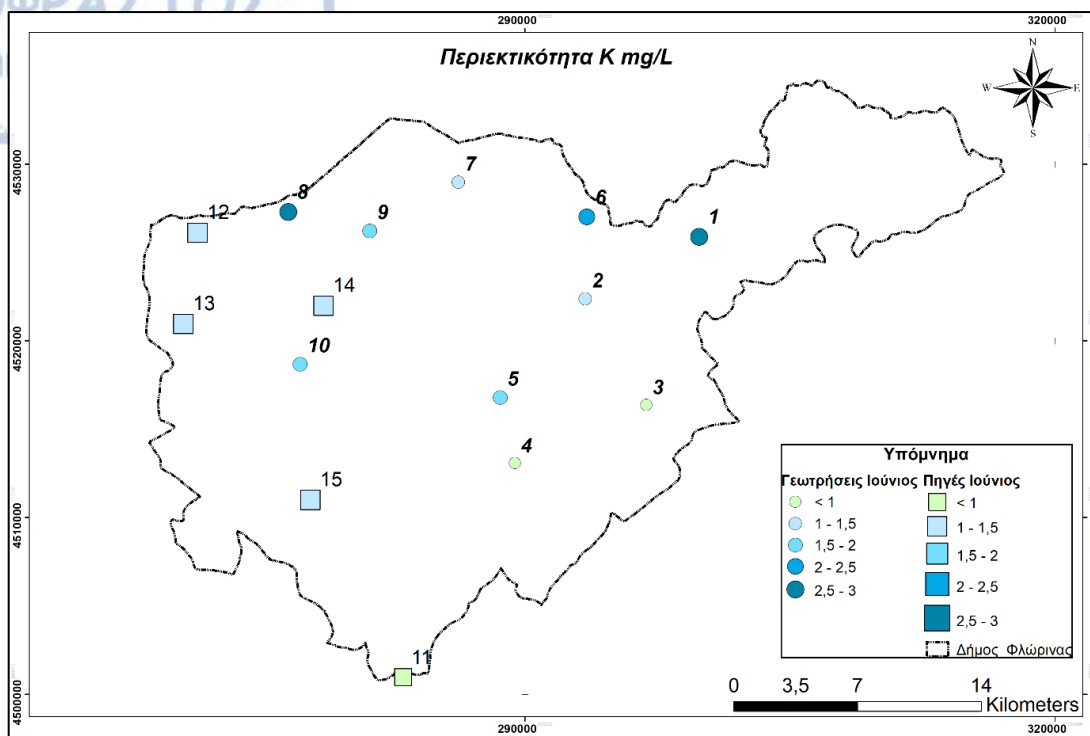
Εικόνα 4.14. Υδροχημικός χάρτης κατανομής ιόντων ασβεστίου (περίοδος Ιουνίου 2023).



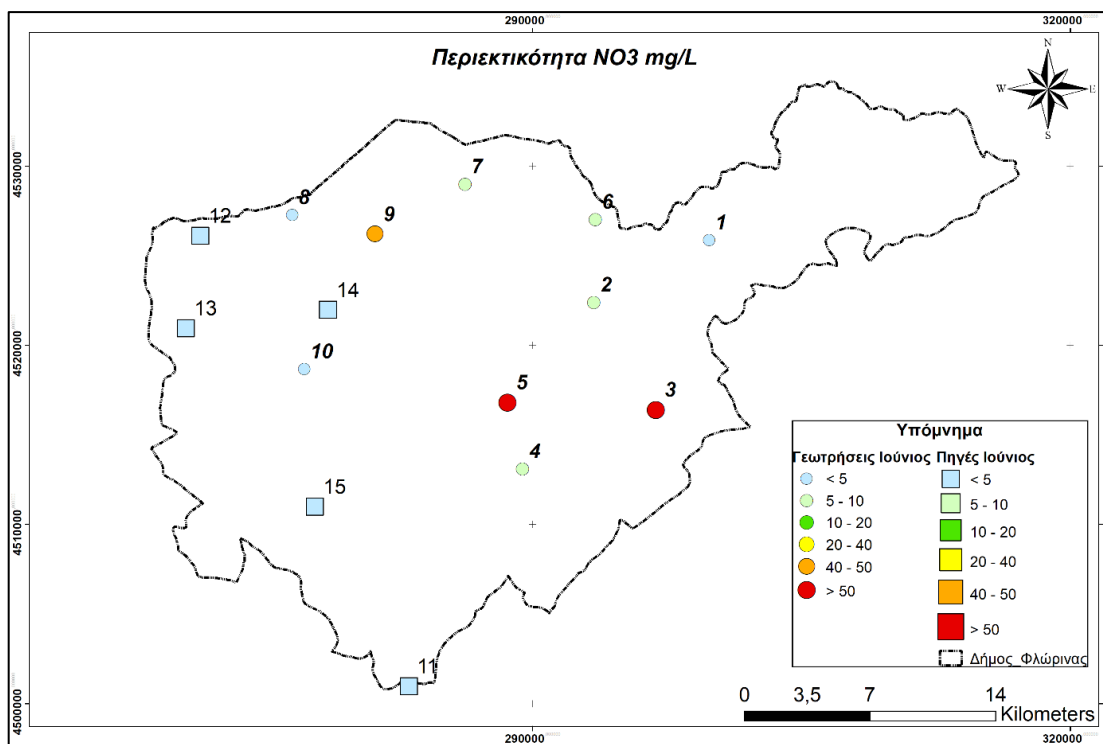
Εικόνα 4.15. Υδροχημικός χάρτης κατανομής ιόντων μαγνησίου (περίοδος Ιουνίου 2023).



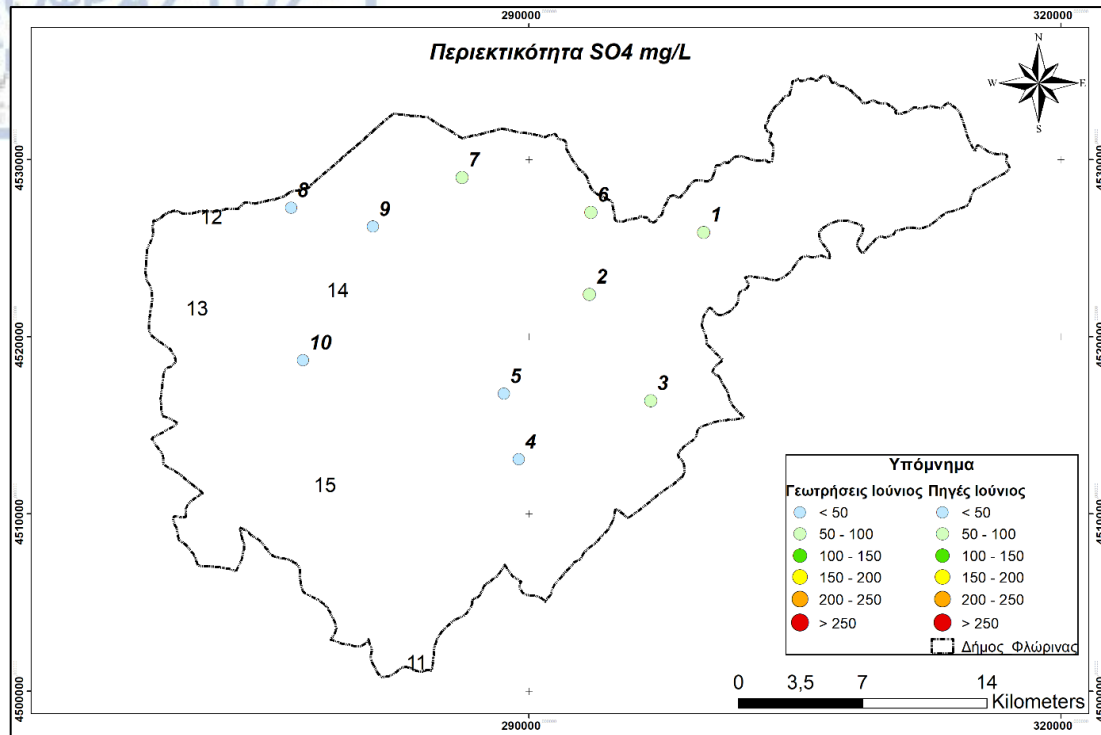
Εικόνα 4.16. Υδροχημικός χάρτης κατανομής οξυανθρακικών ιόντων (περίοδος Ιουνίου 2023).



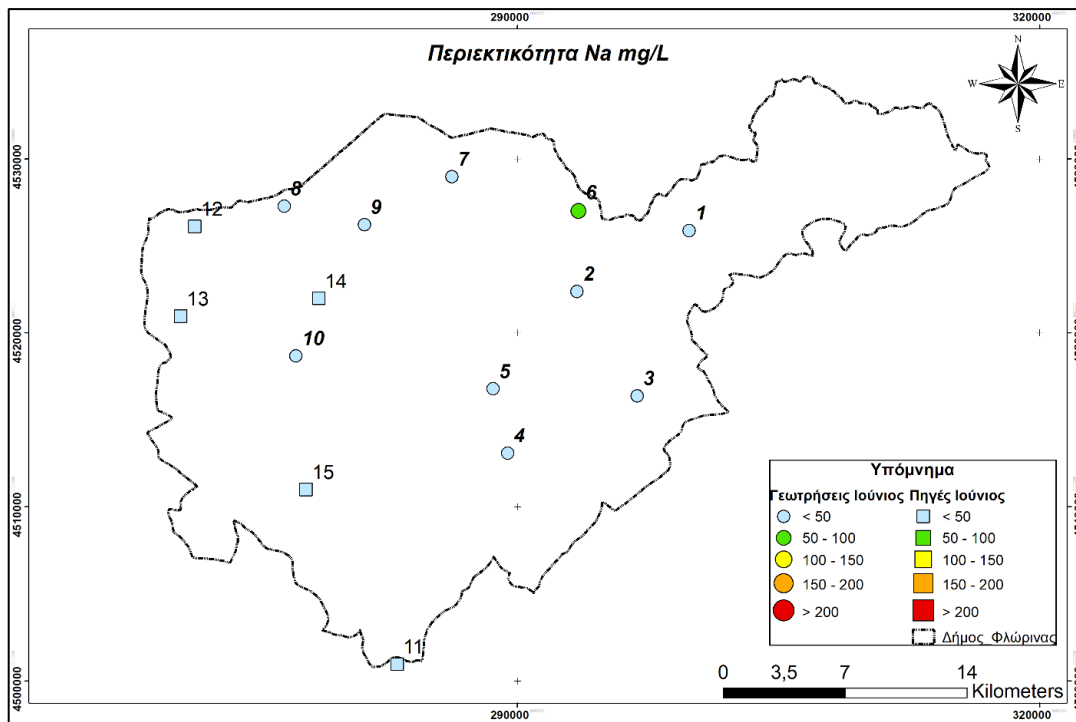
Εικόνα 4.17. Υδροχημικός χάρτης κατανομής καλίου (περίοδος Ιουνίου 2023).



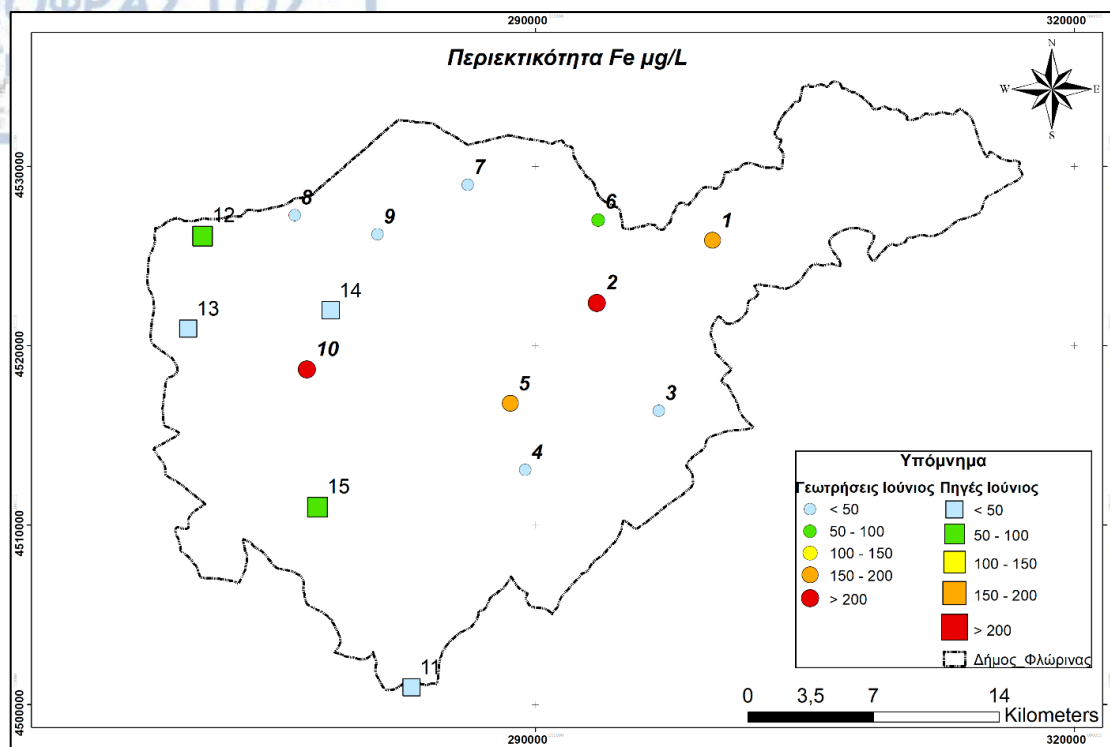
Εικόνα 4.18. Υδροχημικός χάρτης κατανομής νιτρικών ιόντων (περίοδος Ιουνίου 2023).



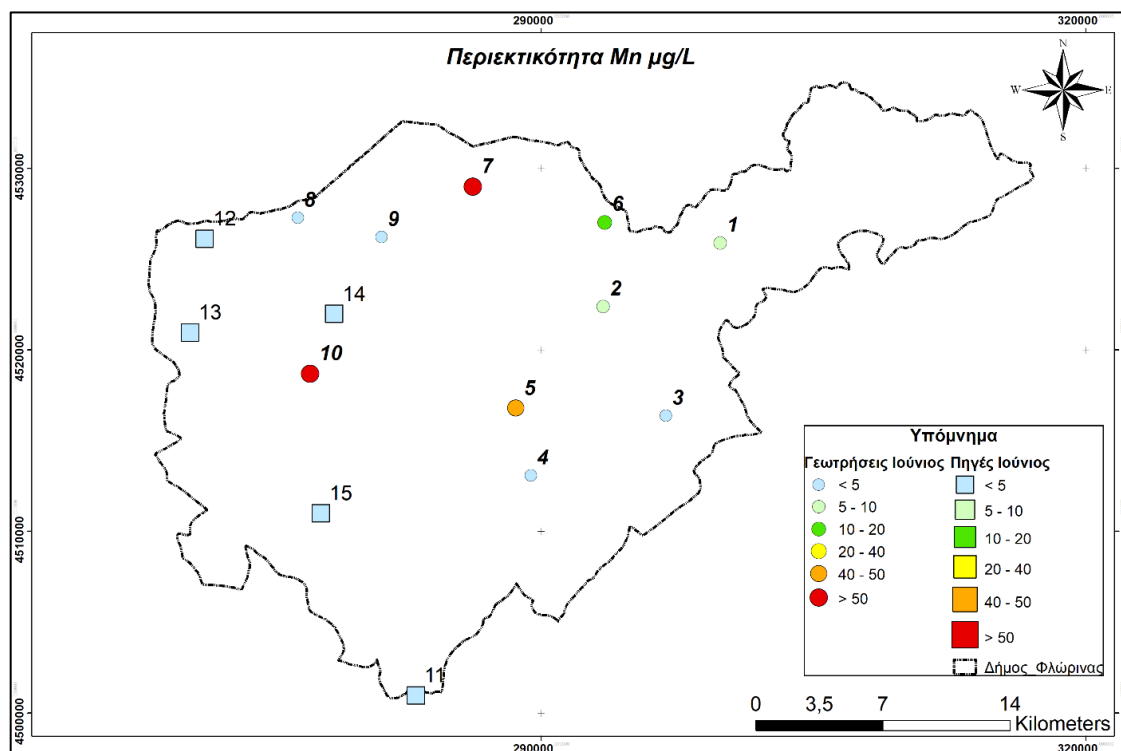
Εικόνα 4.19. Υδροχημικός χάρτης κατανομής θεικών ιόντων (περίοδος Ιουνίου 2023).



Εικόνα 4.20. Υδροχημικός χάρτης κατανομής νατρίου (περίοδος Ιουνίου 2023).



Εικόνα 4.21. Υδροχημικός χάρτης κατανομής ολικού σιδήρου (περίοδος Ιουνίου 2023).



Εικόνα 4.22. Υδροχημικός χάρτης κατανομής Μαγνησίου (περίοδος Ιουνίου 2023).

4.4.2 Περίοδος Σεπτεμβρίου

Οι χημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν τον Ιούνιο 2023, επαναλήφθηκαν και τον Σεπτέμβριο και αφορούσαν τις ίδιες πηγές και γεωτρήσεις. Γενικότερα, οι αναλύσεις του Σεπτεμβρίου εμφανίζουν μικρή μείωση τους περιεκτικότητες των περισσότερων ιόντων κυρίως στις γεωτρήσεις, ενώ στις πηγές διαπιστώνεται μικρή αύξηση της περιεκτικότητας. Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζουν οι συγκεντρώσεις του ολικού σιδήρου (Fe), ο οποίος εμφανίζει ανησυχητική αύξηση της περιεκτικότητας του, ξεπερνώντας τα κανονιστικά όρια. Αναλυτικότερα, τα εργαστηριακά αποτελέσματα δίνονται στον (Πίνακα 4.2).

Α) Γεωτρήσεις

Το pH των γεωτρήσεων με τιμή 7,3, προσδίδει σε αυτό ελαφρά αλκαλικό χαρακτήρα. Η μέση τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) είναι 443,48 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και το σύνολο διαλυμένων αλάτων (TDS) που συσχετίζεται με αυτήν έχει μέση τιμή 330,5 mg/L.

Η μέση τιμή της ολικής σκληρότητας προσδιορίστηκε στα 198 mg/L CaCO_3 ή 19,8 Γαλλικούς βαθμούς και χαρακτηρίζεται μέτρια σκληρό.

Η περιεκτικότητα του ασβεστίου ανέρχεται σε 56,17 mg/L και του μαγνησίου 4,1 mg/L. Το νάτριο και το κάλιο έχουν, 16 mg/L και 1,8 αντίστοιχα. Τα όξινα ανθρακικά έχουν μέση περιεκτικότητα 217,1 mg/L, τα θειικά ιόντα 51 mg/L και τα χλωριόντα 10,7 mg/L.

Τα νιτρικά ιόντα εμφανίζουν περιεκτικότητες από 2,0 mg/L έως 63,9 mg/L, και μέση τιμή 19,7. Το όριο των 50 mg/L, και στην δειγματοληψία του Ιουνίου, ξεπερνούν οι γεωτρήσεις 3 και 5.

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο νερό ορισμένων γεωτρήσεων είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο. Συγκεκριμένα, ο σίδηρος εμφανίζει αύξηση και ξεπερνάει το όριο των 200 $\mu\text{g}/\text{L}$ σε 6 από τις 10 γεωτρήσεις. Παράλληλα και το μαγγάνιο σε 2 από τις 10 γεωτρήσεις παρουσιάζει περιεκτικότητες πέρα του επιτρεπόμενου ορίου των 50 $\mu\text{g}/\text{L}$. Όπως προαναφέρθηκε ο Fe και το Mn αποτελούν συστατικό αρκετών μαγματικών πετρωμάτων, τα οποία εμφανίζονται εντός των ορίων της περιοχής μελέτης. Συνεπώς, οι αυξημένες συγκεντρώσεις οφείλονται στη γεωλογία της περιοχής.

β) Πηγές

Οι χημικές αναλύσεις αυτής της περιόδου, φανερώνουν διαφοροποίηση όσο αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των πηγών σε σχέση με τις γεωτρήσεις.

Αρχικά, η μέση τιμή του pH προσδιορίστηκε περίπου 6,92, προσδίδοντας στο νερό ελαφρά όξινο χαρακτήρα. Η μέση τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) είναι 60,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και το σύνολο διαλυμένων αλάτων (TDS) που συσχετίζεται με αυτήν έχει μέση τιμή 45,38 mg/L.

Βάσει της μέσης ολικής σκληρότητας το νερό των πηγών θεωρείται πολύ μαλακό, καθώς αυτή ανέρχεται σε 2,2 Γαλλικούς βαθμούς ή 22 mg/L CaCO_3 .

Το ασβέστιο έχει εξαιρετικά μικρή περιεκτικότητα, με μέση τιμή 5,6 mg/L, ενώ το μαγνήσιο εμφανίζεται σε ακόμα μικρότερες περιεκτικότητας με μέσο όρο τα 2,98 mg/L. Τα αλκάλια νάτριο και κάλιο, εμφανίζουν μέσες τιμές 3,8 mg/L και 1,48 mg/L αντίστοιχα.

Οι συγκεντρώσεις των όξινων ανθρακικών κυμαίνονται από 24 mg/L έως 49 mg/L, με μέση τιμή 36,8 mg/L. Παράλληλα, τα θειικά ιόντα σε όλες τις πηγές έχουν περιεκτικότητες μικρότερες από 20 mg/L, ενώ η μέση τιμή των χλωριόντων δεν υπερβαίνει τα 10 mg/L.

Η παρουσία των νιτρικών ιόντων στις πηγές όπως και τον Ιούνιο δεν προβληματίζει, καθώς και οι 5 τιμές είναι κατά πολύ μικρότερες από το όριο των 50 mg/L.

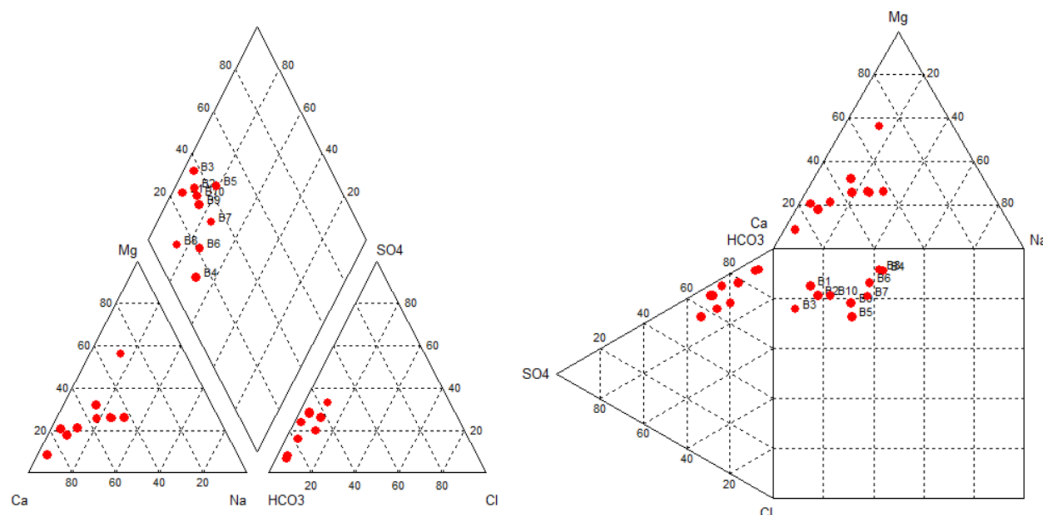
Πίνακας 4.2. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων Σεπτέμβριον 2023.

	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4	NO3	NO2	NH4	Al	Fe	Mn	pH	EC	TDS	TH
Γεωτρήσεις																	
1	99,4	16,66	6,59	3,02	342	< 10	88,13	< 2,5	< 0,10	< 0,15	< 3,3	1296	4,4	7,6	602,5	449	31,7
2	75,19	11,12	10,24	1,78	207	< 10	70,64	9,93	< 0,10	< 0,15	< 3,3	49,1	< 3,3	7,6	456,6	340,3	23,4
3	115,2	6,97	6,5	0,85	220	22,28	72,15	56,68	< 0,10	< 0,15	< 3,3	3128	10,4	7,6	673,9	502,2	31,6
4	23,58	8,74	19,23	1,25	159	< 10	< 20	5,08	< 0,10	< 0,15	< 3,3	< 10	< 3,3	7	245,4	182,9	9,5
5	31,1	8,7	11,69	2,17	73	< 10	34,31	63,89	< 0,10	< 0,15	20,8	1081	22,2	6,2	297,5	221,7	11,3
6	71,68	24,55	45,32	2,15	451	17,66	72,68	< 2,5	< 0,10	< 0,15	11,1	699,8	12,1	7,2	707,7	527,4	28
7	50,29	16,25	28,27	1,75	232	10,13	76,47	8,04	< 0,10	< 0,15	117,5	1486	158,6	7,4	477,6	355,9	19,2
8	24,45	28,16	13,19	3,46	244	< 10	< 20	3,14	< 0,10	< 0,15	< 3,3	38,5	< 3,3	7,4	377,3	281,2	17,7
9	36,32	13,37	11,69	2,31	122	12,31	28,19	44,37	< 0,10	< 0,15	3,5	22,3	< 3,3	7,4	334,5	249,3	14,6
10	34,54	6,68	7,02	2,53	122	< 10	40,27	< 2,5	< 0,10	< 0,15	< 3,3	1242	193,8	7,6	261,8	195,1	11,4
Πηγές																	
11	3,46	1,29	3,46	0,86	24	< 10	< 20	< 2,5	< 0,10	< 0,15	4,2	10,4	< 3,3	7,2	43,4	32,3	1,4
12	5,96	1,54	4,22	2,23	37	< 10	< 20	< 2,5	< 0,10	< 0,15	< 3,3	< 10	< 3,3	6,6	59,5	44,3	2,1
13	5,05	1,13	3,6	1,43	37	< 10	< 20	< 2,5	< 0,10	< 0,15	< 3,3	< 10	< 3,3	6,9	54,7	40,8	1,7
14	6,37	2,66	4,48	1,83	49	< 10	< 20	< 2,5	< 0,10	0,21	22,5	18,2	< 3,3	7,3	71,8	53,5	2,7
15	7,14	3,3	3,61	0,69	37	< 10	< 20	2,97	< 0,10	< 0,15	124,9	84,2	< 3,3	6,6	75,2	56	3,1

Τέλος, σε αντίθεση με τις γεωτρήσεις το νερό των πηγών δεν εμφανίζει μεγάλες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, καθώς οι περιεκτικότητες του σιδήρου, του αργιλίου και του μαγγανίου είναι εντός των νομοθετικών ορίων, ενώ αρσενικό δεν εντοπίστηκε σε καμία χημική ανάλυση.

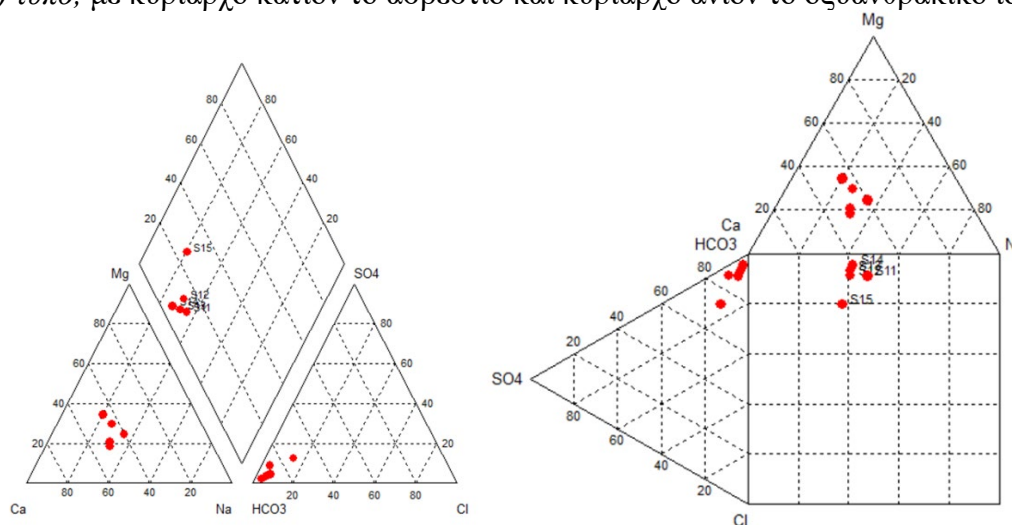
Υδροχημικοί τύποι νερού- Διαγράμματα Piper και Durov

Με βάση τα διαγράμματα Piper και Durov (**Εικόνα 4.24**) τα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων κατατάσσονται στον τύπο *ασβεστούχα –οξυανθρακικά* ($Ca-HCO_3$) με κυρίαρχο κατιόν το ιόν του ασβεστίου και κυρίαρχο ανιόν το οξυανθρακικό ιόν.



Εικόνα 4.23. Διάγραμμα Piper (αριστερά) και Durov (δεξιά) των υπόγειων νερών από γεωτρήσεις του Δήμου Φλώρινας (περίοδος Σεπτεμβρίου 2023).

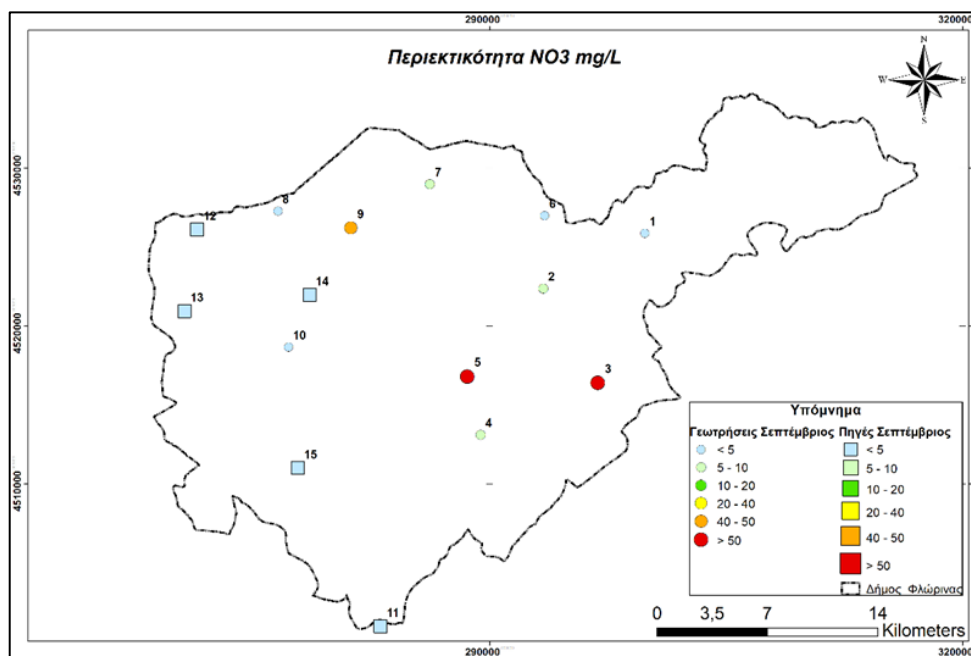
Παρόμοια αποτελέσματα, με αυτά των γεωτρήσεων παρουσιάζουν και οι πηγές του Δήμου Φλώρινας (**Εικόνα 4.25**), με τα νερά να ανήκουν στον *ασβεστούχο –οξυανθρακικό* ($Ca-HCO_3$) τύπο, με κυρίαρχο κατιόν το ασβέστιο και κυρίαρχο ανιόν το οξυανθρακικό ιόν.



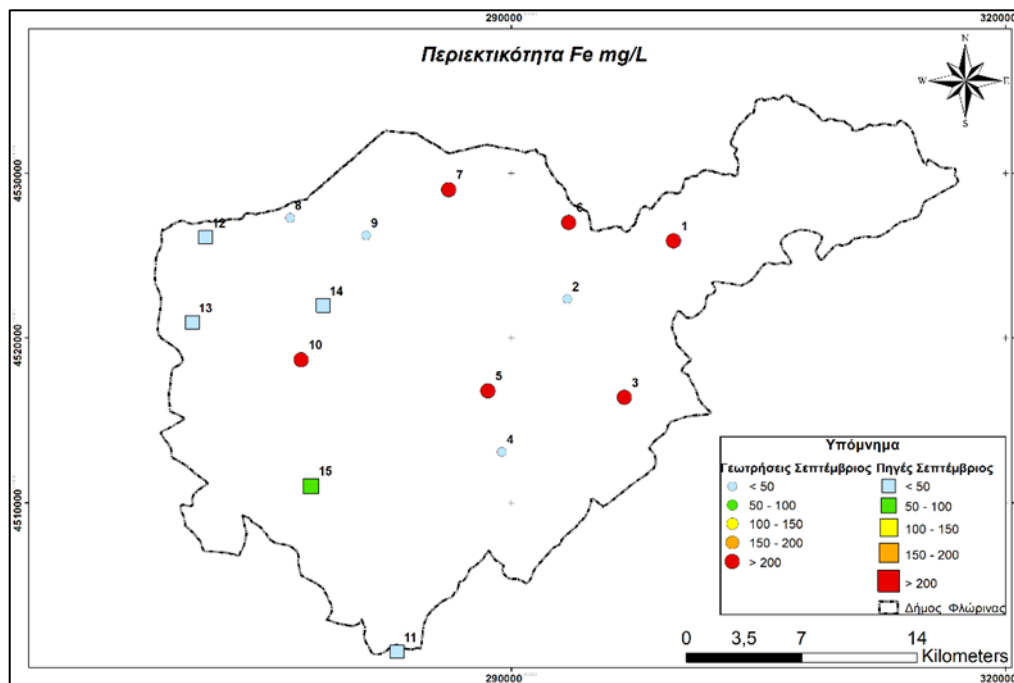
Εικόνα 4.24. Διάγραμμα Piper (αριστερά) και Durov (δεξιά) των υπόγειων νερών από πηγές του Δήμου Φλώρινας (περίοδος Σεπτεμβρίου 2023).

Υδροχημικοί χάρτες Σεπτεμβρίου 2023

Από τους υδροχημικούς χάρτες του Σεπτεμβρίου, ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι χάρτες κατανομής του ολικού σιδήρου Fe^{2+} (Εικόνα 4.27) και τα νιτρικά ιόντα NO_3^- (Εικόνα 4.28).



Εικόνα 4.25. Υδροχημικός χάρτης κατανομής νιτρικών ιόντων (περίοδος Σεπτεμβρίου 2023).



Εικόνα 4.26. Υδροχημικός χάρτης κατανομής ολικού σιδήρου (περίοδος Σεπτεμβρίου 2023).

4.5 Τρωτότητα

Τρωτότητα ή ρυπαντική επιδεκτικότητα του υπόγειου νερού, είναι η ευαισθησία αυτού ή επιδεκτικότητά του, έναντι στους εξωτερικούς ρύπους. Η τρωτότητα ως έννοια, περιλαμβάνει τόσο τα χαρακτηριστικά του ρύπου, την απόσταση από την εστία ρύπανσης, όσο και τις υδρογεωλογικές συνθήκες του υδροφορέα. Διακρίνεται σε ειδική που αφορά συγκεκριμένο ρυπαντή και σε γενική ή αλλιώς ιδιοτρωτότητα η οποία εστιάζει στα χαρακτηριστικά του υδροφορέα και της ακόρεστης ζώνης, χωρίς να επικεντρώνεται σε συγκεκριμένο ρυπαντή.

Γενικότερα, η εκτίμηση της τρωτότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με την μέθοδο της βαθμονόμησης, είτε με στατιστική επεξεργασία, είτε με προγράμματα προσομοίωσης. Μια από τις κυριότερες μεθόδους βαθμονόμησης, με ευρεία εξάπλωση και εφαρμογή στον ελληνικό χώρο είναι η μέθοδος DRASTIC. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία περιλαμβάνει 7 διαφορετικές παραμέτρους:

- 1) Την απόσταση της στάθμης του υπόγειου νερού από την επιφάνεια (**Depth**)
- 2) Η ενεργή κατείσδυση (**Recharge**)
- 3) Τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα (**Aquifer**)
- 4) Τα χαρακτηριστικά του εδάφους (**Soil**)
- 5) Την τοπογραφία και κυρίως την κλίση του εδάφους (**Topography**)
- 6) Τα χαρακτηριστικά της ακόρεστης ζώνης (**Impact of the vadose zone**)
- 7) Η υδροπερατότητα του υδροφορέα (**Hydraulic Conductivity**)

Ο υπολογισμός του δείκτη γίνεται μέσα από την εξίσωση :

$$DI = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw$$

Όπου το r εκφράζει τιμή της κάθε παραμέτρου και το w αποτελεί την βαρύτητα της κάθε παραμέτρου.

4.5.1 Τρωτότητα προσχωματικού υδροφορέα Φλώρινας.

Στην περιοχή μελέτης και συγκεκριμένα για τον προσχωματικό υδροφορέα της λεκάνης, έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες εκτίμησης της τρωτότητας. Η μέθοδος DRASTIC, που εφαρμόστηκε (Μανδραλή, 2017), έδωσε σημαντικές πληροφορίες για το πώς ανταποκρίνεται ο υπόγειος υδροφορέας σε εξωτερικούς ρύπους.

Αρχικά, για το βάθος του υπόγειου νερού (**D**) λήφθηκαν δεδομένα 59 γεωτρήσεων, με τη στάθμη να διακυμαίνεται από τα 0 έως και τα 64 περίπου μέτρα. Επειδή, το βάθος της στάθμης παίζει σημαντικό ρόλο στον τρόπο με τον οποίο διαδίδεται ο ρύπος, δόθηκε βαρύτητα 5, ενώ η βαθμονόμηση περιλαμβάνει μια κλίμακα από το 1 για βάθη μεγαλύτερα από 20 μέτρα, μέχρι και 10 για μικρό βάθος υπόγειου νερού. Γενικότερα η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια στο Νότιο και ΒΔ τμήμα της περιοχής.

Η τροφοδοσία (**R**), ορίστηκε με βάση την κατείσδυση και τη βροχόπτωση της περιοχής. Συγκεκριμένα, σε σχηματισμούς που ευνοούν την κατείσδυση του νερού, δόθηκαν μεγαλύτερες τιμές, ενώ η βαρύτητα αυτής της παραμέτρου έχει τιμή 4.

Παράλληλα, για το υλικό του υδροφορέα (Α) έγινε βαθμονόμηση βάσει λιθολογίας, με τα πιο αργιλώδη υλικά να παίρνουν τιμή 2, ενώ όσο τα κλάσμα γίνεται πιο χονδρόκοκκο τόσο αυξάνεται και η τιμή της βαθμονόμησης με τις κροκάλες να δέχονται τιμή 7.

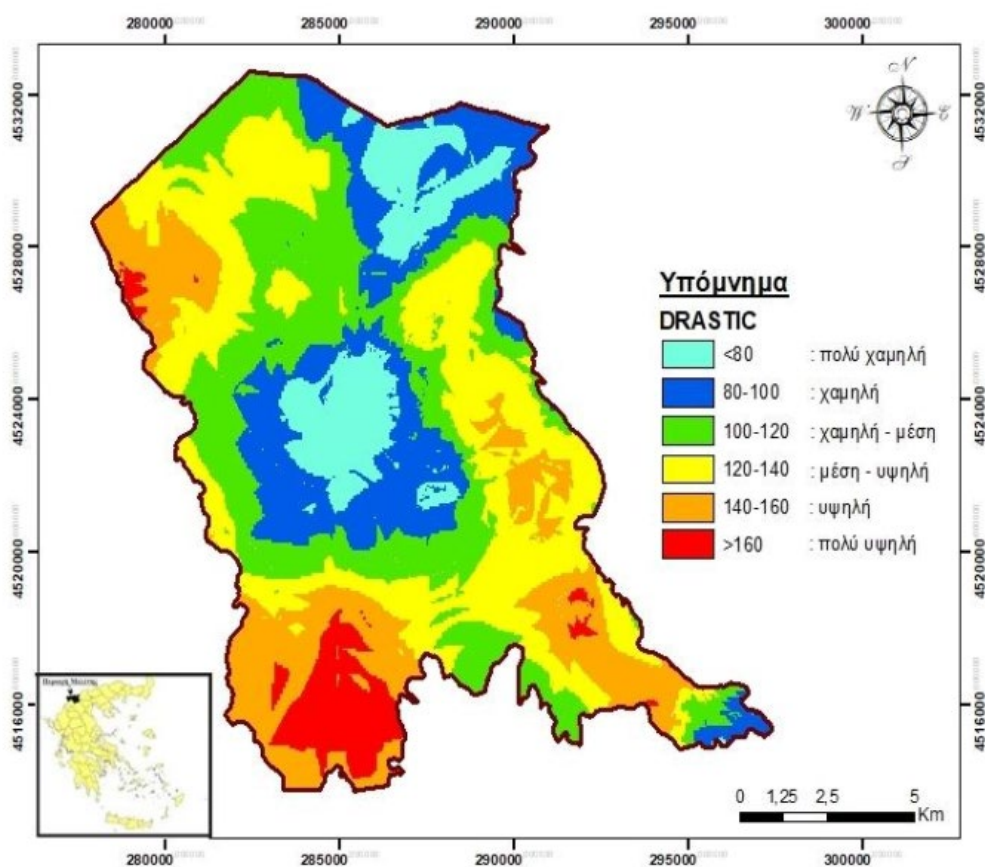
Παρόμοια, πρακτική εφαρμόστηκε και στον όρο του εδάφους (S), όπου ορίστηκε βαρύτητα 2, και η βαθμονόμηση έγινε βάσει κοκκομετρίας.

Η κλίση του εδάφους (T), εκτιμήθηκε με τη χρήση ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου ή αλλιώς DEM, και η βαρύτητα της ορίστηκε ίση με 1. Η βαθμονόμηση περιλαμβάνει τιμές από το 1 για κλίσει μικρότερες από 20%, και τιμές ίσες με 10 για κλίσεις 0-2%.

Η ακόρεστη ζώνη (I), η οποία αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την εξασθένηση των ρύπων, έχει βαρύτητα 5, ενώ η βαθμονόμηση λαμβάνει υπόψη τη λιθολογία. Παρουσία αργίλου συνεπάγεται καλύτερη απορρόφηση και εξασθένηση του ρύπου, οπότε οι τιμές που δίνονται είναι μικρές ενώ για πιο αδρομερή υλικά όπως οι κροκάλες και τα χαλίκια η τιμή της βαθμονόμησης είναι ίση με 9 και 8, αντίστοιχα.

Τέλος, η υδραυλική αγωγιμότητα (C) του υδροφορέα εκτιμάται από δοκιμαστικές αντλήσεις. Η τρωτότητα ενός υδροφορέα αυξάνεται με την αύξηση του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας, καθώς ο ρύπος κινείται με μεγαλύτερη ευκολία στον υδροφορέα. Η βαρύτητα της παραμέτρου ορίστηκε ίση με 3, ενώ η βαθμονόμηση κυμαίνεται από 2 έως 7 ανάλογα με την τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας.

Ο συνδυασμός σε περιβάλλον GIS όλων των παραπάνω παραμέτρων δίνει τον τελικό χάρτη τρωτότητας της περιοχής μελέτης (Εικόνα 4.27).



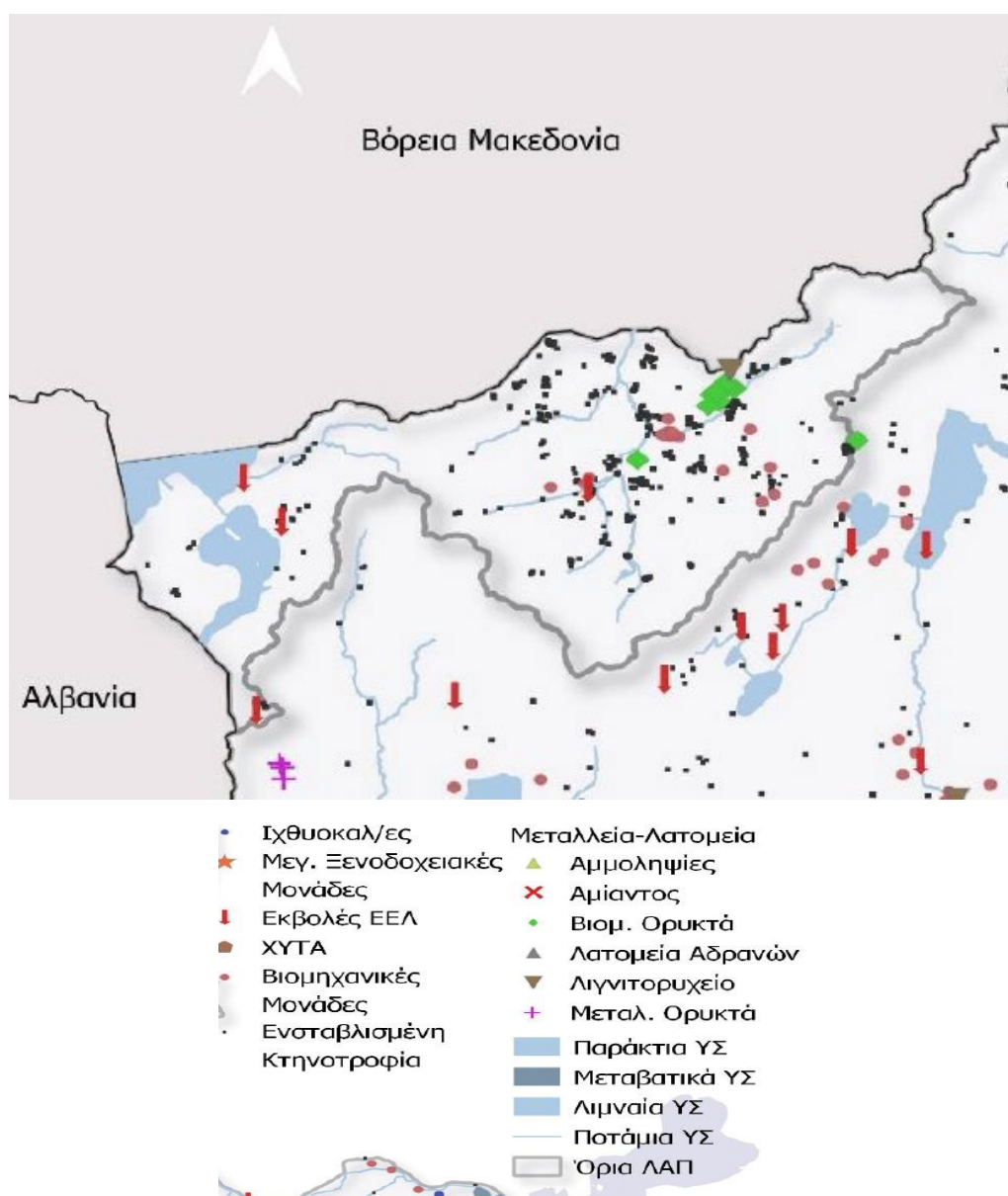
Εικόνα 4.27. Τελικός χάρτης τρωτότητας του προσχωματικού υδροφορέα Φλώρινας (Μανδραλή, 2017).

Συμπεραίνεται ότι στο κεντρικό και ΒΑ τμήμα του υδροφορέα η τρωτότητα είναι χαμηλή έως πολύ χαμηλή. Οι τιμές αυξάνονται στο ΒΔ/κό και ΝΑ/κό τμήμα, όπου η τρωτότητα χαρακτηρίζεται υψηλή, ενώ πολύ υψηλή είναι στο ΝΔ/κό τμήμα της περιοχής. Η συσχέτιση του τελικού χάρτη με τα δεδομένα των παραμέτρων ξεχωριστά, παρουσιάζει αύξηση της τρωτότητας σε περιοχές, όπου:

- Η στάθμη του νερού βρίσκεται σε μικρά βάθη.
- Το υλικό του υδροφορέα αποτελείται από χονδρόκοκα υλικά (κροκάλες -χαλίκια).
- Οι κλίσεις είναι μικρότερες από 2%.

Πιθανές πηγές ρύπανσης

Στον χάρτη της Εικόνας 4.28 παρουσιάζονται οι πιθανές πηγές ρύπανσης στην περιοχή του Δήμου Φλώρινας. Από τον χάρτη αυτόν προκύπτει ότι οι κυριότερες πιθανές πηγές ρύπανσης είναι οι μονάδες ενσταβλισμένης κτηνοτροφίας.



Εικόνα 4.28. Πιθανές πηγές ρύπανσης (Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Δυτικής Μακεδονίας).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΖΩΝΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΥΔΑΤΩΝ

5.1 Γενικά

Τα υδροληπτικά έργα και κατ' επέκταση το πόσιμο νερό είναι απαραίτητο να προστατεύονται από κάθε είδους δραστηριότητα που μπορεί να προκαλέσει τη ρύπανσή του, από ανθρωπογενείς δραστηριότητες ή τη μόλυνση του από μικροβιολογικούς παράγοντες. Η οριοθέτηση ζωνών γύρω από τα υδροληπτικά έργα (γεωτρήσεις, πηγάδια, πηγές) έχει ως σκοπό τον περιορισμό των δραστηριοτήτων που μπορούν να πραγματοποιηθούν εντός των ορίων και αποσκοπεί στη διασφάλιση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων.

Οι ζώνες προστασίας χωρίζονται σε τρεις υποζώνες (Βουδούρης, 2009):

- Η **ζώνη I**, η οποία χαρακτηρίζεται ως **ζώνη άμεσης προστασίας**, προστατεύει την περιοχή γύρω από την υδροληψία σε κοντινή απόσταση και αποτελεί ζώνη απαγόρευσης όλων των δραστηριοτήτων.
- Η **ζώνη II** ή αλλιώς **ελεγχόμενη ζώνη** έχει σκοπό την προστασία του υδροληπτικού έργου από μικροβιολογική μόλυνση ή από ρυπαντικές δραστηριότητες ανθρωπογενούς προέλευσης. Συνήθως αναφέρεται και ως ζώνη 50 ημερών, διότι συμβατικά θεωρούμε ότι στον υδροφορέα οι παθογόνοι οργανισμοί επιβιώνουν για ένα διάστημα περίπου 50 ημερών. Στην πραγματικότητα, ο χρόνος παραμονής των μικροβίων εξαρτάται από παράγοντες όπως η ταχύτητα με την οποία ρέει το νερό, η λιθολογία του υδροφορέα, το πάχος της ακόρεστης ζώνης, τον χημικό τύπο του νερού κ.λπ. Γενικά, η ταχύτητα των μικροβίων προσεγγιστικά θεωρείται ίση με τα 2/3 της ταχύτητας του υπόγειου νερού.
- Η **ζώνη III** αποτελεί τη **ζώνη χημικής προστασίας**, συνήθως αναφέρεται και ως επιτηρούμενη ζώνη. Η ζώνη αυτή περικλείει τη ζώνη II και εκτείνεται μέχρι την περιοχή τροφοδοσίας. Η ζώνη III αποσκοπεί στην προστασία του υδροληπτικού έργου από χημικά παράγωγα και ραδιενεργές ουσίες.

5.2 Διαδικασία οριοθέτησης ζωνών.

5.2.1 Ζώνη προστασίας I

Για τη ζώνη I, δεχόμαστε ότι σε περιπτώσεις γεωτρήσεων περιλαμβάνει μια απόσταση σε ακτίνα 10 – 30 m, γύρω από αυτή. Στην περίπτωση πηγής, περιλαμβάνει την περιοχή ανάντη σε έκταση > 20 m, την περιοχή κατάντη 2 – 5 m και τις εγκαταστάσεις της.

5.2.2 Ζώνη προστασίας II

Ο καθορισμός της ζώνης II αποτελεί τη δυσκολότερη περίπτωση. Για την οριοθέτησή της, υπολογίζονται οι ισόχρονες γραμμές των 50 ημερών είτε με τη χρήση πιεζομετρικών χαρτών, είτε με την εφαρμογή τύπων, γνωρίζοντας τις υδραυλικές παραμέτρους του υδροφορέα. Συγκεκριμένα, προτείνονται δύο μαθηματικές εκφράσεις για τον υπολογισμό του της ακτίνας L_{50} :

1. $L_{50} = u_{\pi} * 50$ με το L_{50} να αποτελεί την απόσταση του υδροληπτικού έργου από την περίμετρο της ζώνης προστασίας II (m) και u_{π} είναι η πραγματική ταχύτητα ροής εκφρασμένη σε m/d. Η πραγματική ταχύτητα μπορεί να υπολογιστεί είτε γνωρίζοντας τη φαινόμενη ταχύτητα Darcy και το ενεργό πορώδες (n_e) με τη σχέση $u_{\pi} = v_{\phi}/n_e$ είτε με γνωστές τις παραμέτρους της υδραυλικής κλίσης (i) και του υδραυλικού φορτίου (k) και την αξιοποίηση της σχέσης $u_{\pi} = k * i/n_e$.
2. $L_{50} = [(V_w/D * n_e * \pi)] * 1/2$ όπου V_w είναι ο όγκος νερού που αντλείται σε περίοδο 50 ημερών (m^3), D είναι το πάχος του υδροφορέα και το π ισούται με 3,14.

5.2.3 Ζώνη προστασίας III

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η ζώνη προστασίας III, συμπίπτει στις περισσότερες περιπτώσεις με την περιοχή τροφοδοσίας του υδροληπτικού έργου. Γενικά, για την οριοθέτησή της χρησιμοποιούνται οι εξής τρόποι (Βουδούρης, 2009):

- Με πιεζομετρικούς χάρτες.
- Με την αξιοποίηση των υδραυλικών παραμέτρων και τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.
- Από τη σχέση $A_r = Q/I$, όπου A_r = Η περιοχή τροφοδοσίας εκφρασμένη σε (Km^2), Q = ο αντλούμενος όγκος νερού για περίοδο ενός έτους ($m^3/year$) και I = η κατείσδυση ($m^3/year/km^2$). Ενώ η ακτίνα της ζώνης δίνεται από τη σχέση:

$$r = \sqrt{A_r/\pi}$$

- Με τη χρήση τόσο αριθμητικών, όσο και αναλυτικών δεδομένων.
- Με τον καθορισμό της ζώνης υδρομάστευσης ή ανάκτησης.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εκτιμήθηκε με βάση τον καθορισμό του υδροκρίτη της ζώνης τροφοδοσίας.

5.3 Προσδιορισμός ζωνών προστασίας στην περιοχή μελέτης

Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκαν συγκεκριμένες γεωτρήσεις εντός και εκτός του προσχωματικού υδροφορέα Φλώρινας, ανάλογα με τα διαθέσιμα υδρογεωλογικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, οριοθετήθηκαν οι τρεις ζώνες για τις γεωτρήσεις:

- Νέος Καύκασος (ΝΚΑ)
- Μαρίνα (ΜΑΡ)
- Νεοχωράκι (ΝΕΟ)
- Συστάδα γεωτρήσεων Ιτέα (IT1, IT2, IT3)
- Βεύη (ΒΕ)
- Αχλάδα (ΑΧΛ)
- Συστάδα γεωτρήσεων Μεσοχωρίου (ΜΕΣ1, ΜΕΣ2, ΜΕΣ3)

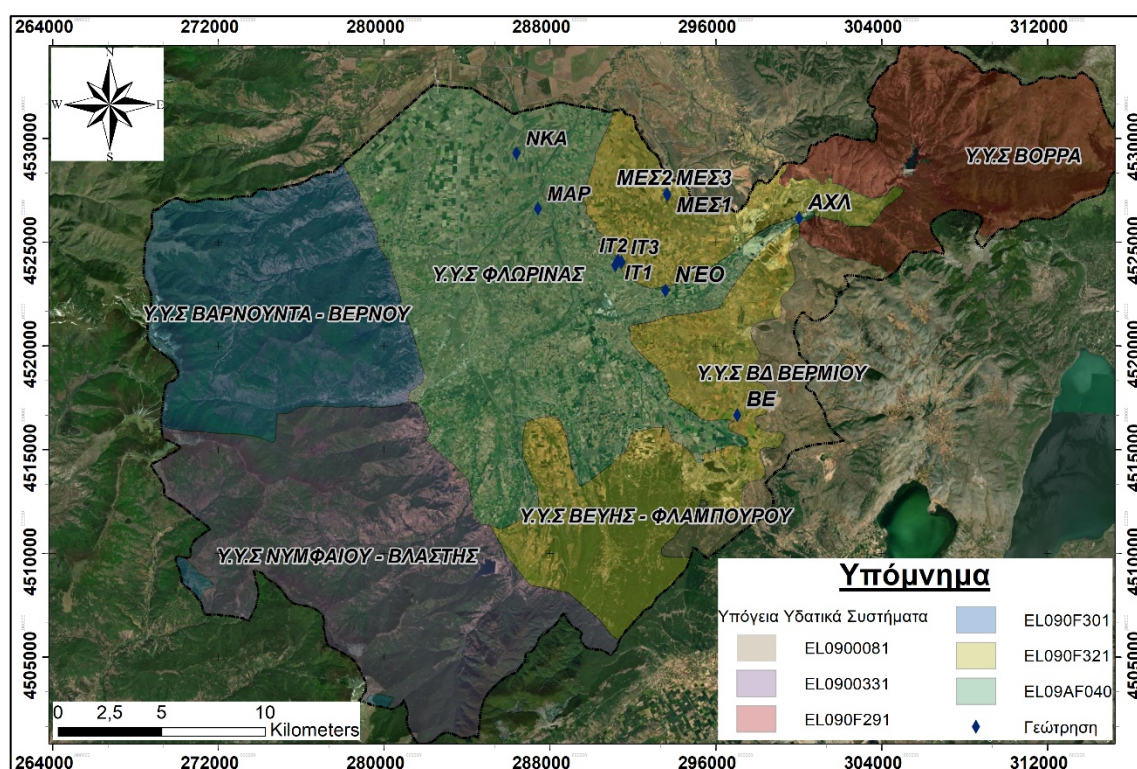
Η ακτίνα της ζώνης I, που αποτελεί την άμεση περιοχή της γεώτρησης προσδιορίστηκε στα 20 m. Για τη ζώνη προστασίας II, χρησιμοποιήθηκαν αντλητικά δεδομένα από

προηγούμενες μελέτες Στάμος (2010) και Βασιλειάδης (2005) με την εφαρμογή των εξισώσεων:

$$L_{50} = [(V_w/D * n_e * \pi)] * 1/2. \quad (5.1)$$

$$L_{50} = v_{\pi} * 50 \quad (5.2)$$

Τέλος, να σημειωθεί ότι εξαιτίας της έλλειψης αντλητικών δεδομένων και για μεγαλύτερη ασφάλεια ο υπολογισμός της ζώνης προστασίας II, έγινε για διάστημα άντλησης 365 ημερών.



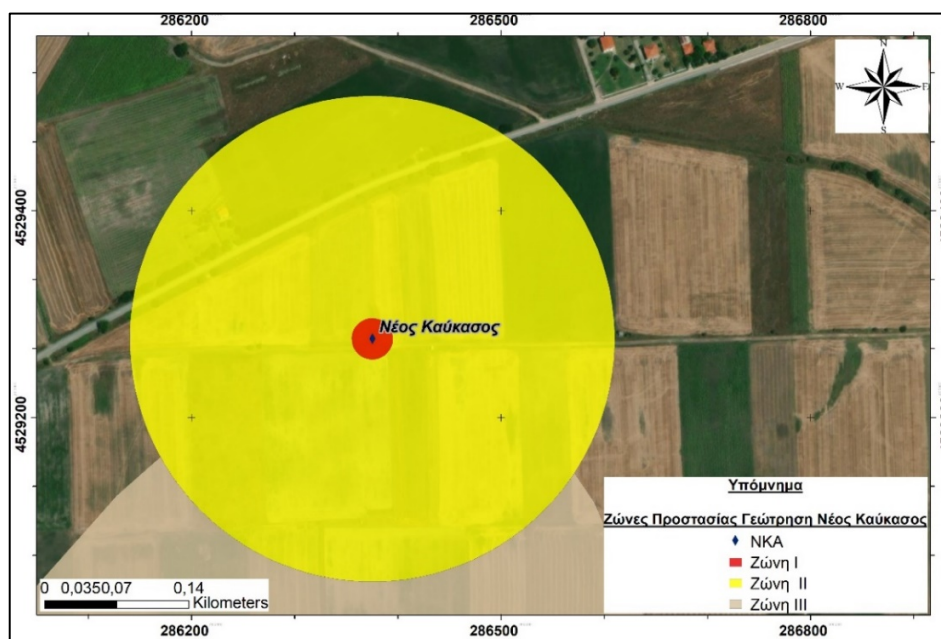
Εικόνα 5.1. Οι γεωτρήσεις για τις οποίες οριοθετήθηκαν οι ζώνες προστασίας σε σχέση με τα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα του Δήμου Φλώρινας που ανήκουν.

5.3.1 Γεώτρηση Νέος Καύκασος

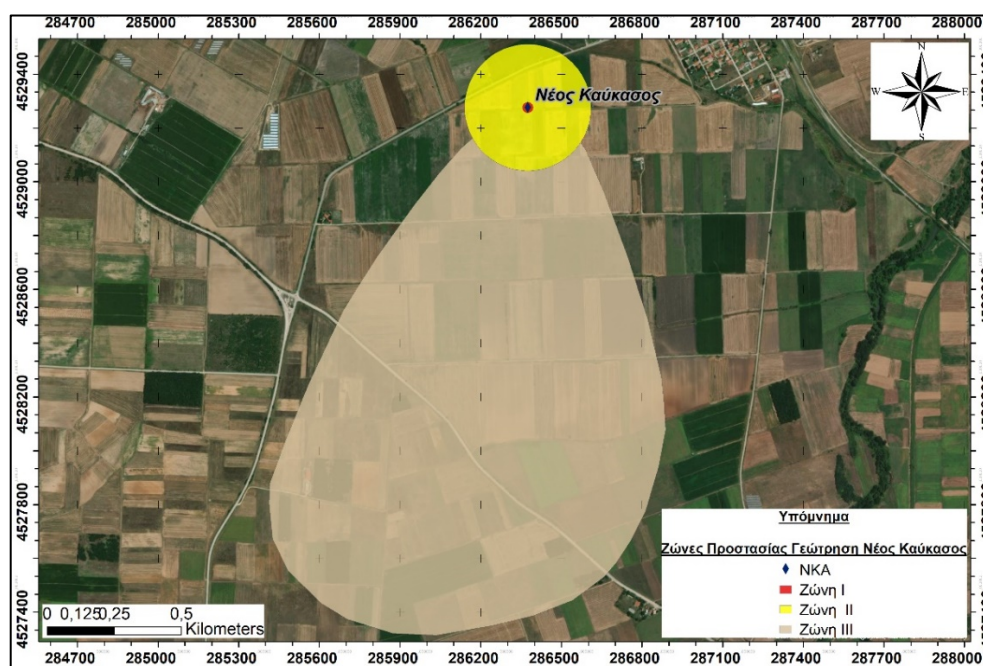
Η συγκεκριμένη γεώτρηση εντοπίζεται στο κεντρικό τμήμα του Δήμου, εντός καλλιεργούμενων εκτάσεων και αντλεί νερό από τον προσχωματικό υδροφορέα της λεκάνης Φλώρινας. Η ζώνη I, καθορίστηκε γύρω από τη γεώτρηση σε ακτίνα 20 m. Η ζώνη 2 με βάση τα αντλητικά δεδομένα χαρακτηρίστηκε στα 235 m, για χρονικό διάστημα 365 ημερών εξίσωσή 5.1, ενώ με την εξίσωση 5.2, προσδιορίστηκε στα 245 m. Η ζώνη III, περιλαμβάνει την πιο απομακρυσμένη περιοχή της γεώτρησης, καλύπτοντας την περιοχή τροφοδοσίας της. Από την οριοθέτηση των ζωνών προκύπτει ο παρακάτω πίνακας με την περιοχή που καταλαμβάνει η κάθε ζώνη ξεχωριστά.

Πίνακας 5.1. Έκταση των ζωνών προστασίας στη γεώτρηση Νέος Καύκασος.

Ζώνη Προστασίας	Έκταση			Ακτίνα
	m ²	Km ²	%	m
Ζώνη I	1250	0,0013	0,1	20
Ζώνη II	173453	0,1735	8,2	235
Ζώνη III	1951260	1,9513	91,8	-
Σύνολο	2125963	2,13	100	-



Εικόνα 5.2. Ζώνες προστασίας I και II, στη γεώτρηση Νέος Καύκασος.



Εικόνα 5.3. Ζώνες προστασίας I, II και III, στη γεώτρηση Νέος Καύκασος.

Εντός των ορίων της ζώνης I, απαγορεύεται ρητά η κυκλοφορία οχημάτων και κάθε είδους γεωργική και κτηνοτροφική δραστηριότητα, ωστόσο στη συγκεκριμένη περίπτωση, παρατηρείται ότι εντός των ορίων της ζώνης εντοπίζονται καλλιεργούμενα εδάφη αλλά και γεωργικοί δρόμοι. Η ζώνη II, που όπως αναφέρθηκε υπολογίστηκε για χρονικό διάστημα άντλησης 365 ημερών, περιλαμβάνει και αυτή αρόσιμες εκτάσεις με πιθανή χρήση λιπασμάτων ή βόσκηση ζώων.

Εντός της ζώνης III, δεν παρατηρούνται αξιόλογες δραστηριότητες, εκτός από την παρουσία γεωργικών εκτάσεων και την πιθανή χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων.

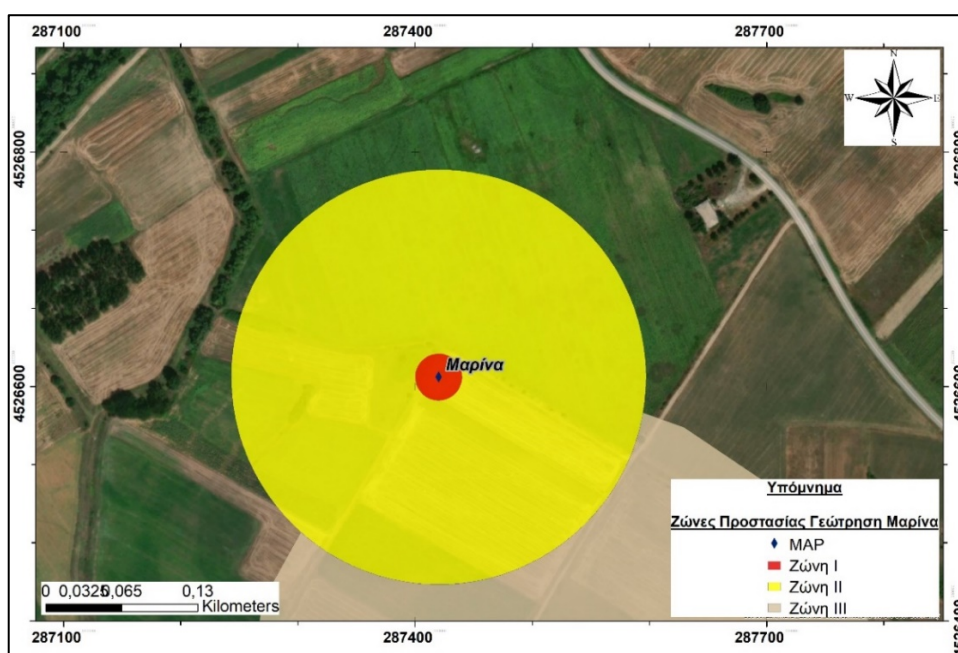
5.3.2 Γεώτρηση Μαρίνα

Η γεώτρηση στη θέση Μαρίνα, εντοπίζεται και αυτή στο κεντρικό τμήμα του Δήμου Φλώρινας, σε περιοχή που κυρίως καταλαμβάνεται από αλλουβιακές και νεογενείς αποθέσεις. Η ακτίνα της ζώνης I, όπως και σε όλες τις γεωτρήσεις προσδιορίστηκε στα 20 m.

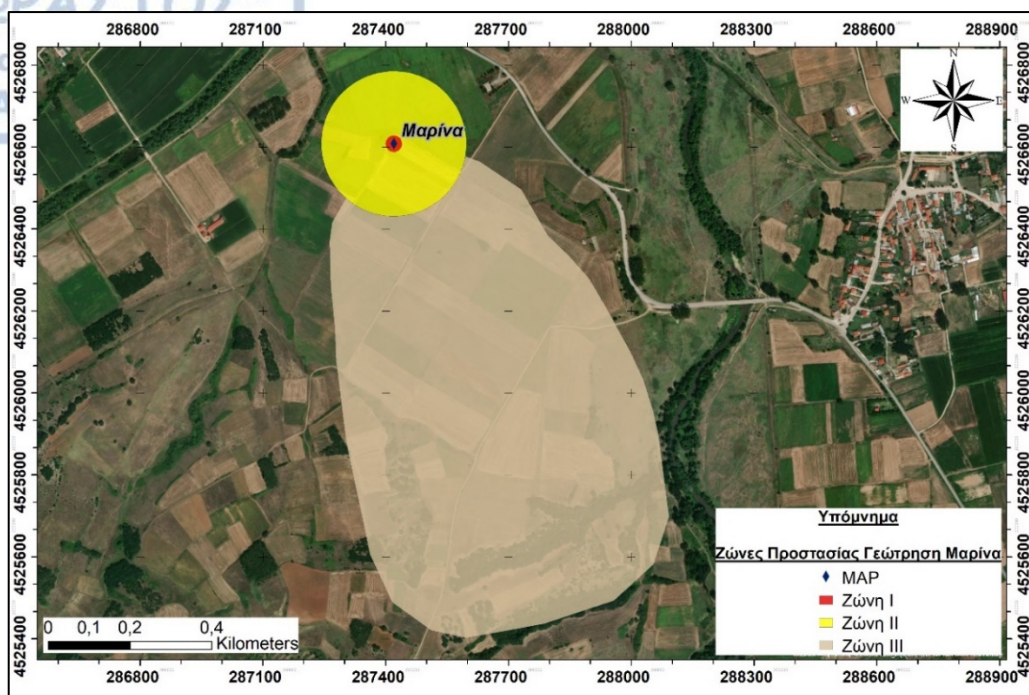
Παράλληλα, η ζώνη προστασίας II εκτιμήθηκε με βάση τα αντλητικά δεδομένα του 2005 (Βασιλειάδης) και την εξίσωση 5.1 στα 177 m, ενώ η εξίσωση 5.2 προσδιόρισε την ακτίνα της ζώνης στα 175 m. Τέλος, και σε αυτή την περίπτωση η ζώνη προστασίας III, εκτείνεται μέχρι τον υπόγειο υδροκρίτη της.

Πίνακας 5.2. Έκταση των ζωνών προστασίας στη γεώτρηση Μαρίνα.

Γεώτρηση Μαρίνα				
Ζώνη Προστασίας	Έκταση			Ακτίνα
	m ²	Km ²	%	m
Ζώνη I	1251	0,0013	0,2	20
Ζώνη II	98380	0,0984	12,3	177
Ζώνη III	701566	0,7016	87,6	-
Σύνολο	801197	0,80	100	-



Εικόνα 5.4. Ζώνη I και II της γεώτρησης στη θέση Μαρίνα.



Εικόνα 5.5. Ζώνες προστασίας I, II και III, της γεώτρησης στη θέση Μαρίνα.

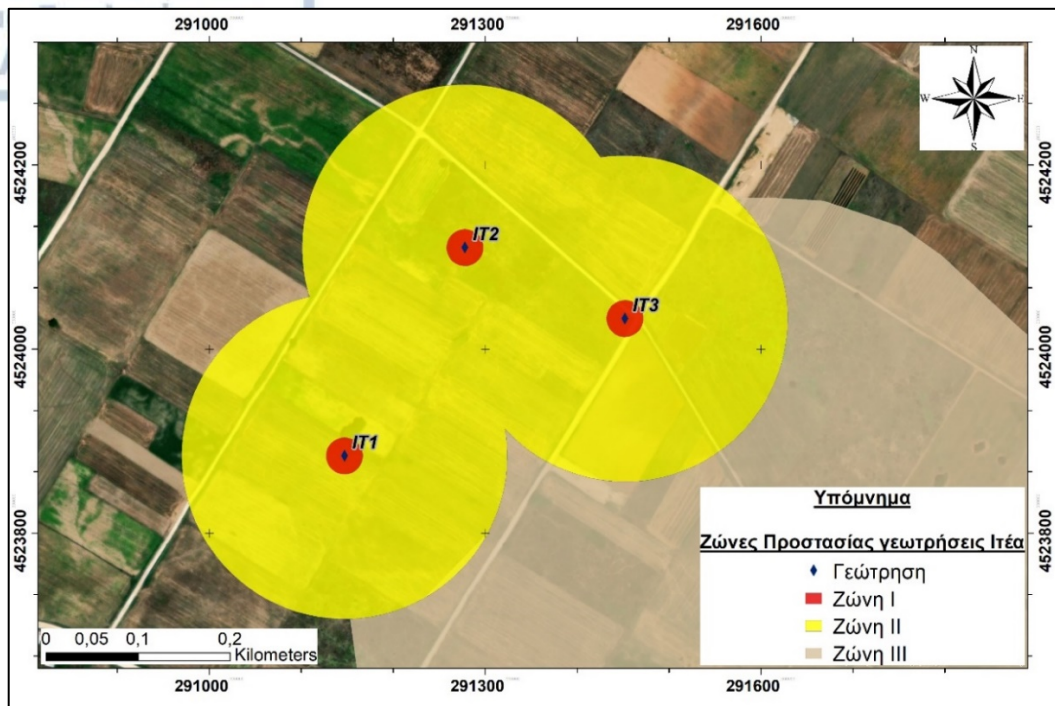
Η γεώτρηση στη θέση Μαρίνα, βρίσκεται εντός εκτάσεων γεωργικής εκμετάλλευσης. Παρατηρείται ότι εντός της ζώνης προστασίας I, πραγματοποιείται κυκλοφορία γεωργικών μηχανήματων, η καλλιέργεια και επεξεργασία του εδαφικού ορίζοντα, δραστηριότητες όπου υπό κανονικές συνθήκες απαγορεύονται. Εντός της ζώνης II, κυριαρχούν τα αγροτεμάχια και οι αγροτικοί δρόμοι, με πιθανή χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων. Ενώ, παρόμοια εικόνα παρουσιάζει και η απομακρυσμένη περιοχή που καταλαμβάνεται από τη ζώνη III, η οποία βρίσκεται εντός καλλιεργούμενων εκτάσεων.

5.3.3 Γεωτρήσεις στη θέση Ιτέα

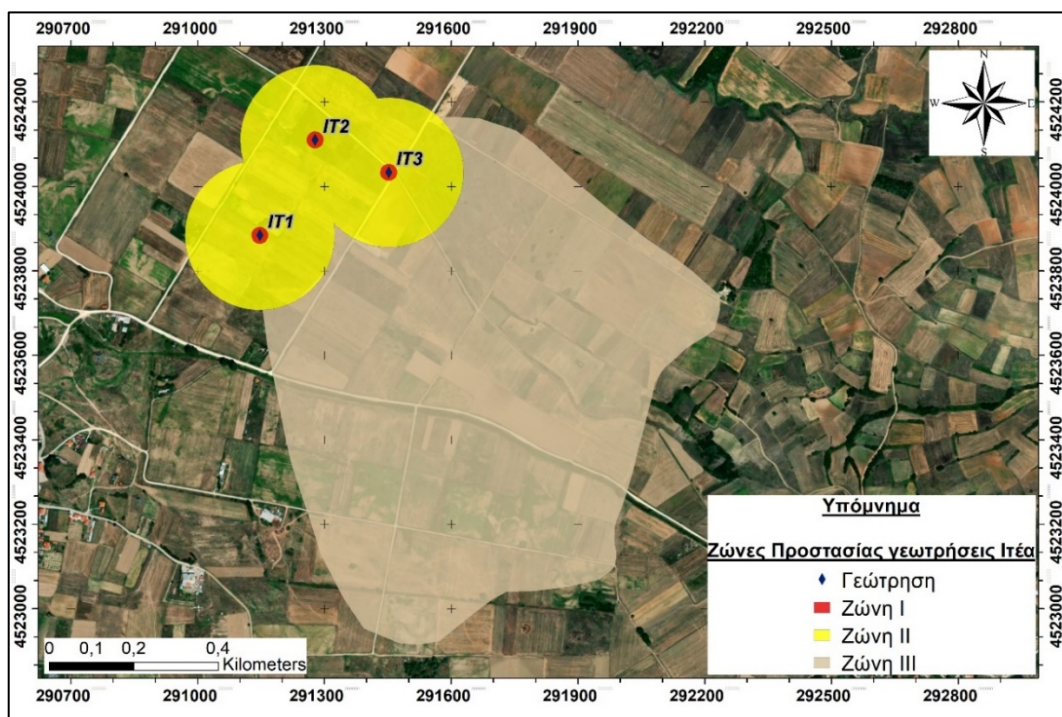
Η συγκεκριμένη συστάδα γεωτρήσεων εντοπίζεται στο ανατολικό όριο του προσχωματικού υδροφορέα Φλώρινας, στο κεντρικό μέρος του Δήμου στη θέση Ιτέα, εντός πλειστοκαινικών σχηματισμών και αλλουβιακών αποθέσεων. Η ζώνη I και σε αυτή την περίπτωση καθορίστηκε στα 20 m, ενώ η ζώνη II χαράχθηκε με ακτίνα 177 m, βάσει της εξίσωσης 5.1, ενώ η 5.2 έδωσε ως αποτέλεσμα 179 m. Η ζώνη III επεκτείνεται μέχρι τους υδροκρίτες των γεωτρήσεων.

Πίνακας 5.3. Έκταση ζωνών I,II και III, στις γεωτρήσεις Ιτέα.

Γεωτρήσεις Ιτέα				
Ζώνη Προστασίας	Έκταση			Ακτίνα
	m ²	Km ²	%	
Ζώνη I	3753	0,0038	0,4	20
Ζώνη II	245347	0,2453	23,1	177
Ζώνη III	814255	0,8143	76,6	-
Σύνολο	1063355	1,06	100	-



Εικόνα 5.6. Ζώνες I και II στις γεωτρήσεις στη θέση Ιτέα.



Εικόνα 5.7. Ζώνες I, II και III στις γεωτρήσεις στη θέση Ιτέα.

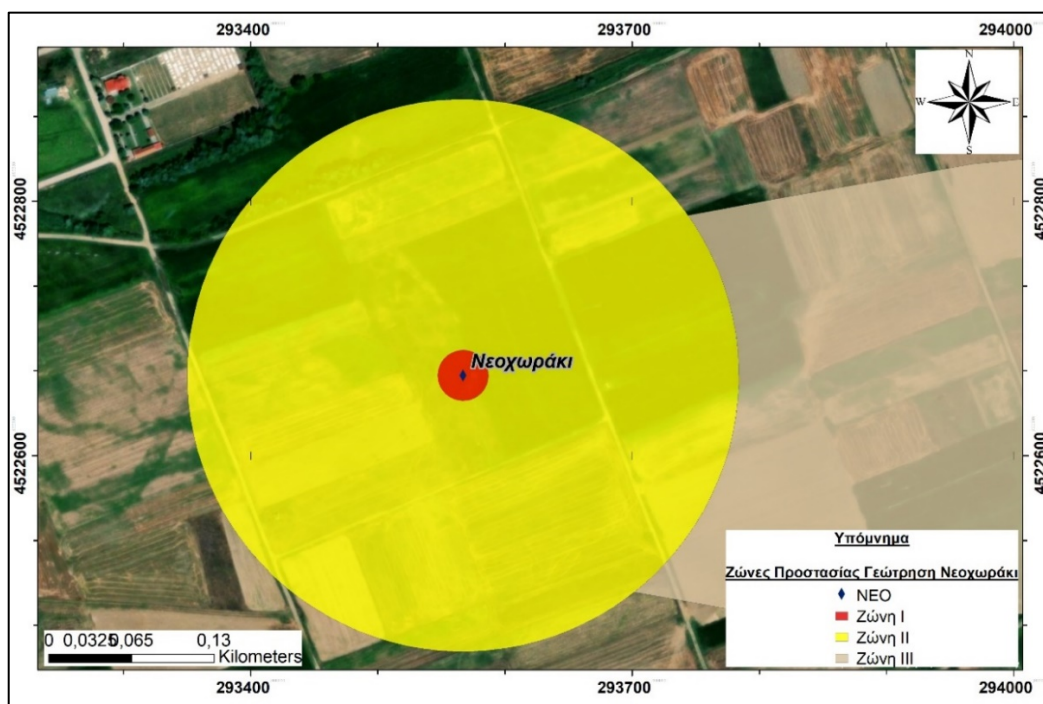
Παρατηρείται ότι και σε αυτή την περίπτωση οι ζώνες I, II και III των γεωτρήσεων βρίσκονται εντός καλλιεργούμενης γης. Είναι γνωστό ότι στις αγροτικές δραστηριότητες χρησιμοποιούνται τόσο φυτοφάρμακα, αλλά και βελτιωτικά εδάφους όπου δυνητικά μπορούν να αποτελέσουν ρύπους για τα υπόγεια νερά. Επομένως, και στη συγκεκριμένη συστάδα γεωτρήσεων δεν έχουν ληφθεί τα απαραίτητα μέτρα προστασίας της ποιότητας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.

5.3.4 Γεώτρηση Νεοχωράκι

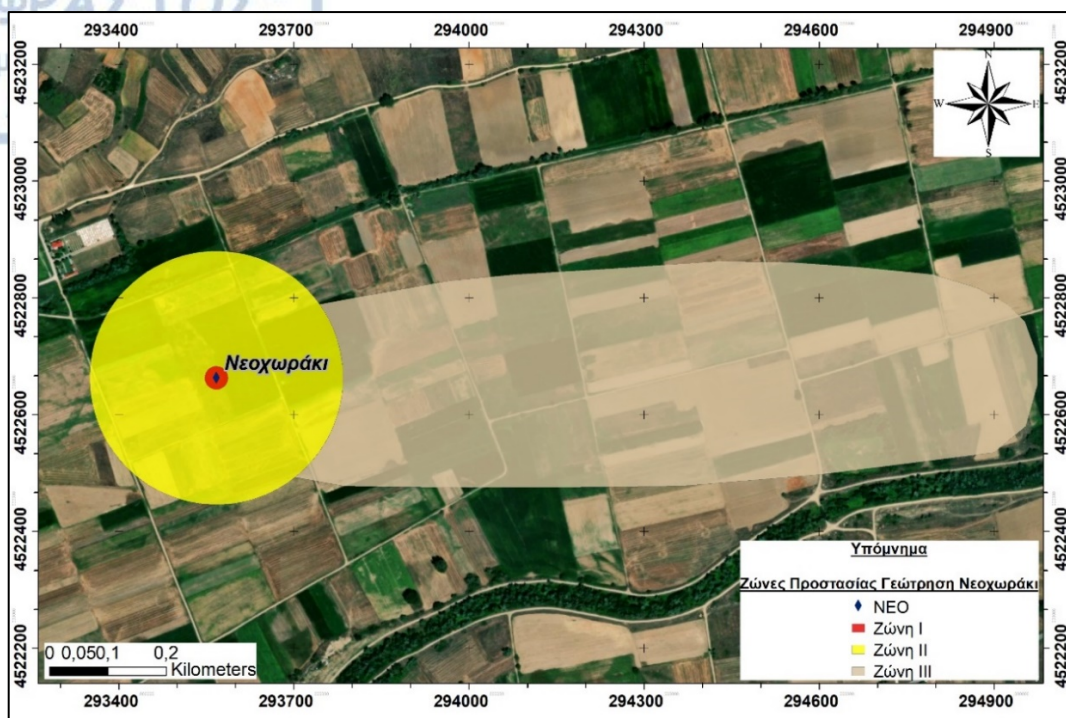
Η συγκεκριμένη γεώτρηση εντοπίζεται στο ανατολικότερο τμήμα του προσχωματικού υδροφορέα της Φλώρινας, εντός πλειστοκαινικών και νεογενών σχηματισμών. Και στη συγκεκριμένη περίπτωση η ζώνη I, καθορίστηκε με ακτίνα 20 μέτρων. Η ζώνη II, με βάση των αντλητικών δεδομένων και την εφαρμογή της εξίσωσης 5.1 προσδιορίστηκε στα 217 m, ενώ η ζώνη III επεκτείνεται μέχρι τον υπόγειο υδροκρίτη της γεώτρησης.

Πίνακας 5.4. Έκταση των ζωνών προστασίας στη γεώτρηση Νεοχωράκι.

Γεώτρηση Νεοχωράκι				
Ζώνη Προστασίας	Έκταση			Ακτίνα
	m ²	Km ²	%	
Ζώνη I	1251	0,0013	0,2	20
Ζώνη II	147881	0,1479	26,2	217
Ζώνη III	414282	0,4143	73,5	-
Σύνολο	563414	0,56	100	-



Εικόνα 5.8. Ζώνες προστασίας I και II, στη γεώτρηση Νεοχωράκι.



Εικόνα 5.9. Ζώνες προστασίας I, II και III, στη γεώτρηση Νεοχωράκι.

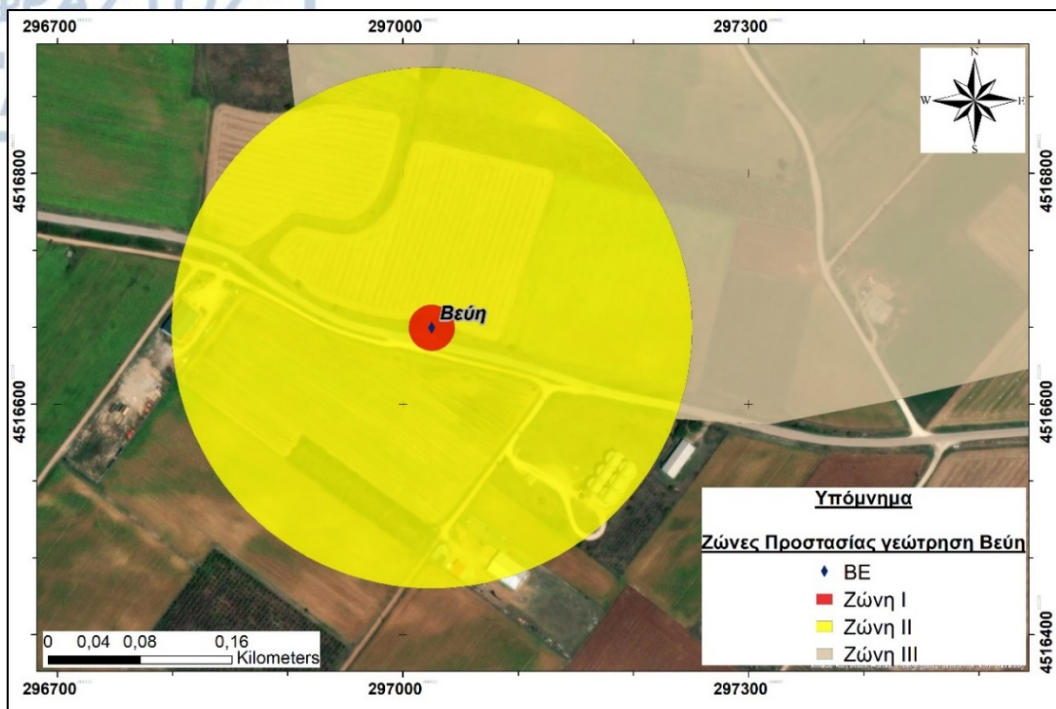
Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις παρατηρείται ότι η γεώτρηση και η ζώνη προστασίας I, βρίσκονται εντός αγροτικών εκτάσεων, η ζώνη II περιλαμβάνει τόσο δρόμους κυκλοφορίας οχημάτων όσο και καλλιεργούμενα εδάφη. Πολύ κοντά στην περιοχή της ζώνης II εντοπίζονται κοιμητήρια, γεγονός αρκετά ανησυχητικό για την προστασία και την ποιότητα των υπόγειων νερών της περιοχής. Αντίστοιχα η ζώνη III, περιλαμβάνει πλήθος καλλιεργούμενων χωραφιών, όπου κατά κανόνα γίνεται χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων.

5.3.5 Γεώτρηση Βεύη

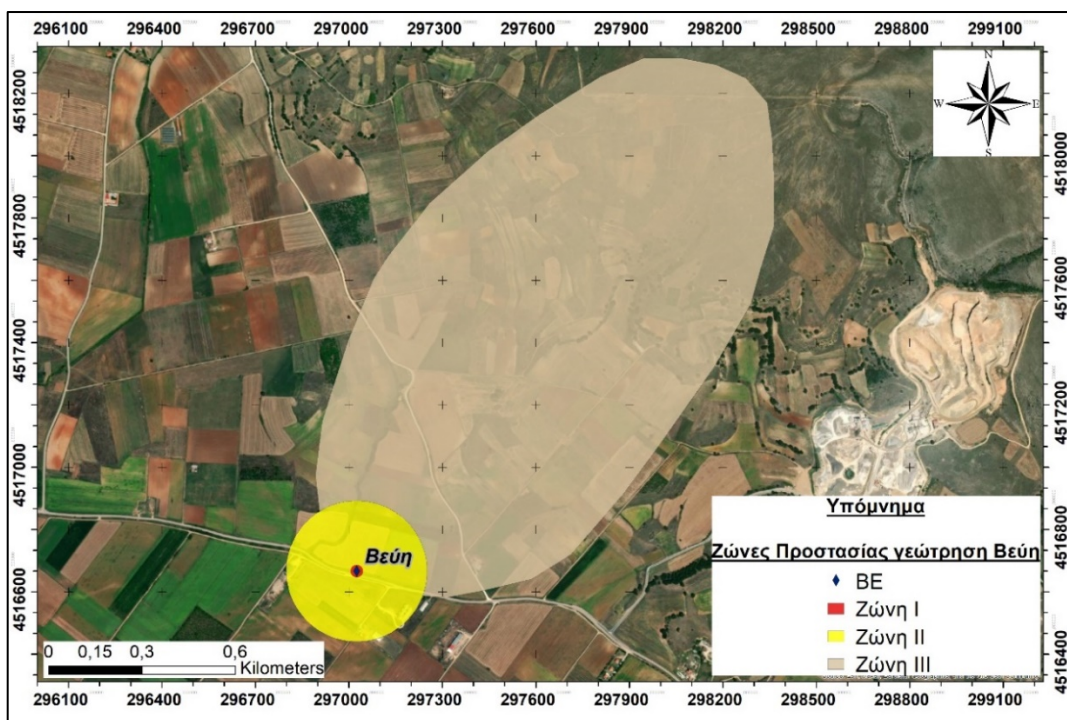
Η γεώτρηση στη θέση Βεύη εντοπίζεται στο κεντρικό τμήμα του Δήμου Φλώρινας εντός πλειστοκαινικών και νεογενών αποθέσεων. Η ζώνη I έχει ακτίνα 20 m, η ζώνη II βάσει του τύπου **5.1** υπολογίστηκε στα 226 m, ενώ η ζώνη III εκτείνεται μέχρι την ζώνη τροφοδοσίας της γεώτρησης.

Πίνακας 5.5. Έκταση των ζωνών προστασίας I,II και III στη γεώτρηση Βεύη.

Γεώτρηση Βεύη				
Ζώνη Προστασίας	Έκταση			Ακτίνα
	m ²	Km ²	%	
Ζώνη I	1250	0,0013	0,1	20
Ζώνη II	160400	0,1604	9,0	226
Ζώνη III	1615050	1,6151	90,9	-
Σύνολο	1776700	1,78	100	-



Εικόνα 5.10. Ζώνες προστασίας I και II στη γεώτρηση Βεύη.



Εικόνα 5.11. Ζώνες προστασίας I, II και III στη γεώτρηση της Βεύης.

Στη γεώτρηση της Βεύης παρατηρείται ότι η ζώνη προστασίας I εντός των ορίων της περικλείει κύριο οδικό άξονα. Παράλληλα η ζώνη I και II, βρίσκονται εντός καλλιεργούμενων εκτάσεων, ενώ η ζώνη II περιλαμβάνει και κάποιες εγκαταστάσεις αποθήκευσης σιτηρών. Η ζώνη III έχει αρκετά μεγάλη έκταση και εκτείνεται εντός αγροτικά

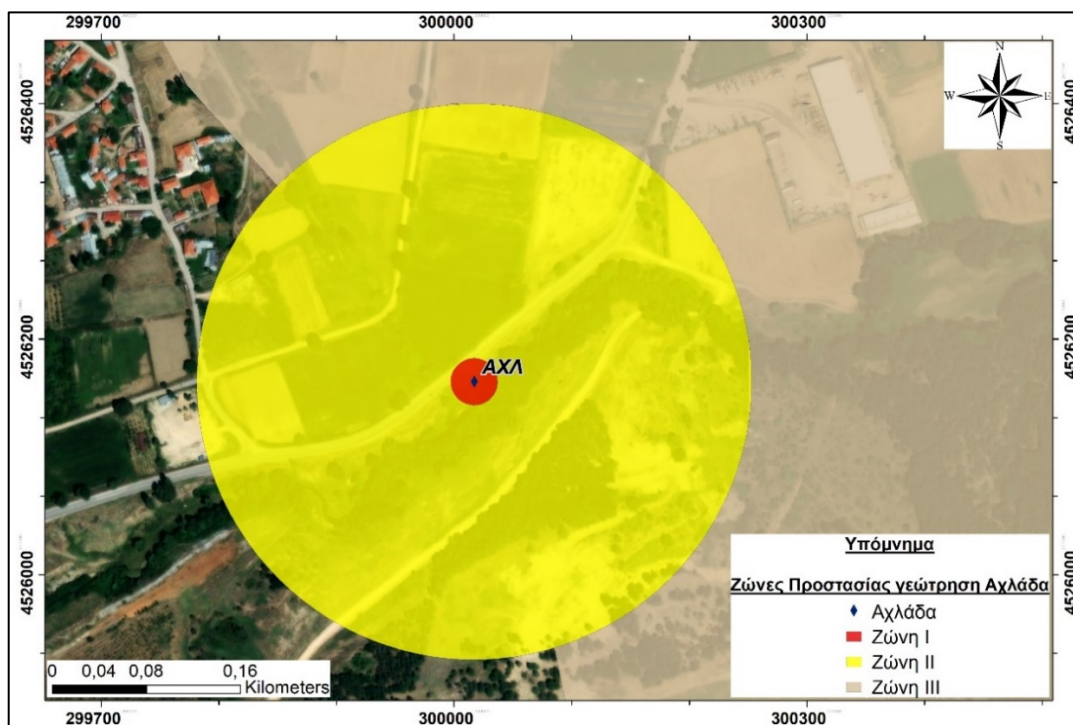
χρησιμοποιούμενων εκτάσεων, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι σε απόσταση μικρότερη των 500 m από τα όρια της ζώνης III, εντοπίζεται λατομείο.

5.3.6 Γεώτρηση Αχλάδα

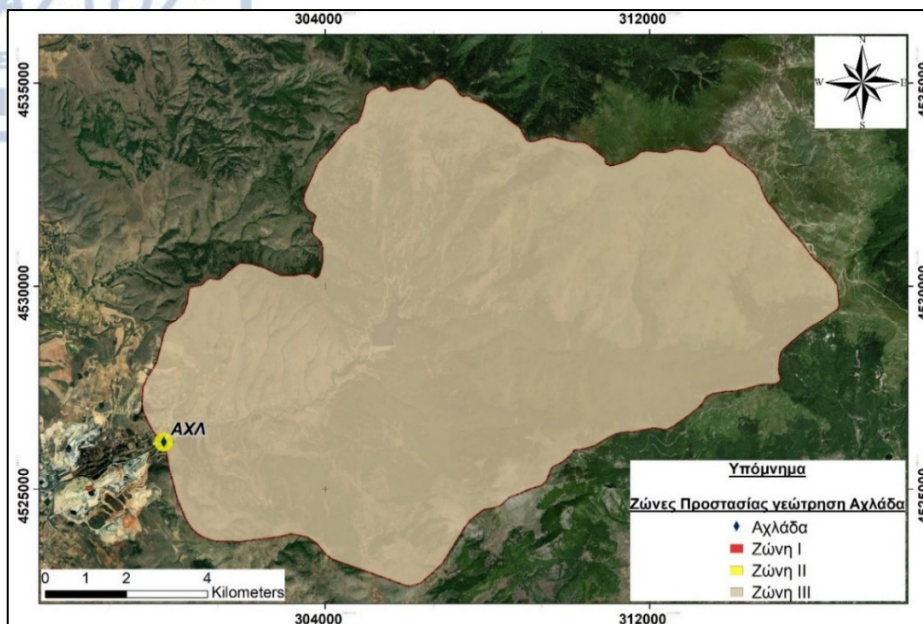
Η γεώτρηση Αχλάδα βρίσκεται στο δυτικό όριο του Δήμου Φλώρινας, εντός αλλουβιακών και πλειστοκαινικών αποθέσεων. Η ζώνη I έχει και σε αυτή την περίπτωση ακτίνα 20 m, η ζώνη II βάσει τύπου **5.1** προσδιορίστηκε στα 236 m, ενώ η ζώνη III περιλαμβάνει τη ζώνη τροφοδοσίας της γεώτρησης.

Πίνακας 5.6. Έκταση των ζωνών προστασίας στη γεώτρηση Αχλάδα.

Γεώτρηση Αχλάδα				
Ζώνη Προστασίας	Έκταση			Ακτίνα m
	m ²	Km ²	%	
Ζώνη I	1251	0,0013	0,0	20
Ζώνη II	174908	0,1749	0,1	236
Ζώνη III	124310000	124,3100	99,9	-
Σύνολο	124486159	124,49	100	-



Εικόνα 5.12. Ζώνες προστασίας I και II στη γεώτρηση Αχλάδα.



Εικόνα 5.13. Ζώνες προστασίας I, II και III στη γεώτρηση Αχλάδα.

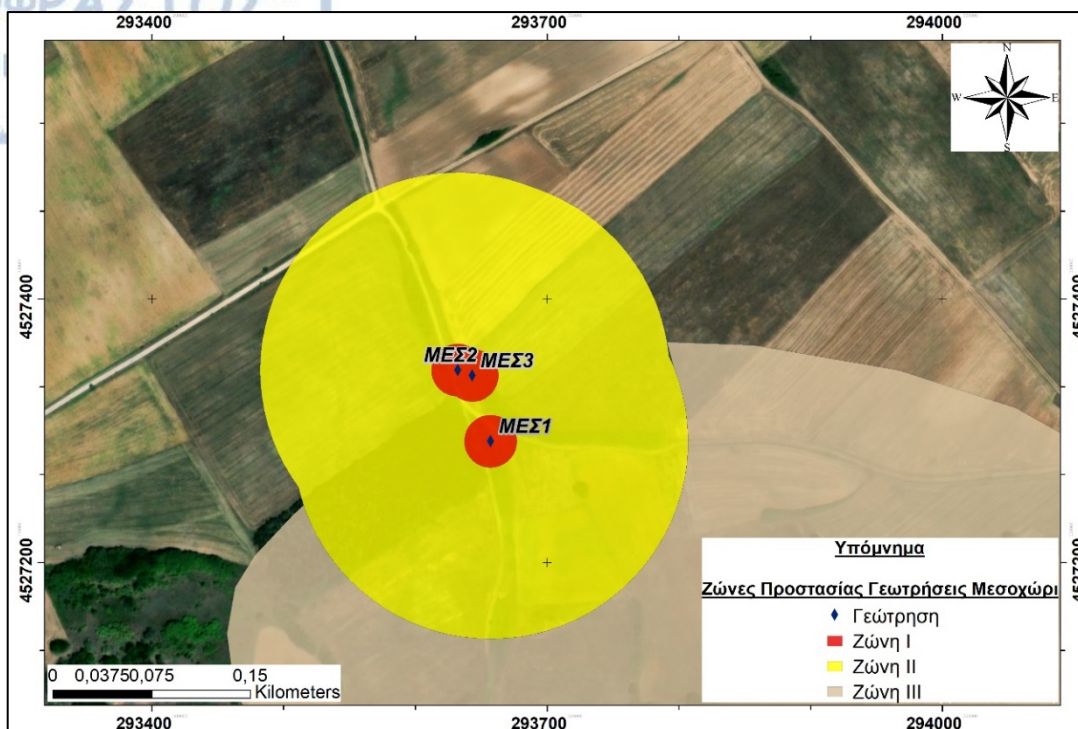
Στη συγκεκριμένη γεώτρηση παρατηρείται ότι η ζώνη προστασίας I περιλαμβάνει ένα δρόμο κυκλοφορίας οχημάτων, η ζώνη II περικλείει τόσο αγροτικές εκτάσεις όσο και κάποιες κατοικίες του οικισμού Άνω Αχλάδα. Επειδή, η γεώτρηση όπως αναφέρθηκε βρίσκεται σε αλλουβιακές αποθέσεις κοντά στην όχθη του ποταμού, με τον τελευταίο να τροφοδοτεί τον υπόγειο υδροφόρα τον οποίο εκμεταλλεύεται η γεώτρηση, η ζώνη III εκτείνεται σε όλη την έκταση του υδροκρίτη, ανάντη του ποταμού και για αυτό η μεγάλη έκτασή της. Η ζώνη III, περιλαμβάνει στο μεγαλύτερο ποσοστό της δασικές εκτάσεις, σε μικρότερο ποσοστό καλλιέργειες, ενώ εντός των ορίων της βρίσκονται ο οικισμός Σκοπός και το φράγμα Παπαδιάς. Τέλος, επειδή η ζώνη αυτή αναπτύσσεται κυρίως στον ορεινό όγκο του Βόρα, όπου επικρατούν τα μεταμορφωμένα πετρώματα, περιλαμβάνει και διαρρηγμένους υδροφορείς.

5.3.7 Γεωτρήσεις Μεσοχώρι

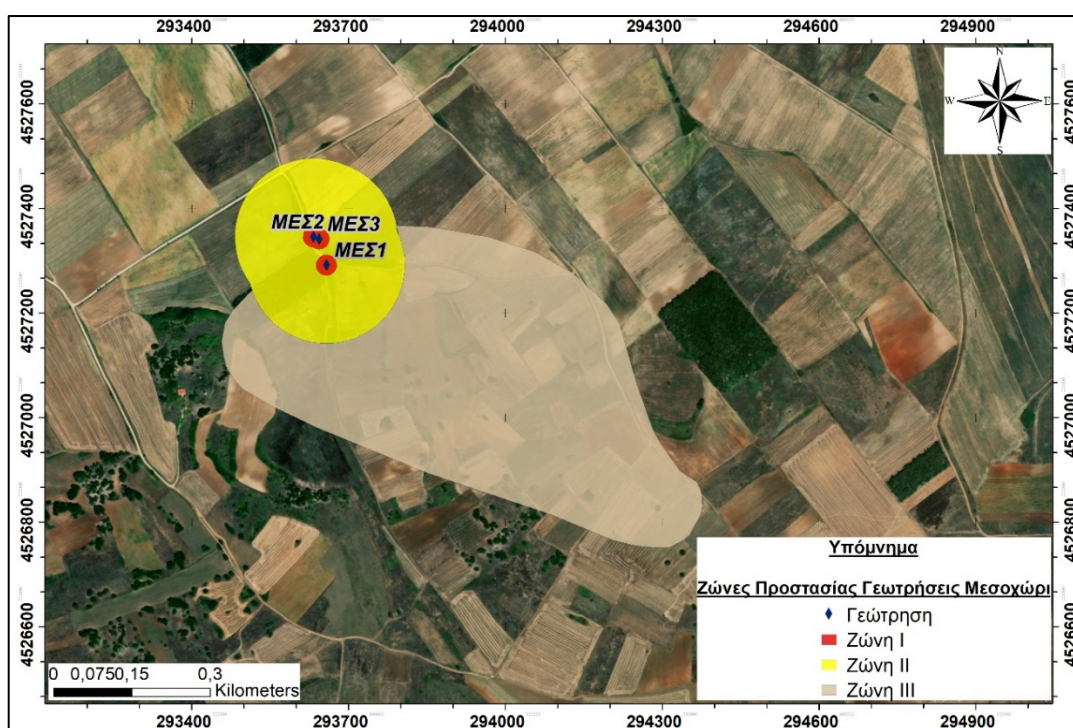
Στο βόρειο ανατολικό άκρο του Δήμου Φλώρινας, κοντά στον οικισμό Μεσοχώρι εντοπίζεται η συγκεκριμένη συστάδα τριών γεωτρήσεων. Γεωλογικά, τοποθετούνται εντός πλειστοκαινικών σχηματισμών. Η ζώνη I έχει ακτίνα 20 m, η ζώνη II υπολογίστηκε από την εξίσωση 5.1 και 5.2 περίπου 150 m, ενώ η ζώνη III περιλαμβάνει την περιοχή τροφοδοσίας των υδρογεωτρήσεων.

Πίνακας 5.7. Έκταση ζωνών I, II και III στις γεωτρήσεις Μεσοχώρι.

Γεωτρήσεις Μεσοχώρι				
Ζώνη Προστασίας	Έκταση			Ακτίνα
	m ²	Km ²	%	
Ζώνη I	2961	0,0030	0,8	20
Ζώνη II	89255	0,0893	23,0	150
Ζώνη III	295606	0,2956	76,2	-
Σύνολο	387822	0,39	100	-



Εικόνα 5.14. Ζώνες I και II, στις γεωτρήσεις στη θέση Μεσοχώρι.



Εικόνα 5.15. Ζώνες I, II και III στις γεωτρήσεις στη θέση Μεσοχώρι.

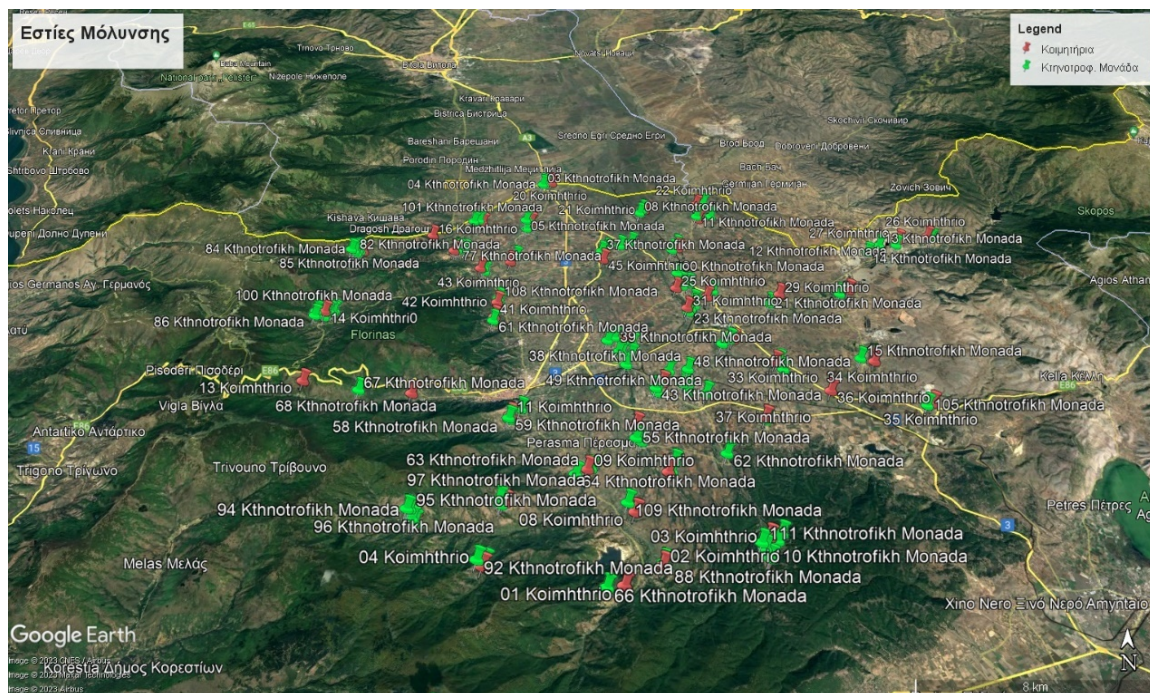
Οι ζώνες προστασίας των υδρογεωτρήσεων, βρίσκονται εντός αγροτικών εκτάσεων και καλλιεργειών, με επικρατέστερα τα σιτηρά. Παρατηρείται ότι, και σε αυτή την περίπτωση εντός των ζωνών προστασίας πραγματοποιούνται δραστηριότητες μη επιτρεπτές με βάση την υφιστάμενη νομοθεσία για την προστασία του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.

5.4 Πηγές ρύπανσης στην περιοχή μελέτης

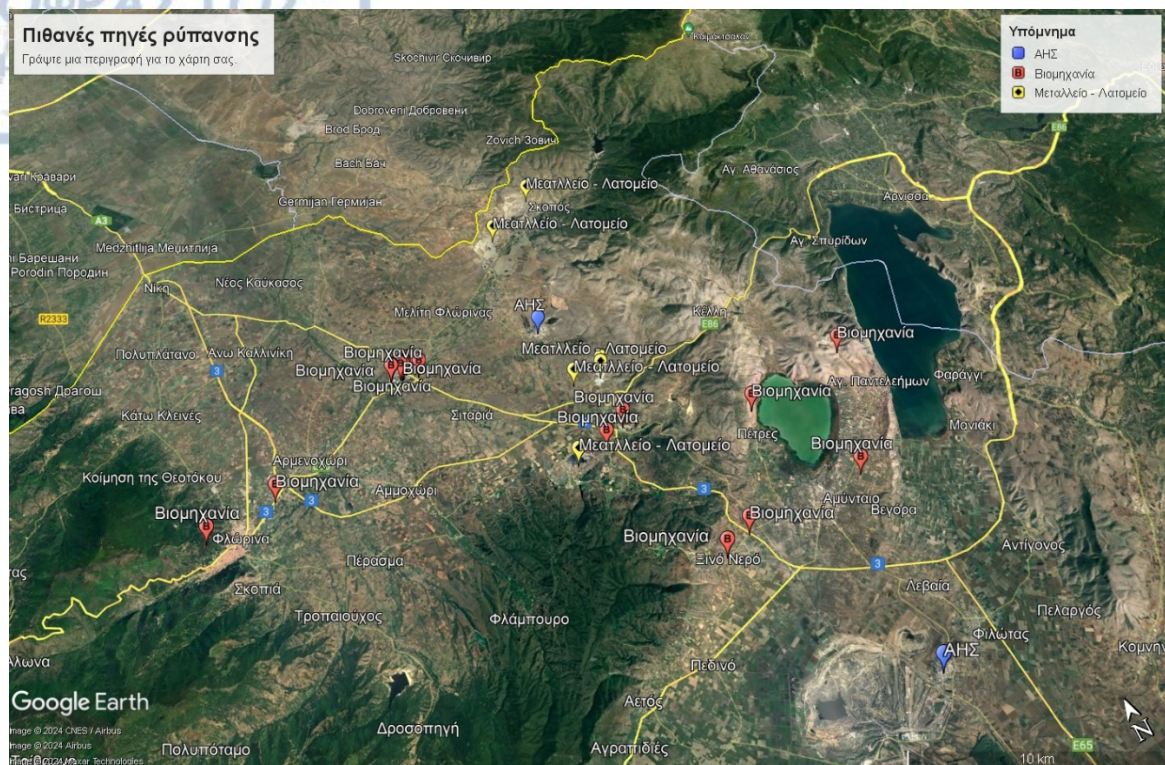
Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην περιοχή μελέτης και γύρω από τα υδροληπτικά έργα του δήμου, αναπτύσσονται διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες. Αναφορικά, εκτός από την γεωργία και την κτηνοτροφία, στην ευρύτερη περιοχή δραστηριοποιούνται αρκετές βιομηχανίες, μεταλλεία, λατομεία και μονάδες παραγωγής ενέργειας. Στον (Πίνακα 5.8), παρουσιάζονται οι καταγεγραμμένες κτηνοτροφικές μονάδες του δήμου σύμφωνα με το διαχειριστικό σχέδιο της δυτικής Μακεδονίας, παράλληλα αποτυπώνονται οι πιθανότερες πηγές ρύπανσης του δήμου Φλώρινας (Εικόνα 5.16 και Εικόνα 5.17).

Πίνακας 5.8. Κτηνοτροφικές μονάδες νομού Φλώρινας καταχωρημένες σε μητρώο Ο.Υ. (Διαχειριστικό Σχέδιο Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας).

ΝΟΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΛΑΔΟΥ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ
ΦΛΩΡΙΝΑΣ	Εκτροφή βοοειδών γαλακτοπαραγωγής	20
	Εκτροφή άλλων βοοειδών και βουβαλιών	5
	Εκτροφή αιγοπροβάτων	12
	Εκτροφή πουλερικών	3
	Εκτροφή άλλων ζώων	3
Σύνολο		43



Εικόνα 5.16. Καταγεγραμμένες κτηνοτροφικές μονάδες και κοιμητήρια Δήμου Φλώρινας.



Εικόνα 5.17. Καταγραμμένες βιομηχανίες, λατομεία, μεταλλεία και ΑΗΣ Νομού Φλώρινας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την υδρογεωλογική έρευνα για τον προσδιορισμό των ζωνών προστασίας γύρω από υδροληπτικά έργα του Δήμου Φλώρινας προέκυψαν συνοπτικά τα παρακάτω συμπεράσματα:

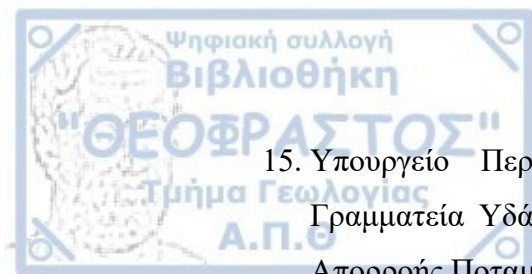
- Η πεδιάδα της Φλώρινας αποτελείται κυρίως από αλλουβιακές αποθέσεις, ενώ στο τμήμα αυτό, η αγροτική δραστηριότητα είναι αρκετά έντονη με καλλιέργειες σιτηρών, καλαμποκιού και μηδικής.
- Από γεωλογική άποψη σε όλη την έκταση του Δήμου Φλώρινας παρατηρείται ετερογένεια στα πετρώματα, καθώς έχουμε εμφανίσεις τόσο μεταμορφωμένων και πυριγενών πετρωμάτων στους ορεινούς όγκους που περικλείουν τον Δήμο, όσο και ιζηματογενείς αποθέσεις στο κεντρικό κυρίως τμήμα του.
- Από τις χημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν σε 10 γεωτρήσεις και 5 πηγές, παρατηρούμε αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών στο κεντρικό τμήμα του Δήμου που αποδίδεται σε γεωργοκτηνοτροφικές δραστηριότητες. Παράλληλα, προβληματισμό δημιουργούν, οι αυξημένες περιεκτικότητες των δειγμάτων σε σίδηρο.
- Βάσει μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν το 2017 (Μανδραλή, 2017) και την κατασκευή πιεζομετρικών χαρτών, η γενική διεύθυνση ροή νερού, ακολουθεί μια κατεύθυνση από το Νότιο τμήμα του υδροφορέα προς το Βόρειο. Η υδραυλική κλίση είναι μεγαλύτερη στον Νότο με τιμές κοντά στο 18‰, ενώ στο δυτικό τμήμα συναντώνται οι μικρότερες τιμές της, περίπου 5‰.
- Από τις χημικές αναλύσεις, προέκυψε ότι ο τύπος του νερού είναι ο ασβεστούχος – οξυανθρακικός (Ca-HCO_3) με κυρίαρχο κατιόν το ιόν του ασβεστίου και κυρίαρχο ανιόν το οξυανθρακικό ιόν.
- Σύμφωνα με τη 1^η αναθεώρηση του σχεδίου διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών για το υδατικό διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας (EL09), η ποιοτική κατάσταση του Υπόγειου Υδατικού Συστήματος Φλώρινας, χαρακτηρίζεται καλή. Ταυτόχρονα, η ποσοτική κατάσταση του υδροφορέα χαρακτηρίζεται καλή, με τις διακυμάνσεις να ακολουθούν τους φυσικούς ρυθμούς εκφόρτισης και τροφοδοσίας.
- Ο προσχωματικός υδροφορέας Φλώρινας, εμφανίζει μεγάλες τιμές τρωτότητας στο νοτιοδυτικό άκρο της λεκάνης, μέση έως υψηλή τρωτότητα στο βορειοδυτικό και νοτιοδυτικό τμήμα του. Ενώ χαμηλές τιμές τρωτότητας εμφανίζονται στο κεντρικότερο κομμάτι του προσχωματικού υδροφορέα (Μανδραλή, 2017).
- Απαραίτητη προϋπόθεση για την προστασία των υδρογεωτρήσεων αποτελούν οι ζώνες προστασίας των υπόγειων υδάτων. Οι ζώνες καθορίζονται έπειτα από υδρογεωλογική έρευνα, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα.
- Στο πλαίσιο της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκαν 7 γεωτρήσεις του Δήμου Φλώρινας για τον καθορισμό των ζωνών. Η ζώνη Ι καθορίστηκε με ακτίνα 20 m, ενώ η ζώνη II προέκυψε από εμπειρικές εξισώσεις και η ακτίνα της κυμαίνεται από τα 150 m έως και τα 240 m. Η ζώνη ΙΙΙ, επεκτάθηκε έως τον υπόγειο υδροκρίτη (ζώνη τροφοδοσίας) της εκάστοτε γεώτρησης.

- Παρατηρήθηκε ότι, οι περισσότερες γεωτρήσεις εντοπίζονται εντός καλλιεργούμενων εδαφών, είτε εντός οικισμών. Δραστηριότητες οι οποίες υπό κανονικές συνθήκες, απαγορεύονται να πραγματοποιηθούν, όπως η διατάραξη του εδαφικού ορίζοντα, καθώς και η χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων λαμβάνουν μέρος εντός των προκαθορισμένων ζωνών.
- Σε κοντινές αποστάσεις από τις καθορισμένες ζώνες, εντοπίζονται κτηνοτροφικές μονάδες, αλλά και κοιμητήρια τα οποία μπορεί να επηρεάσουν την ποιοτική κατάσταση των υπόγειων νερών.
- Ο ήδη επιβαρυνμένος αλλουβιακός υδροφορέας του πεδινού τμήματος σε συνδυασμό με τις γεωργικές δραστηριότητες και την υψηλή κατά τόπους τρωτότητα και η άρνηση προστασίας των υπόγειων υδάτων και των υδροληπτικών έργων του Δήμου, μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω υποβάθμιση της χημικής κατάστασης των υπόγειων υδάτων, καθιστώντας τα, απαγορευτικά για πόση ή ακόμα και για άρδευση.

Προτείνεται, η συστηματική παρακολούθηση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων της περιοχής, καθώς ήδη στο χρονικό διάστημα Μαΐου – Σεπτεμβρίου 2023, παρατηρήθηκαν διακυμάνσεις και υπερβάσεις στις περιεκτικότητες των ιόντων που μπορούν να βλάψουν την ανθρώπινη υγεία. Επιπλέον, η καταγραφή των σημειακών πηγών ρύπανσης και η απαγόρευση συγκεκριμένων δραστηριοτήτων εντός των καθορισμένων ζωνών κρίνεται απαραίτητη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βασιλειάδης, Ι. (2005) 'Γεωλογική – Υδρογεωλογική μελέτης της Βορειοανατολικής λεκάνης του νομού Φλώρινας, Αδημοσίευτη Τεχνική Έκθεση, Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας.
2. Βλυσίδης, Α. 'Τεχνολογία πόσιμου νερού, Τρίτη διάλεξη: Στοιχεία μικροβιολογίας νερού', Διδακτική παρουσίαση. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Πατρών.
3. Βουδούρης, Κ. (2009) 'Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος, Υπόγεια νερά και Περιβάλλον, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
4. Βουδούρης, Κ. (2022) 'Τεχνική Υδρογεωλογία', Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
5. Diary Ali Mohammed Amin Al-Manmi, Kosho Ali Saleh. (2019) 'Delineation of spring protection zone and vulnerability mapping of selected springs in Sulaymaniyah area, Kurdistan, Iraq', Environmental Earth Sciences, 78:622.
6. Ι.Γ.Μ.Ε (1987) «Γεωλογικός χάρτης, φύλλο Φλώρινας», κλίμακας 1:50.000
7. Ι.Γ.Μ.Ε (1987) «Γεωλογικός χάρτης, φύλλο Βεύη», κλίμακας 1:50.000
8. Ι.Γ.Μ.Ε (1987) «Γεωλογικός χάρτης, φύλλο Πτολεμαΐδα», κλίμακας 1:50.000
9. Ι.Γ.Μ.Ε (1987) «Γεωλογικός χάρτης, φύλλο Καστοριά», κλίμακας 1:50.000
10. Καζάκης, Ν. (2008) 'Εκτίμηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών στην εξωτερική ρύπανση, εφαρμογή στη λεκάνη της Φλώρινας'. Διατριβή Ειδίκευσης. Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
11. 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.
12. Μουντράκης, Δ. (1985) 'Γεωλογία της Ελλάδας', University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
13. Subba Rao, N., Surya Rao, P., Reddy, G.V. et al. (2012): Chemical characteristics of groundwater and assessment of groundwater quality in Varaha river basin, Visakhapatnam district, Andhra Pradesh, India, Environmental Monitoring Assessment 184, 5189-5214.
14. Suthar, N., Bishnoi, P., Singh, S., Mutiyar, P.K., Nema, A.K., Patil, N.S. (2009) 'Nitrate contamination in groundwater of some rural areas of Rajasthan Indian', Journal of Hazard Materials 171, 189-199



15. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Κρίσης, Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2017) '1^η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας (EL 09).
16. Francesca Biava, Mauro Consonni, Vincenzo Francani, Paola Gattinoni, Laura Scesi (2014) 'Delineation of Protection Zones for the Main Discharge Area of the Gran Sasso Aquifer (Central Italy) through an Integrated Geomorphological and Chronological Approach', Journal of Water Resource and Protection, 1816-1832.
17. World Health Organization (2022) 'Guidelines for drinking-water quality, 4th edition incorporating the first and second addenda'.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Φωτογραφικό υλικό



Γεώτρηση Νεοχωράκι.



Γεώτρηση Μαρίνα.



Γεώτρηση Νέος Καύκασος.



Γεώτρηση Ιτέα.



Γεώτρηση Βεύη.



Γεώτρηση Αχλάδα.



Συστάδα Γεωτρήσεων Μεσοχώρι.