



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

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



ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Χ. ΚΕΧΑΓΙΑΣ

ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΕΙΔΟΜΕΝΗΣ, ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ
ΚΙΑΚΙΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2022





ΚΕΧΑΓΙΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

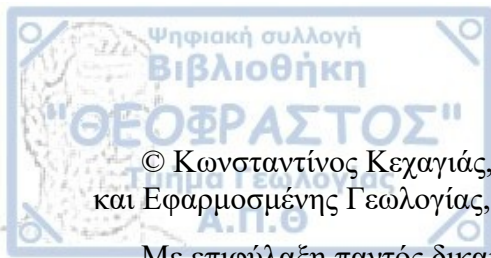
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας. ΑΕΜ: 5557

ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΕΙΔΟΜΕΝΗΣ, ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΚΙΛΚΙΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Τεκτονικής, Ιστορικής και
Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων

Δρ. Κακλής Τριαντάφυλλος (ΕΔΙΠ)



© Κωνσταντίνος Κεχαγιάς, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέα Τεκτονικής, Ιστορικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ
ΕΙΔΟΜΕΝΗΣ, ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΚΙΛΚΙΣ-Διπλωματική Εργασία

© Konstantinos C. Kechagias, School of Geology, Department of Structural,
Historical & Applied Geology, 2021

All rights reserved

PIEZOMETRIC CONDITION OF THE AQUIFER IN EIDOMENI BASIN,
REGIONAL UNIT OF KILKIS-Bachelor Thesis

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

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



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η συγγραφή της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια ολοκλήρωσης του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης(ΑΠΘ). Στόχος της ήταν να μελετηθούν οι μεταβολές των πιεζομετρικών συνθηκών στην πεδιάδα Ειδομένης - Ευζώνων ανάμεσα στις ξηρές και υγρές περιόδους των ετών 2020-2021 και να γίνει μία εκτίμηση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων, με την πραγματοποίηση δειγματοληψιών και προσδιορισμό των νιτρικών ιόντων.

Απαραίτητο κρίνω να ευχαριστήσω τον Δρ. Τριαντάφυλλο Κακλή, ΕΔΙΠ του τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ για την πολύτιμη καθοδήγησή του σε όλα τα θέματα εκπόνησης της συγκεκριμένης εργασίας από τις μετρήσεις πεδίου έως την συγγραφή της.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον πατέρα μου για την υποστήριξη και την βοήθειά του από την έναρξη των μετρήσεων τον Σεπτέμβριο του 2020 έως και τον Σεπτέμβριο του 2021 στην περιοχή μελέτης, δίχως την γνώση της ευρύτερης περιοχής του οποίου θα ήταν αδύνατη η εύρεση γεωτρήσεων για δειγματοληψία στην περιοχή.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT	9
1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	10
1.1 Γεωγραφία - Γεωμορφολογία	10
Πίνακας 1 Μετρήσεις μέσης παροχής ποταμού Αξιού (Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων)	11
1.2 Κλιματολογικές συνθήκες	12
2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	14
2.1 Ζώνη Αξιού	14
2.2 Υποζώνη Παιονίας	15
2.3 Ιζήματα περιοχής	16
3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ	17
Πίνακας 2 Χρήσεις Γης (Στρέμματα)	17
4.ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	19
5.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΗΣ ΝΕΡΟΥ	22
5.1 Πιεζομετρική κατάσταση υδροφορέα	22
Πίνακας 3 Τιμές μετρήσεων στάθμης από επιφάνεια εδάφους	24
5.2 Μεταβολές πιεζομετρίας κατά το υδρολογικό έτος 2020-2021	29
6. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	33
6.1 Σχηματισμός νιτρικών ιόντων	33
6.2 Χωρική κατανομή νιτρικών ιόντων	34
7.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	37
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	38





Σε αυτήν την εργασία επιχειρείται να μελετηθούν οι πιεζομετρικές συνθήκες των υπόγειων νερών της λεκάνης Ειδομένης-Ευζώνων καθώς και η ποιότητά τους σε σχέση με την συγκέντρωσή τους σε νιτρικά ιόντα. Η λεκάνη Ειδομένης-Ευζώνων διατρέχεται από τον ποταμό Αξιό από την είσοδό του στην Ελληνική επικράτεια στα Βόρεια της πεδιάδας έως τα στενά του Μικρόδασους στα Νότια. Γεωτεκτονικά η περιοχή ανήκει στην υποζώνη Παιονίας και χαρακτηρίζεται από το οφιολιθικό σύμπλεγμα της Γευγελής στα Ανατολικά και τον γρανίτη του Φανού στα Δυτικά. Κλιματολογικά στοιχεία συγκεντρώθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Αστεροσκοπείου Αθηνών στο χωριό Ηλιόλουστο το οποίο βρίσκεται εκτός της λεκάνης αυτής, απέχει όμως λίγα χιλιόμετρα από την περιοχή μελέτης. Στην περιοχή μετρήθηκαν στάθμες από 19 γεωτρήσεις τον Σεπτέμβριο του 2020, τον Μάιο του 2021 και τον Σεπτέμβριο του 2021 με χαμηλότερη στάθμη τα 5,5 μέτρα τον Σεπτέμβριο του 2021 και υψηλότερη τα 1,47 μέτρα τον Μάιο του 2021. Επίσης έγινε δειγματοληψία νερού για ανάλυση συγκέντρωσης σε νιτρικά ιόντα τον Μάιο 2021 και Σεπτέμβριο 2021 σε 6 και 5 γεωτρήσεις αντίστοιχα με μέγιστη τιμή τα 72,17 mg/L. Αυτές οι τιμές αποδίδονται κυρίως στην χρήση λιπασμάτων καθώς στην περιοχή υπάρχει έντονη γεωργική δραστηριότητα. Τα αποτελέσματα των δεδομένων που συλλέχθηκαν επεξεργάστηκαν σε περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών(GIS) και εξήχθησαν τα συμπεράσματα της παρούσης εργασίας.



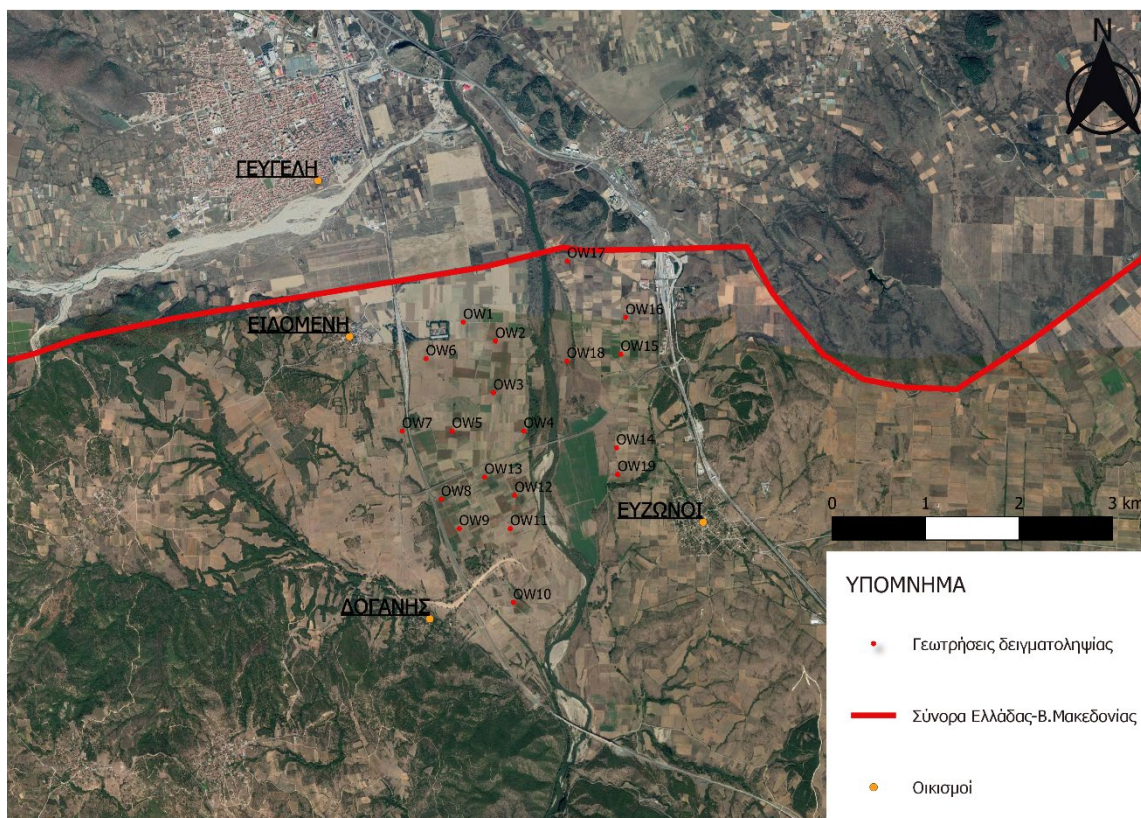
ABSTRACT

In this paper, the hydrogeological conditions of the groundwater of Eidomeni-Evzoni basin such as its quality, considering the concentration of nitrate ions, are investigated. The Eidomeni-Evzoni basin is crossed by Axios river from its entrance to Greece at the North to the straits of Mikrodasos at the South of the basin. Geotectonically, the area belongs to the sub-zone of Paionia which is characterized by the Ophiolitic complex of Gevgeli at the Eastern part of the basin and the Granite of Fanos at the Western. At first, climate data from the meteorological station of Astronomical observatory of Athens in Iliolousto village were gathered (the station is located out of the borders of the basin but the distance is a few kilometers so we took its measurement into consideration for the study). Secondly, we measured the water level of 19 wells on September 2020, May 2021 and September 2021. The maximum value were 5,5 meters below the surface on September 2021 and the minimum were 1,47 meters on May 2021. In the meantime, we took samples of water in 6 wells on May 2021 and 5 wells on September 2021 to calculate the concentration of nitrate ions (maximum value 72,17 mg/L). This concentration was correlated to the fact that there is intense farming activity in the area. Next, the results of the samples were processed in Geographic Information Systems (GIS) out of which the conclusions of this study came out.

1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

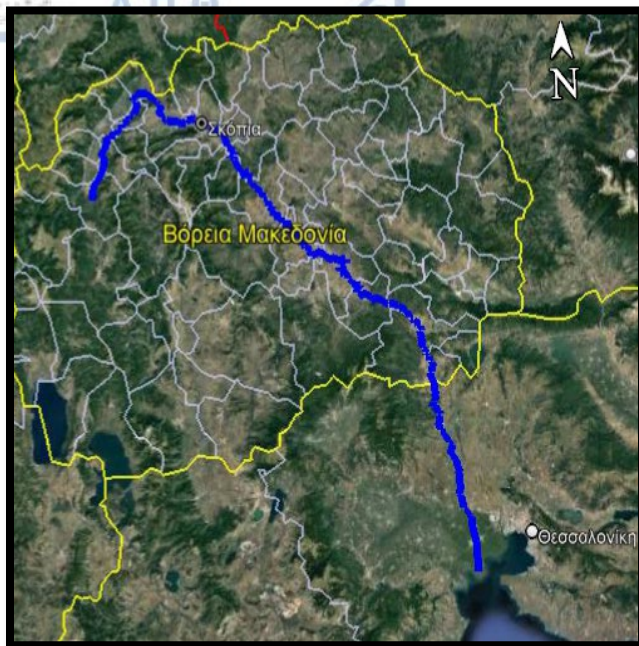
1.1 Γεωγραφία - Γεωμορφολογία

Η πεδιάδα Ειδομένης-Ευζώνων βρίσκεται στον Ν. Κιλκίς και υπάγεται διοικητικά στον Δήμο Παιονίας. Στα βόρεια συνορεύει με την Β. Μακεδονία με την οποία και μοιράζεται την ίδια πεδιάδα. Η έκταση της ορίζεται στα 16 km² εκ των οποίων τα 13 km² ανήκουν στην Ελλάδα. Η πεδιάδα διατρέχεται από τον ποταμό Αξιό ο οποίος εισέρχεται από τα



Σχήμα 1 Δορυφορική εικόνα περιοχής μελέτης(Google Earth Pro)

Σκόπια και έχει μήκος 380 km από τα οποία τα 80 km² περίπου βρίσκονται σε ελληνικό έδαφος. Η συνολική έκταση της λεκάνης απορροής του Αξιού αγγίζει τα 20.061 km² εκ των οποίων τα 1457 km² ανήκουν στην ελληνική επικράτεια. Στην λεκάνη του Αξιού αναπτύσσεται έντονη αστική, βιομηχανική, κτηνοτροφική, γεωργική και εξορυκτική δραστηριότητα σε όλο το μήκος της, γεγονός που τον φορτίζει με ρύπους για πολλές δεκαετίες υποβαθμίζοντας την ποιότητα των υδάτων του. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια για να εφαρμοστούν όλο και περισσότερο οι κανόνες προστασίας των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων από τα κράτη τα οποία διατρέχονται από αυτόν (Milovanovic, 2007).



Σχήμα 2 Ανάπτυξη του ποταμού Αξιού (δορυφορική εικόνα Google Earth Pro)

Ο ποταμός Αξιός πηγάζει από τα Σέρβο-αλβανικά σύνορα και διασχίζοντας την κοιλάδα των Σκοπίων εκβάλει στον Θερμαϊκό κόλπο. Η μέση παροχή του ποταμού τους χειμερινούς μήνες αγγίζει τα $150\text{m}^3/\text{sec}$ ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες τα $35\text{m}^3/\text{sec}$ (πίνακας 1) στην είσοδό του στην χώρα ενώ χαμηλότερες είναι οι τιμές που τελικά απορρέουν στον Θερμαϊκό λόγω της έντονης εκμετάλλευσης νερού με την παροχέτευση μέρους της σε δίκτυο αρδευτικών καναλιών

που υπάρχουν στην πεδινή περιοχή, κυρίως τους θερινούς μήνες, για τις αρδευόμενες

Πίνακας 1 Μετρήσεις μέσης παροχής ποταμού Αξιού (Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων)

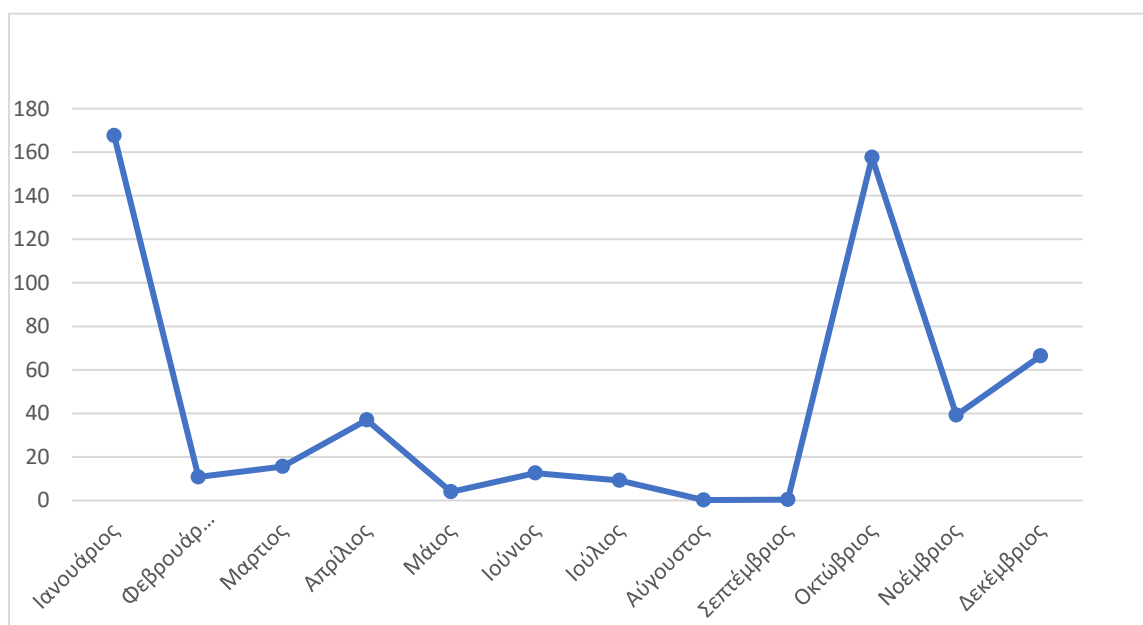
Περίοδος	Παροχή (m^3/sec)
Ξηρή (καλοκαιρινοί μήνες)	35
Υγρή (χειμερινοί μήνες)	150

εκτάσεις της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης. Η παροχή του επηρεάζεται έντονα από την ύπαρξη φραγμάτων σε όλο το μήκος που διασχίζει πριν εισέλθει στην Ελλάδα. Στην περιοχή μελέτης έχουμε γεωργική δραστηριότητα η οποία απαιτεί μεταξύ άλλων και άντληση υδάτων τους καλοκαιρινούς μήνες για την άρδευση των καλλιεργούμενων εκτάσεων. Η περιοχή εκπόνησης της μελέτης εντάσσεται ως Ζώνη Ειδικής Προστασίας στο δίκτυο προστατευόμενων περιοχών Natura 2000 καθώς παρατηρείται ύπαρξη σπάνιας ορνιθοπανίδας. Επίσης σε διεθνές επίπεδο εντάχθηκε το 1975 στην σύμβαση Ραμσάρ ως «Ενδιαίτημα Υδροβίων Πτηνών». Τέλος, από το 1980 ανήκει σε ένα από τα τέσσερα καταφύγια άγριας ζωής (Φορέας Διαχείρισης Θερμαϊκού Κόλπου axiosdelta.gr). Στην

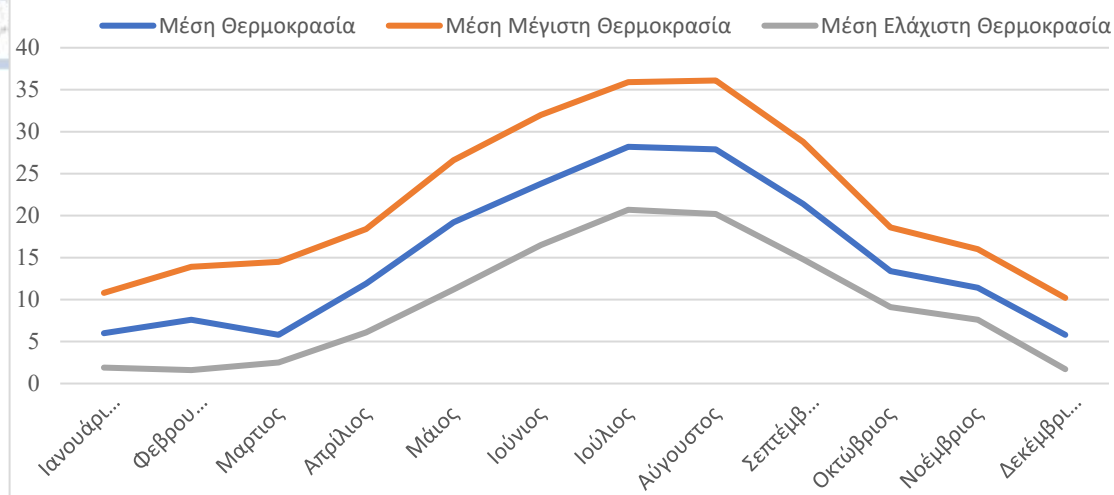
περιοχή αναπτύσσεται μία πεδινή υπολεκάνη ομαλού ανάγλυφου εκατέρωθεν του ποταμού Αξιού με νεογενή ιζήματα. Ωστόσο, το ανάγλυφο γίνεται έντονο με εναλλαγές ρεμάτων και αντερείσμάτων στα δυτικά της υπολεκάνης ενώ στα ανατολικά της τείνει να γίνει πιο ήπιο(λοφώδες). Αυτό οφείλεται στην διαφορετική λιθολογία της περιοχής καθώς ο γρανίτης του Φανού και τα υπόλοιπα πετρώματα της υποζώνης Παιονίας είναι ανθεκτικότερα στην διάβρωση από ότι το οφιολιθικό σύμπλεγμα της Γευγελής το οποίο περιέχει πετρώματα με ορυκτά όπως ο ολιβίνης και οι πυρόξενοι που είναι ευάλωτα στην υδροχημική εξαλλοίωση(Κορωνάιος, 2006).

1.2 Κλιματολογικές συνθήκες

Τα κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής σύμφωνα με τον μετεωρολογικό σταθμό Ηλιόλουστου- Κιλκίς όπως φαίνεται στο σχήμα 3 δείχνουν συνολική βροχοπτώση 585 mm για το έτος 2021 ενώ για το έτος 2020 δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία πριν τον Οκτώβριο από όπου και ξεκίνησε η εκπόνηση της εργασίας μου. Ο συνολικός υετός για το τρίμηνο Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου 2020 ορίζεται στα 67 mm. Στην περιοχή καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου πνέουν κυρίως Βορειοδυτικοί άνεμοι (εκτός του καλοκαιριού που γίνονται νότιοι νοτιοδυτικοί) με μέση μέγιστη μηνιαία ταχύτητα τα 74 km/h. Η μέση ελάχιστη θερμοκρασία σύμφωνα με το σχήμα 4 είναι οι 9,5 °C και η μέση μέγιστη 21,8 °C με μέγιστη τιμή τους 42,3 °C τον μήνα Αύγουστο(<http://www.meteo.gr>).



Σχήμα 3 Μηνιαία διακύμανση βροχοπτώσης (mm) έτους 2021 μετεωρολογικός σταθμός Ηλιόλουστου, Κιλκίς



Σχήμα 4 Διακύμανση μηνιαίων θερμοκρασιών 2021 (°C) μετεωρολογικός σταθμός Ηλιόλουστου, Κιλκίς

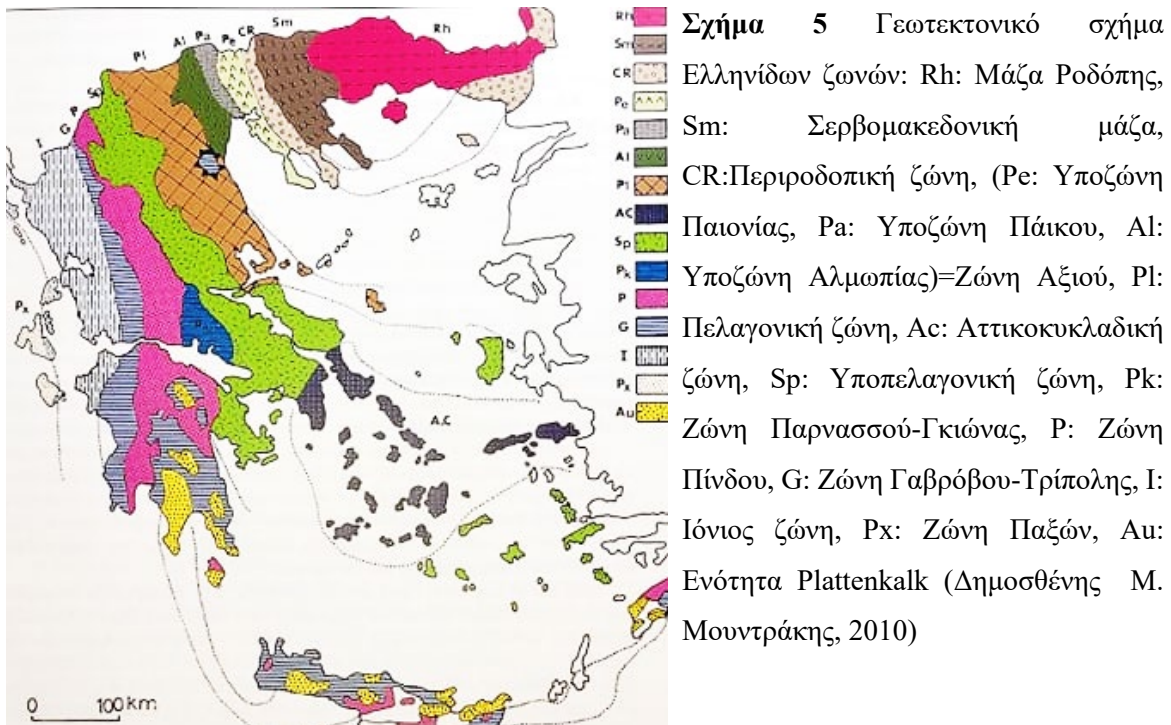
Σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία θερμοκρασίας και βροχόπτωσης η περιοχή κατατάσσεται κλιματολογικά κατά τον Koppen στην κατηγορία κλιμάτων τύπου Cs καθώς η μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα (Ιούλιος $T=28.2^{\circ}\text{C}$) είναι $\geq 18^{\circ}\text{C}$ αλλά ο ψυχρότερος μήνας (Ιανουάριος $T=6^{\circ}\text{C}$) έχει μέση θερμοκρασία μεταξύ 0°C και 18°C . Επίσης ο χαρακτηρισμός s οφείλεται στο γεγονός πως η βροχόπτωση του ξηρότερου μήνα (Αύγουστος $R=0.2\text{mm}$) είναι μικρότερη των 30mm και του $1/3$ του υγρότερου χειμερινού μήνα. (Μακρογιάννης-Σαχσαμάνογλου, 2004)

Στην μελέτη της περιοχής ο παράγοντας που επηρεάζει θετικά τα υπόγεια νερά εμπλουτίζοντάς τα είναι τα μηνιαία κατακρημνίσματα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3 διακύμανση των τιμών του νετού στην περιοχή είναι μεγάλη ανά εποχή για το 2021. Ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρείται έντονη ξηρασία, γεγονός που δυσχεραίνει την κατάσταση του υδρολογικού ισοζυγίου της περιοχής αφού αυτοί οι μήνες συμπίπτουν με την εποχή έντονης άρδευσης στην περιοχή. Αντίθετα, τους μήνες που δεν υπάρχει αρδευτική ανάγκη παρατηρείται έντονη βροχόπτωση. Αυτό το κλίμα χαρακτηρίζει όλο τον Ελλαδικό χώρο κατατάσσοντας το σε ένα ευρέως γνωστό, το εύκρατο Μεσογειακό με ήπιους υγρούς χειμώνες και θερμά ξηρά καλοκαίρια.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

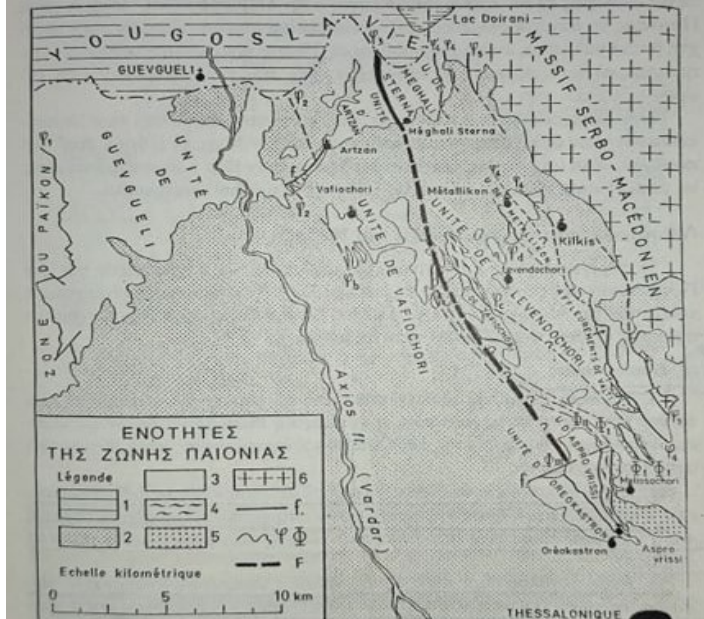
2.1 Ζώνη Αξιού

Η περιοχή μελέτης σύμφωνα με την γεωτεκτονική υποδιαίρεση της ελληνικής ορογένεσης ανήκει στην ζώνη Αξιού (Εσωτερικές Ελληνίδες). Η ζώνη Αξιού χωρίζεται σε τρεις υποζώνες σύμφωνα με την τεκτονική και την λιθολογία, την υποζώνη Αλμωπίας στα δυτικά, την υποζώνη Πάικου στο κεντρικό της κομμάτι και την υποζώνη Παιονίας. Κύριο γνώρισμα της ζώνης Αξιού είναι το οφιολιθικό σύμπλεγμα που αναπτύσσεται στην περιοχή ενώ καταγράφονται μεταμορφωμένα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, νηριτικά και πελαγικά ιζήματα και μεταλπηκοί σχηματισμοί. Οι όγκοι των οφιολιθικών πετρωμάτων συνιστούν την «Εσωτερική οφιολιθική λωρίδα» η οποία μαζί με την «Εξωτερική οφιολιθική λωρίδα» αντιπροσωπεύουν τις δύο οφιολιθικές λωρίδες του ελλαδικού χώρου. Η εσωτερική οφιολιθική λωρίδα εμφανίζεται αρχικά στην περιοχή της Γιουγκοσλαβίας και επεκτείνεται προς το Νότο ως το Βόρειο Αιγαίο από όπου και κάμπτεται σε διεύθυνση Ανατολής-Δύσης προς την Μικρά Ασία. Η παρουσία των οφιολίθων παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς μαρτυρά την γεωτεκτονική εξέλιξη των Ελληνίδων και θέτει



γεωτεκτονικά την ζώνη Αξιού στον παλαιό ωκεάνιο χώρο της Τηθύος αποτελούμενο από ιζήματα βαθιάς θάλασσας και ωκεάνιο φλοιό στα ενδότερα (Μουντράκης, 2010).

2.2 Υποζώνη Παιονίας



Σχήμα 6 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής-υποζώνη Παιονίας (1. Βόρεια Μακεδονία 2. Τεταρτογενείς σχηματισμοί 3. Αλπικοί σχηματισμοί 4. Κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της ζώνης 5. Φλύσχης 6. Κρυσταλλοσχιστώδες Σερβομακαδονικής f. Ρήγματα Φ. Ανώμαλες επαφές F. Πιθανό όριο Παιονίας-Περιοδοποπικής) (Δημοσθένης Μ. Μουντράκης 2010)

Η υποζώνη Παιονίας αναπτύσσεται με προσανατολισμό Βορρά-Νότου. Αυτή συνορεύει στα ανατολικά με την Περιοδοποπική ζώνη ενώ δυτικά της συναντάμε την υποζώνη Πάικου. Χαρακτηριστικό της γνώρισμα αποτελεί η λεπιδοειδής τεκτονική. Σύμφωνα με τις νεότερες απόψεις η υποζώνη Παιονίας αντιπροσωπεύει παλιά ωκεάνια περιοχή της Τηθύος. Συγκεκριμένα στην υπολεκάνη Ειδομένης-Ευζώνων συναντάμε στα ανατολικά οφιολιθικά σώματα με ΒΔ-ΝΑ διάταξη

(οφιολιθικό σύμπλεγμα Γευγελής) και δυτικά τον γρανίτη του Φανού (ο οποίος διεισδύει στο σύμπλεγμα της Γευγελής) (Kockel, 1986). Το μεγαλύτερο τμήμα του συμπλέγματος της Γευγελής εμφανίζεται εκτός ελληνικού εδάφους στα Σκόπια (γνωστό και ως «σύμπλεγμα του Dren») όπου και έχουμε τα βασικότερα πετρώματα της ακολουθίας των οφιολίθων. Στην ελληνική πλευρά απαντώνται τα ανώτερα τμήματα της οφιολιθικής ακολουθίας με γάββρους και διορίτες. Πιο αναλυτικά, στην περιοχή επικρατούν σωρρειτικοί γάββροι ανατολικά των οποίων έχουμε διάτρηση από σύστημα φλεβών. Στα δυτικά εντοπίζουμε τον γρανίτη του Φανού ηλικίας 158 Ma (μέθοδος SHRIMP σε ζirkόνιο), ο οποίος κατατάσσεται εντός της σειράς της Γευγελής. Ο γρανίτης διεισδύει στο οφιολιθικό σύμπλεγμα της Γευγελής σε διεύθυνση Βορρά-Νότου και όντας ασβεσταλκαλικού τύπου συνδέεται με την μεταλλοφορία του ορυκτού μολυβδαινίτης.



Στην ανατολική επαφή των οφιολίθων με τον γρανίτη έχουμε επαφή διείσδυσης ενώ η δυτική επαφή αποτελείται από ένα ρήγμα επώθησης διεύθυνσης Βορρά-Νότου με κλίση 45°(Δημοσθένης Μ. Μουντράκης, 2010).

2.3 Ιζήματα περιοχής

Στα ιζήματα της περιοχής περιλαμβάνονται ιζήματα του Καινοζωϊκού με κώνους κορριμάτων Ηωκαίνου , Πλειστοκαινικές ιλύες και άμμους καθώς επίσης και αλλουβιακά ριπίδια.

3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ

Στην πεδιάδα της Ειδομένης-Ευζώνων αναπτύσσεται ένας εύφορος κάμπος με έντονη καλλιεργητική δραστηριότητα .Ανάμεσα στις χρήσεις γης ξεχωρίζουν τα σιτηρά(σκληρός-μαλακός σίτος και κριθάρι) ,ο αραβόσιτος ,το τριφύλλι σε έκταση 500στρεμμάτων, ο ηλίανθος (για βιομηχανική χρήση) και το βαμβάκι ενώ υπάρχουν επιμέρους κτήματα στα οποία καλλιεργούνται προϊόντα όπως η αραχίδα, η πατάτα ,το καρπούζι ,η ελιά, η λεβάντα και το σταφύλι όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 (www.opekepe.gr)

Πίνακας 2 Χρήσεις Γης (Στρέμματα)

Σιτηρά	6000
Αραβόσιτος	1000
Τριφύλλι	500
Ηλίανθος	2500
Βαμβάκι	200
Άλλα	140

Εκτός των σιτηρών οι υπόλοιπες καλλιέργειες αρδεύονται τους καλοκαιρινούς μήνες από γεωτρήσεις μικρού βάθους (αρίδες) οι οποίες δεν υπερβαίνουν τα 12-15 μέτρα βάθος εκτός τριών περιπτώσεων πομόνας που η διάτρηση έγινε ως τα 50 μέτρα στην πιο βαθιά από αυτές. Οι άντληση γίνεται κυρίως με εξωτερικές περιστροφικές αντλίες(κεντρόφυγγες) με μικρές παροχές οι οποίες προσαρτώνται σε πετρελαιοκινητήρες . Οι μέθοδοι άρδευσης που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως στάγδην και με αυλάκι όμως υπάρχουν και περιπτώσεις χρήσης τεχνητής βροχής με μπεκ. Οι συντελεστές αποδοτικότητας του αρδευόμενου νερού με την μέθοδο των σταγονιδίων είναι ιδιαίτερα υψηλοί(καθώς τον νερό πέφτει κοντά στις ρίζες των φυτών αποφεύγοντας την εξάτμισή του) κάνοντας την την αποτελεσματικότερη μέθοδο άρδευσης. Από την άλλη μεριά, η μέθοδος αυλακιού και τεχνητής βροχής ευνοούν την εξάτμιση του νερού, καθιστώντας τες ζημιογόνες όσον αφορά τον συνολικό όγκο νερού που χρειάζεται να αντληθεί για να ποτιστούν οι διάφορες καλλιέργειες αποτελεσματικά(Μπεθάνη, 2013). Σε λίγες



γεωτρήσεις μικρού βάθους έχει παρατηρηθεί ότι τους καλοκαιρινούς μήνες αυτές σταματούν να είναι παραγωγικές λόγω της έντονης άντλησης που δέχονται σε συνδυασμό με την μείωση της παροχής του ποταμού που τροφοδοτεί τα υπόγεια νερά. Αυτές οι περιπτώσεις ωστόσο είναι σπάνιες και βασίζονται στην κακή κατασκευή των γεωτρήσεων.

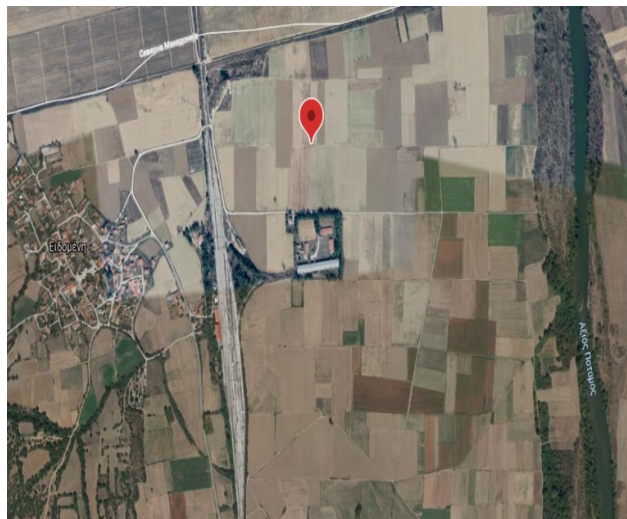
4.ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σε αρδευτική γεώτρηση που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Ειδομένης παρατηρούμε ως τα 50 μέτρα συνεχή παρουσία άμμου και χαλικιών. Η διάτρηση



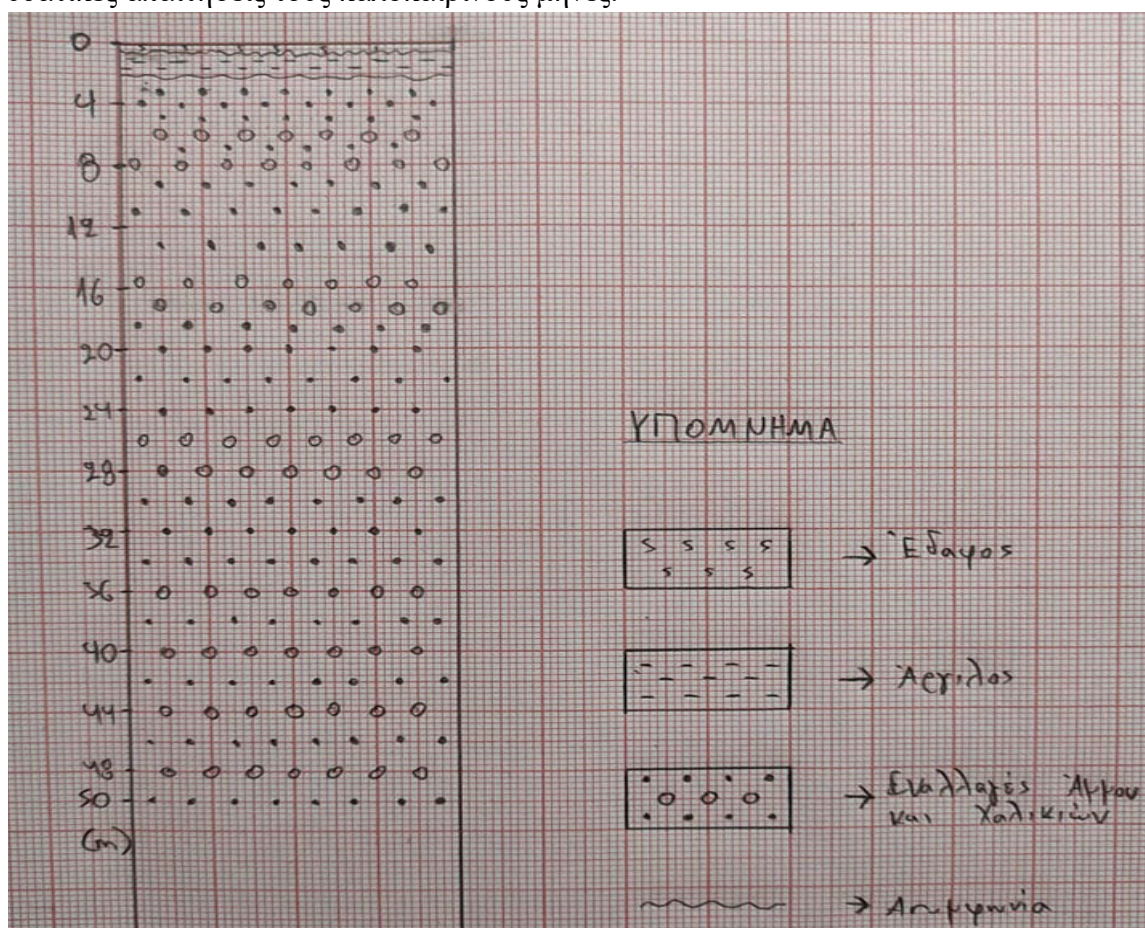
Σχήμα 7 Διάταξη γεωτρήπανου και πολφού συνεχούς ροής

πραγματοποιήθηκε με την χρήση μπετονίτη ο οποίος διαλύθηκε σε δεξαμενή νερού σχηματίζοντας έναν πολφό. Στην συνέχεια, ο πολφός μέσω αγωγών οδηγούνται στην κεφαλή του γεωτρήπανου για λίπανση αλλά και προσωρινή στήριξη της γεώτρησης και επέστρεφε ξανά στην επιφάνεια μεταφέροντας τα ιζήματα που συναντούσαμε(τα οποία θα απεικονιστούν παρακάτω).



Σχήμα 8 Προβολή του σημείου της αρδευτικής γεώτρησης στο Google Earth

Αξίζει να αναφερθεί ωστόσο πως κατά την διάτρηση δεν ήταν δυνατό να παρατηρήσουμε τα λεπτόκοκκα ιζήματα καθώς δεν λήφθηκαν δείγματα τύπου καρότου. Τα αδρόκοκκα υλικά που ερχόταν στην επιφάνεια καθ' όλη την διάρκεια της διάτρησης μαρτυρούν την έντονη ποτάμια ιζηματοπόθεση που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή από τον ποταμό Αξιό. Αυτή η διεργασία καθώς και οι μεγάλες παροχές του ποταμού τους χειμερινούς κυρίως μήνες τροφοδοτούν τον υδροφορέα της περιοχής καθιστώντας τον παραγωγικό και ικανό να τροφοδοτήσει με αρδευόμενο νερό καλλιέργειες με υψηλές υδατικές απαιτήσεις τους καλοκαιρινούς μήνες.



Σχήμα 9 Στρωματογραφική στήλη γεώτρησης έως τα 50 μέτρα

Τα ιζήματα αποτελούνται από άμμους και χαλίκια έως τα 50 μέτρα δημιουργώντας συνθήκες μεγάλης υδατοπερατότητας, επομένως από αυτή την περιοχή του χάρτη εμπλουτίζονται οι περιοχές που βρίσκονται νοτιότερα καθώς και τα βαθύτερα υδροφόρα στρώματα αφού έχουμε έλλειψη αργιλικών οριζόντων. Παρατηρούνται σημεία στα οποία το μέγεθος των χαλίκιων ξεπερνά τα 35 χιλιοστά ενώ ταυτόχρονα αυτά είναι ελαφρώς

αποστρογγυλωμένα δημιουργώντας ένα ίζημα με μεγάλο πορώδες. Το μέγεθος και το σχήμα των χαλικιών παρουσιάζεται στο σχήμα 10 σε δύο διαφορετικούς ορίζοντες από τα 6 έως 18 μέτρα και από τα 18 έως τα 50 μέτρα αντίστοιχα.



Σχήμα 10 Αδρόκοκκα υλικά στα 6 έως 18 μέτρα αριστερά και στα 18 έως 50 μέτρα δεξιά

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΗΣ ΝΕΡΟΥ

Οι μετρήσεις στάθμης στην περιοχή και η μεταξύ τους συσχέτιση οδήγησαν στην εκτίμηση της κατάστασης του υδροφορέα. Η μέθοδος που επιλέχθηκε για την χωρική κατανομή της πιεζομετρίας στην περιοχή είναι η μέθοδος Kriging. Η μέθοδος αυτή χωρίζεται στο Point και Block Kriging. Στην πρώτη περίπτωση κάθε σημείο στην περιοχή μελέτης παίρνει μία τιμή αφού πρώτα συσχετιστεί με τα γειτονικά του σημεία στα οποία έχουμε μέτρηση επηρεαζόμενο περισσότερο από τις κοντινότερες τιμές ενώ στο Block Kriging από την συσχέτιση μεταξύ των σημείων προκύπτει μία τιμή για ένα τετράγωνο χάνοντας πληροφορία κάθε φορά δημιουργώντας όμως πιο ομαλά οπτικά αποτελέσματα από ότι στο Point Kriging. Συγκεκριμένα στην εργασία χρησιμοποιήθηκε το Point Kriging με γραμμική συσχέτιση μεταξύ των σημείων που είχαμε μετρήσεις καθώς αυτή ήταν η συσχέτιση που έδινε μικρότερες τιμές σφάλματος Mean και Root Mean Square. (Goonaerts P, 2019)

5.1 Πιεζομετρική κατάσταση υδροφορέα

Στην περιοχή επιλέχθηκαν 19 γεωτρήσεις για δειγματοληψία στάθμης οι οποίες κατά την μέτρηση της στάθμης τους είχαν επέλθει σε ισορροπία, καθώς υπήρξε διακοπή της άντλησής τους για αρκετές ημέρες. Από αυτές τις γεωτρήσεις (μικρού βάθους) επιλέχθηκαν 6 για λήψη δειγμάτων νερού στα οποία αναλύθηκε η συγκέντρωση σε νιτρικά ιόντα. Η επιλογή της διασποράς των 6 σημείων αυτών θεωρήθηκε η καταλληλότερη για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την επιβάρυνση των υπόγειων νερών σε νιτρικά ιόντα, ωστόσο σε κάποιες περιπτώσεις ήταν και αναγκαστική καθώς δεν υπήρχε δυνατότητα συλλογής δειγμάτων από όλες τις γεωτρήσεις. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί πως την περίοδο Σεπτεμβρίου 2020 δεν λήφθηκαν δείγματα ύδατος λόγω έλλειψης του κατάλληλου εξοπλισμού για άντληση και πως την περίοδο Σεπτεμβρίου 2021 μία από τις 6 επιλεγθείσες γεωτρήσεις υπέστη βλάβη στο στόμιό της επομένως δεν ήταν δυνατή η συλλογή υδατικού δείγματος με τον υπάρχοντα εξοπλισμό. Στην περιοχή παρατηρήθηκε μεγαλύτερη συγκέντρωση γεωτρήσεων στην Δυτική πλευρά του ποταμού Αξιού στον κάμπο της Ειδομένης από ότι στον κάμπο των Ευζώνων που βρίσκεται στα Ανατολικά. Αυτό το γεγονός δικαιολογείται από την προσπάθεια που γίνεται από τους τοπικούς

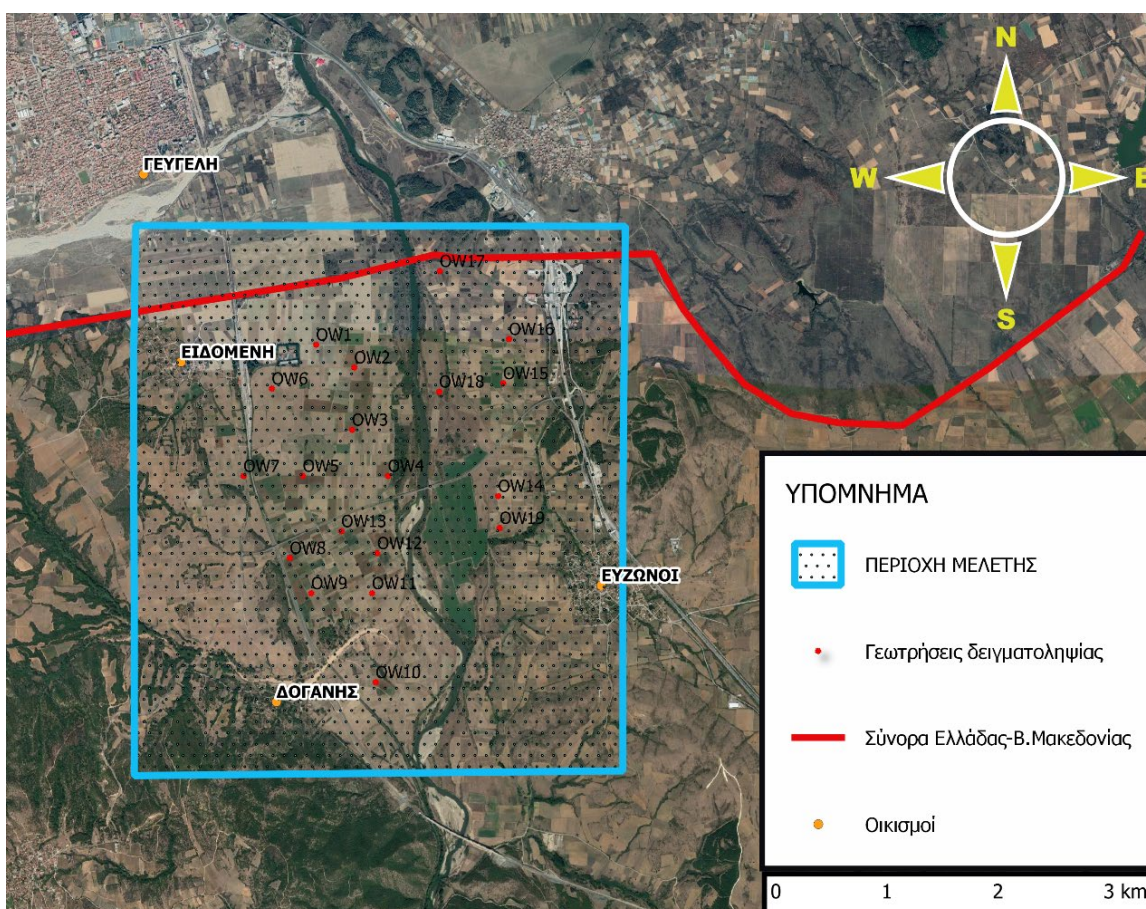
κάτοικους της Ειδομένης να γίνουν ολοένα και πιο ανταγωνιστικοί στον τομέα της εντατικής καλλιέργειας γης, η οποία οδηγεί στην επιλογή δυναμικών καλλιεργειών που απαιτούν ύπαρξη μεγάλων ποσοτήτων αρδεύσιμου νερού άρα και την ύπαρξη περισσότερων γεωτρήσεων. Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την δειγματοληψία ήταν τα εξής:

- GPS για την χωροθέτηση των γεωτρήσεων στο ψηφιακό περιβάλλον των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών GIS.

- Σταθμήμετρο του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ για μέτρηση στάθμης στις γεωτρήσεις.

- Αντλία νερού χειρός(τουλούμπα) για συλλογή δειγμάτων νερού από τις γεωτρήσεις.

Οι μετρήσεις στάθμης πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια ενός πλήρους υδρολογικού έτους δηλαδή τον Σεπτέμβριο του 2020, τον Μάιο 2021 και τον Σεπτέμβριο



Σχήμα 11 Η περιοχή μελέτης με τις γεωτρήσεις στις οποίες λήφθηκαν οι μετρήσεις

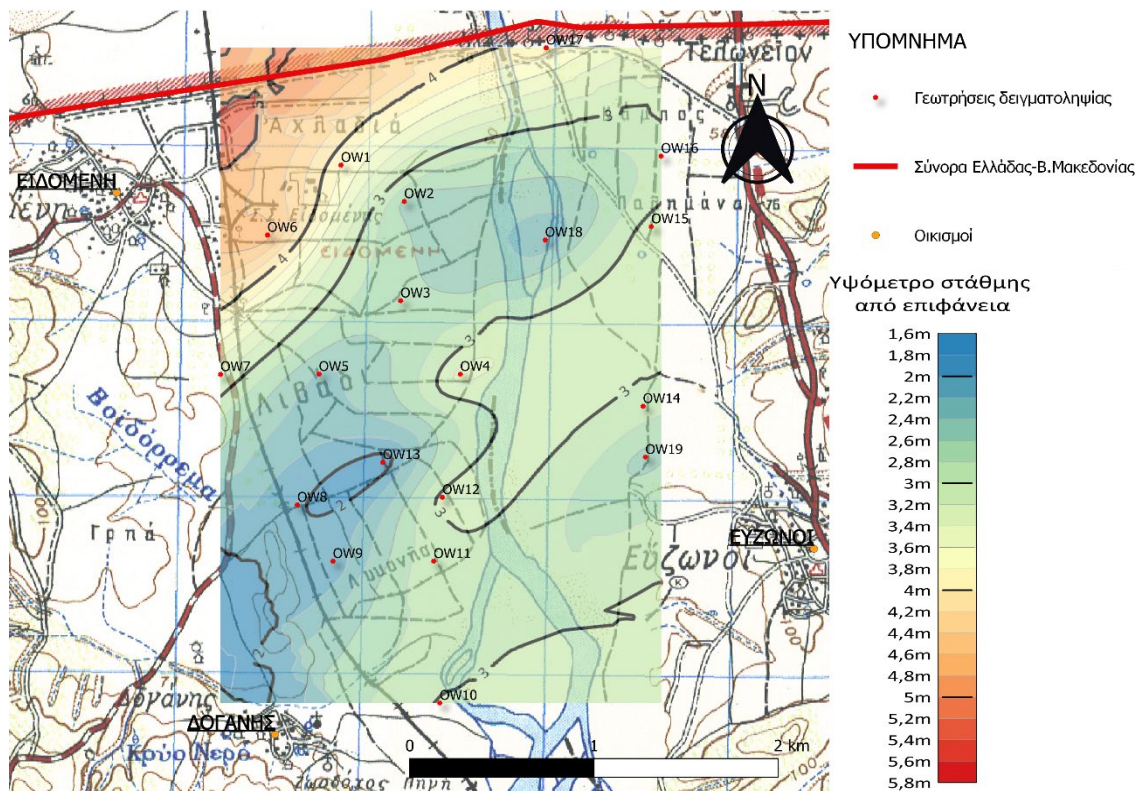
του 2021. Οι τρεις αυτές περιόδοι επιλέχθηκαν γιατί συμπίπτουν με την ξηρή περίοδο(Σεπτέμβριος), όπου οι στάθμες θεωρητικά είναι ταπεινωμένες στο χαμηλότερο ύψος, και την υγρή περίοδο(Μάιος), όπου οι στάθμες βρίσκονται στο υψηλότερο επίπεδο.

Τα δεδομένα από τις μετρήσεις στάθμης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 που ακολουθεί.

Πίνακας 3 Τιμές μετρήσεων στάθμης από επιφάνεια εδάφους

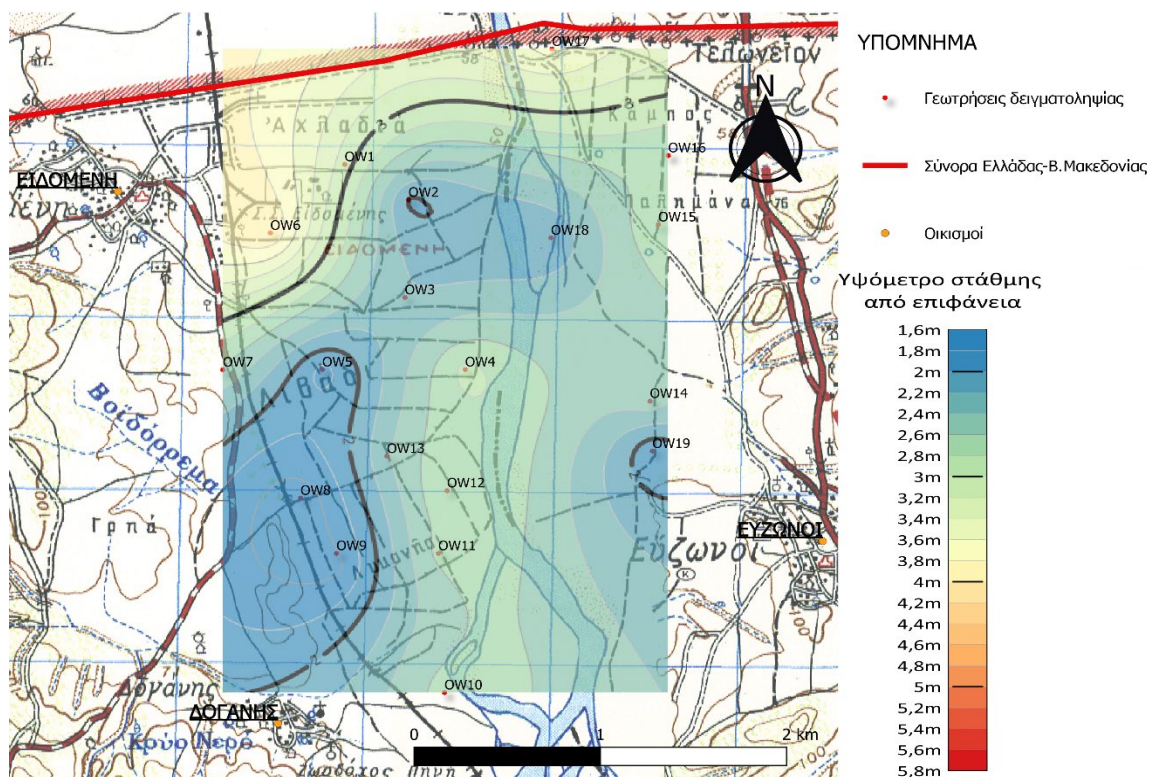
	Σεπτέμβριος 2020	Μάιος 2021	Σεπτέμβριος 2021
Κωδικός Γεώτρησης	Στάθμη(m)	Στάθμη(m)	Στάθμη(m)
OW1	3,79	3,09	4,5
OW2	2,54	1,96	3,3
OW3	2,7	2,22	3,8
OW4	3,3	2,87	3,92
OW5	2,36	1,73	3,1
OW6	4,7	4,01	5,5
OW7	3,22	2,58	3,98
OW8	2,02	1,47	2,7
OW9	2,1	1,54	2,75
OW10	3,02	2,69	3,55
OW11	2,94	2,66	3,73
OW12	3,09	2,78	3,6
OW13	2,86	2,39	3,43
OW14	2,92	2,52	3,35
OW15	3,1	2,78	3,78
OW16	2,89	2,62	3,66
OW17	3,92	3,68	4,13
OW18	2,24	2,02	2,65
OW19	2,52	1,82	2,9

Για κάθε περίοδο δειγματοληψίας κατασκευάστηκαν πιεζομετρικοί χάρτες στους οποίους φαίνεται η διακύμανση της πιεζομετρίας στην περιοχή καθώς επίσης και χάρτες συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων. Η προβολή των χαρτών έγινε πάνω στον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής του Φύλλου Εύζωνοι της ΓΥΣ(γεωγραφική υπηρεσία στρατού). Οι μετρήσεις και η αποτύπωση στον χάρτη αναφέρονται στο βάθος στάθμης από την επιφάνεια του εδάφους. Στους πρώτους τρεις χάρτες χρησιμοποιήθηκε το ίδιο υπόμνημα για να γίνει αντιληπτή η κατάσταση του υδροφόρου ορίζοντα στις τρεις περιόδους. Όπως είναι αναμενόμενο τον Σεπτέμβριο του 2021 και Σεπτέμβριο 2022 οι στάθμες δεν βρισκόταν στο μέγιστο ύψος καθώς η εποχή εκείνη συμπίπτει με την λήξη της ξηρής περιόδου, η οποία έχει ταπεινώσει την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα μετά από πολλές μέρες ανομβρίας αλλά και άντλησης νερού για άρδευση.



Σχήμα 12 Κατανομή πιεζομετρίας Σεπτέμβριος 2021

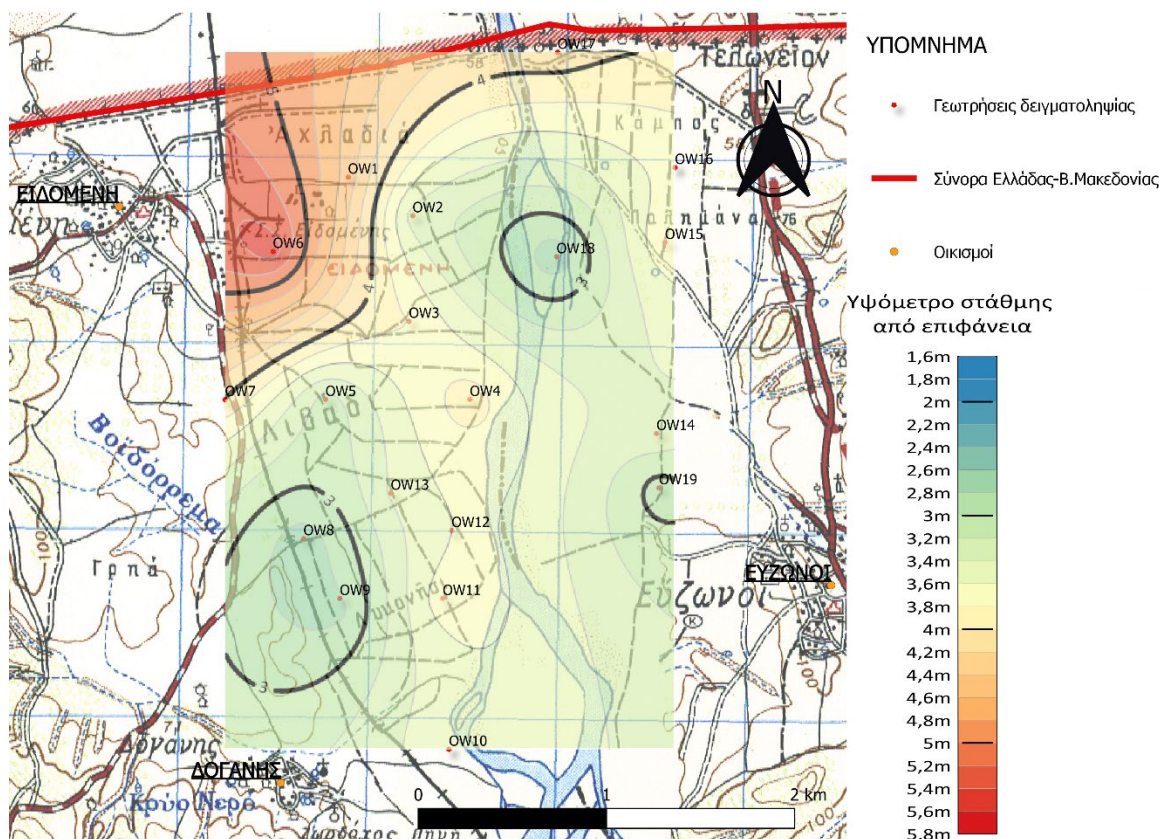
Στους τρεις ισοπιεζομετρικούς χάρτες των τριών περιόδων(σχήματα 12, 13 και 14) παρατηρούμε πως το βάθος στάθμης μειώνεται στο βορειοδυτικό άκρο του χάρτη σε όλες τις περιόδους σε σύγκριση με την υπόλοιπη περιοχή. Όπως προκύπτει από τις ισοπιεζομετρικές καμπύλες αυτή η πτώση στάθμης δεν σχετίζεται με την απόσταση από το ποτάμι, αφού αυτές τέμνουν την κοίτη του σχεδόν κάθετα. Πρώτος παράγοντας στην απώλεια υδατικού όγκου ο οποίος θα ανέβαζε τις στάθμες των γεωτρήσεων είναι η στρωματογραφία των ιζημάτων. Στη βορειοδυτική πλευρά της περιοχής συναντάμε άμμους και χαλίκια από τα πρώτα μέτρα διάτρησης της νέας γέωτρησης έως τα 50 μέτρα βάθος συνεχόμενα δίχως ενδείξεις για στρώματα αργίλου τα οποία θα λειτουργούσαν ως φραγμοί στην κάθετη κίνηση του υπόγειου νερού όπως φαίνεται και στο σχήμα 9. Η



Σχήμα 13 Κατανομή πιεζομετρίας Μάιος 2021

έλλειψη στρωμάτων αργίλου δημιουργεί συνθήκες μεγάλης υδατοπερατότητας στην συγκεκριμένη περιοχή και δρα καταλυτικά στον εμπλουτισμό βαθύτερων στρωμάτων, μία διεργασία που αποστραγγίζει τα νερά από τα ανώτερα στρώματα αφού καθηλώνει τις απόλυτες στάθμες των γεωτρήσεων. Δεύτερος παράγοντας που επηρεάζει αρνητικά τις

στάθμες στα βορειοδυτικά όμως θετικά στα νοτιοδυτικά είναι η απουσία ρεμάτων που καταλήγουν στην πρώτη και η παρουσία στην δεύτερη περίπτωση. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται στο πεδίο εργασίας αλλά και στον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής πως στα βορειοδυτικά δεν υπάρχει κάποιο ρέμα που να οδηγείται στο συγκεκριμένο σημείο του



Σχήμα 14 Κατανομή πιεζομετρίας Σεπτέμβριος 2021

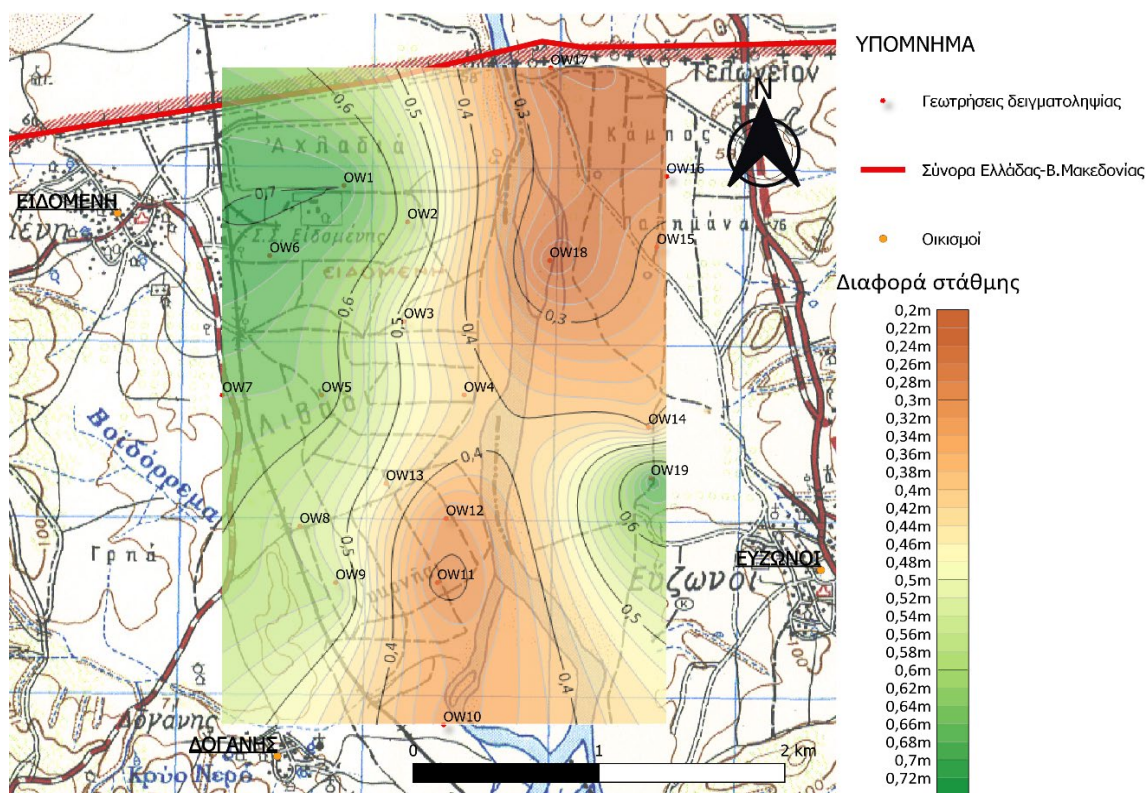
χάρτη καθώς αυτό εκτρέπεται από ανθρωπογενείς παράγοντες προς τα νότια του χωριού Ειδομένη. Αντίθετα στο νοτιοδυτικό κομμάτι καταλήγουν δύο ρέματα, αυτό του Δογάνη και το Βοϊδόρρεμα. Στο ρέμα του Δογάνη έχουμε συνεχή ροή νερού το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου εκτός του καλοκαιριού που στερεύει. Αυτή η διαδικασία τροφοδοτεί συνεχώς τον υδροφορέα της περιοχής βορειοανατολικά του χωριού Δογάνης υψώνοντας την επιφάνεια του υδροφόρου σε αυτό το κομμάτι του χάρτη. Τρίτος και πολύ σημαντικός παράγοντας αυτής της πιεζομετρίας στην περιοχή είναι η ύπαρξη γεώτρησης της Δημοτικής Επιχείρισης Ύδρευσης-Αποχέτευσης Παιονίας(Δ.Ε.Υ.Α. Παιονίας) που βρίσκεται στο ανατολικό άκρο του οικισμού της Ειδομένης με σκοπό την ύδρευση της. Το βάθος αυτής της γεώτρησης είναι 42 μέτρα και λειτουργεί επικουρικά στο δίκτυο ύδρευσης της περιοχής. Το δίκτυο ύδρευσης τροφοδοτείται κυρίως από νερό που πηγάζει από τα

δυτικά του χωριού λόγω του έντονου ανάγλυφου. Η αντλία της γεώτρησης κατά την διάρκεια των μετρήσεων στάθμης στις γεωτρήσεις ελέγχθηκε και ήταν ενεργή όμως η απόστασή της από την γεώτρηση OW6(η οποία είναι η κοντινότερη) είναι 531μέτρα και έγινε η παραδοχή πως δεν επηρεάζει τις μετρήσεις στάθμης αφού η απόσταση είναι μεγάλη.

Στο κεντρικό και ανατολικό κομμάτι των χαρτών στην πιεζομετρία δεν παρατηρούνται μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ των γεωτρήσεων. Οι περισσότερες γεωτρήσεις αυτής της περιοχής του χάρτη βρίσκονται πιο κοντά στον ποταμό Αξιό σε σχέση με την δυτική πλευρά επομένως υπάρχει επικοινωνία μεταξύ των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων αφού οι στάθμες στις γεωτρήσεις είναι ψηλά με περιπτώσεις όπου το ύψος του υδροφόρου ορίζοντα βρισκόταν 1,47 μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Ωστόσο, υπάρχει μία ομάδα γεωτρήσεων οι οποίες δείχνουν να έχουν χαμηλότερες στάθμες νερού από τις αναμενόμενες (γεωτρήσεις OW4, OW12, OW11). Σε αυτή την διαφοροποίηση ενδεχομένως να φταίει η άνιση κατανομή των ιζημάτων στο χώρο με τα αδρόκοκκα υλικά(άμμοι, χαλίκια) να κυριαρχούν στην συγκεκριμένη περιοχή οπότε και να έχουμε μεγαλύτερη κατείσδυση νερού σε βαθύτερους ορίζοντες. Ακολουθεί ο πίνακας με τις τιμές στάθμης από τις οποίες κατασκευάστηκαν οι ισοπιεζομετρικοί χάρτες.

5.2 Μεταβολές πιεζομετρίας κατά το υδρολογικό έτος 2020-2021

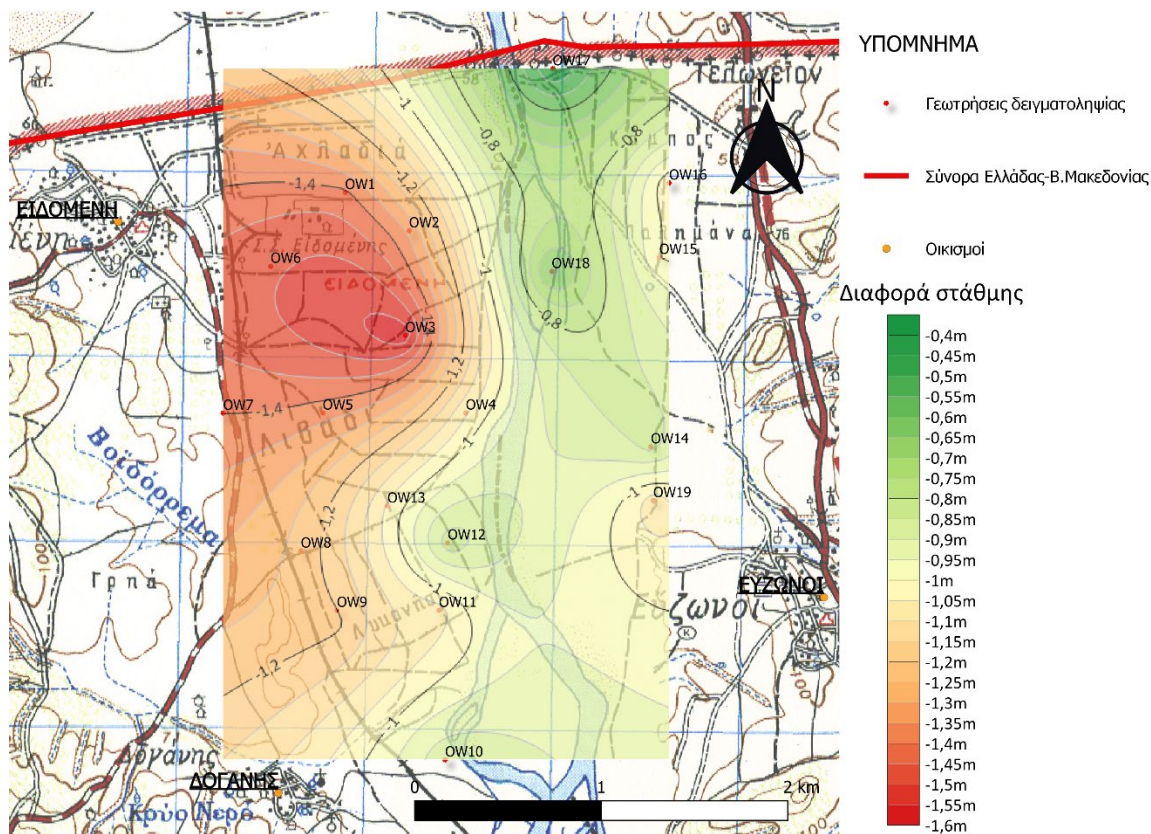
Ενδιαφέρον στις τιμές τους παρουσιάζουν και οι θεματικοί χάρτες των σχημάτων 15, 16 και 17 οι οποίοι παρουσιάζουν τις μεταβολές στην στάθμη που έχουμε μεταξύ των τριών περιόδων μετρήσεων. Η φυσική σημασία των αρνητικών πρόσθμων στις τιμές είναι πως η μεταβολή είναι αρνητική, δηλαδή έχουμε απώλεια υδατικού όγκου αφού η απόσταση μεταξύ επιφάνειας εδάφους και υδροφόρου ορίζοντα αυξάνεται. Σε κάθε υπόμνημα με πράσινο χρώμα παρουσιάζονται οι τιμές εκείνες των μεταβολών όπου ευνοείται ο υδροφορέας. Για παράδειγμα, στο σχήμα 15 με πράσινο χρώμα παρουσιάζεται η άνοδος της στάθμης κατά 0,72 μέτρων στην γεώτρηση OW6 μεταξύ Σεπτεμβρίου 2020 και Μαΐου 2021 πράγμα που είναι θετικό για τον υδροφορέα της περιοχής ενώ με



Σχήμα 15 Μεταβολή στάθμης υπόγειου νερού από Σεπτέμβριο 2020 έως Μάιο 2021

πορτοκαλί χρώμα παρουσιάζονται οι μικρότερες άνοδοι στάθμης. Αντιθέτως, στα σχήματα 16 και 17 πράσινο χρώμα έχουν οι περιοχές όπου δεν είχαν μεγάλη μείωση υδατικού όγκου άρα και στάθμης στις γεωτρήσεις. Έτσι, η κάθοδος του υδροφόρου ορίζοντα κατά 0,45 μέτρα από τον Μάιο του 2021 έως τον Σεπτέμβριο του 2021 θεωρείται ευνοϊκότερη περίπτωση σε σχέση με την κάθοδο 1,6 μέτρων που παρατηρείται σε γεώτρηση της περιοχής και η οποία σημαίνεται με κόκκινο χρώμα.

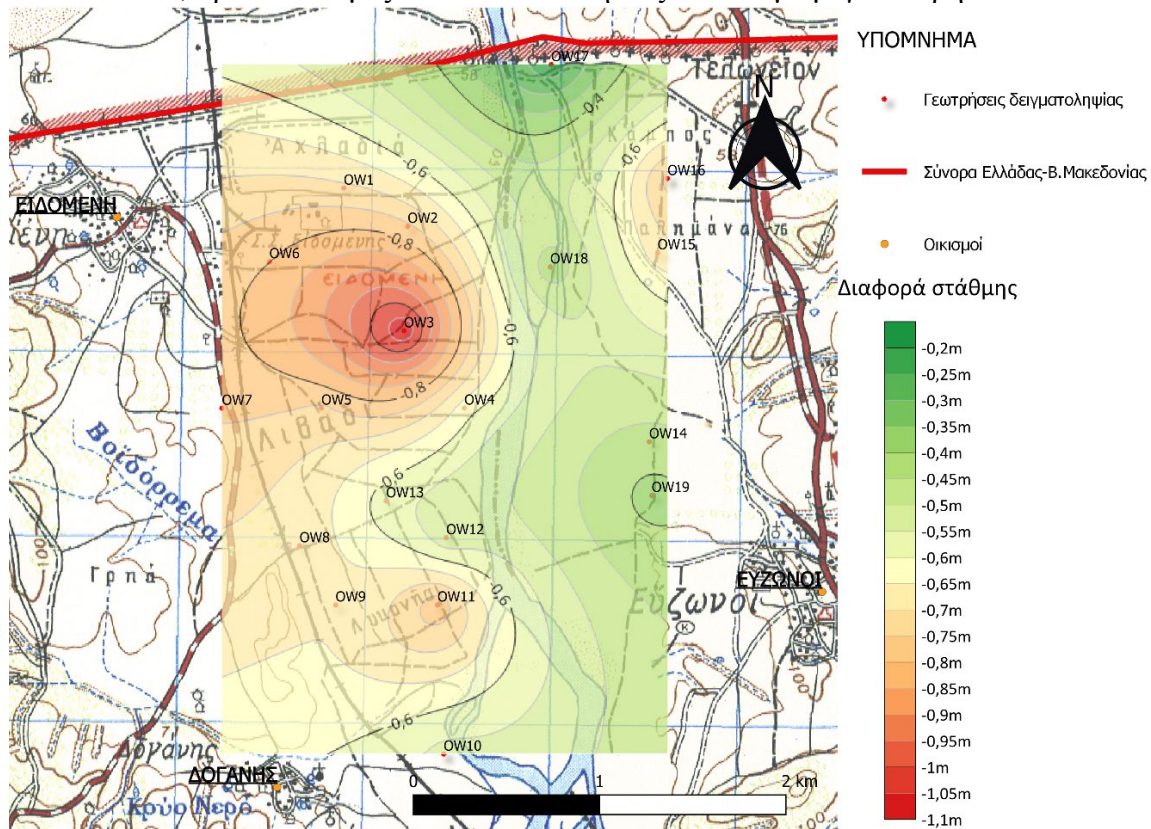
Οι μεταβολές που παρατηρούμε στις στάθμες του νερού των γεωτρήσεων μαρτυρούν πως οι γεωτρήσεις που βρίσκονται εκατέρωθεν του ποταμού επηρεάζονται κυρίως από τα επιφανειακά νερά αφού στις στάθμες τους δεν σημειώνονται μεγάλες μεταβολές μεταξύ των διαφορετικών περιόδων σε σχέση με τις υπόλοιπες στις οποίες παρατηρούμε μεγαλύτερη διακύμανση της στάθμης. Αυτή η μεγαλύτερη διακύμανση συνδέεται με τις



Σχήμα 16 Μεταβολή στάθμης υπόγειου νερού από Μάιο 2021 έως Σεπτέμβριο 2021

διαφυγές ή προσλήψεις νερού που έχει ο υδροφορέας. Την υγρή περίοδο Σεπτεμβρίου 2020- Μαΐου 2021 λόγω του εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα από τις βροχοπτώσεις έχουμε άνοδο της στάθμης στις γεωτρήσεις. Ακολουθεί η περίοδος μεταξύ Μαΐου 2021 και Σεπτεμβρίου 2021 όπου σύμφωνα με το σχήμα 3 παρατηρούνται μειωμένες βροχοπτώσεις που αύξησαν τις απαιτήσεις σε νερό άρδευσης με δεδομένο και τις υψηλές θερμοκρασίες που παρατηρήθηκαν στην περιοχή(σχήμα 4). Αυτός ο συνδυασμός συνθηκών επηρεάζει όλη την περιοχή μελέτης, ωστόσο οι μεγαλύτερες απώλειες νερού εντοπίζονται στα δυτικά του χάρτη. Η μεγαλύτερη μεταβολή που σημειώνεται σε αυτήν την περιοχή του χάρτη σε σχέση με την ανατολική πλευρά δικαιολογείται από το γεγονός πως το μεγαλύτερο ποσοστό του κάμπου της Ειδομένης αποτελείται από καλλιέργειες

όπως το καλαμπόκι, ο ηλιάνθος και το βαμβάκι που απαιτούν μεγάλες υδατικές απολήψεις από τις γεωτρήσεις ενώ στον κάμπο των ευζώνων κυριαρχεί η καλλιέργεια σίτου ο οποίος συγκομίζεται νωρίς τον Ιούνιο οπότε δεν απαιτεί και άντληση ύδατος. Άλλος ένας παράγοντας ο οποίος έχει προαναφερθεί αλλά παίζει όπως φαίνεται ρόλο και στις μεταβολές της στάθμης είναι η ιζηματολογία της περιοχής καθώς τα ιζήματα που εντοπίζονται στην δυτική πλευρά της περιοχής μελέτης είναι περισσότερο υδατοπερατά άρα η κίνηση του νερού στον κάθετο άξονα γίνεται με μεγαλύτερη ευκολία σε σχέση με τα ανατολικά, άρα οι στάθμες ταπεινώνονται ή αυξάνονται με μεγαλύτερη ευκολία.



Σχήμα 17 Μεταβολή στάθμης υπόγειου νερού από τον Σεπτέμβριο 2020 έως τον Σεπτέμβριο 2021

Ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και ο χάρτης του σχήματος 17 όπου παρουσιάζεται η μεταβολή ύψους υδροφόρου ορίζοντα μεταξύ Σεπτεμβρίου 2020 και Σεπτεμβρίου 2021 όπου διαφαίνεται μία γενικευμένη πτώση στάθμης στις γεωτρήσεις από το υδρογεωλογικό έτος 2020 ως το έτος 2021. Αυτή η κάθοδος της στάθμης του υδροφόρου δεν μπορεί παρά να δικαιολογηθεί από κλιματικά δεδομένα τα οποία δεν είναι διαθέσιμα από τον κοντινότερο μετεωρολογικό σταθμό του Ηλιόλουστου Κιλκίς αφού αυτός τέθηκε σε λειτουργία από τον Οκτώβριο του 2020. Τοπικοί κάτοικοι της περιοχής

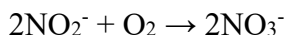
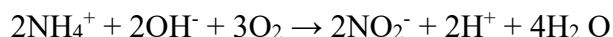


περιγράφουν πως το καλοκαίρι του 2020 ήταν ασυνήθιστο καθώς σημειώθηκαν πολλά φαινόμενα έντονων βροχοπτώσεων οι οποίες και εμπλούτισαν τον υδροφορέα της περιοχής υψώνοντας τις στάθμες των γεωτρήσεων.

6. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

6.1 Σχηματισμός νιτρικών ιόντων

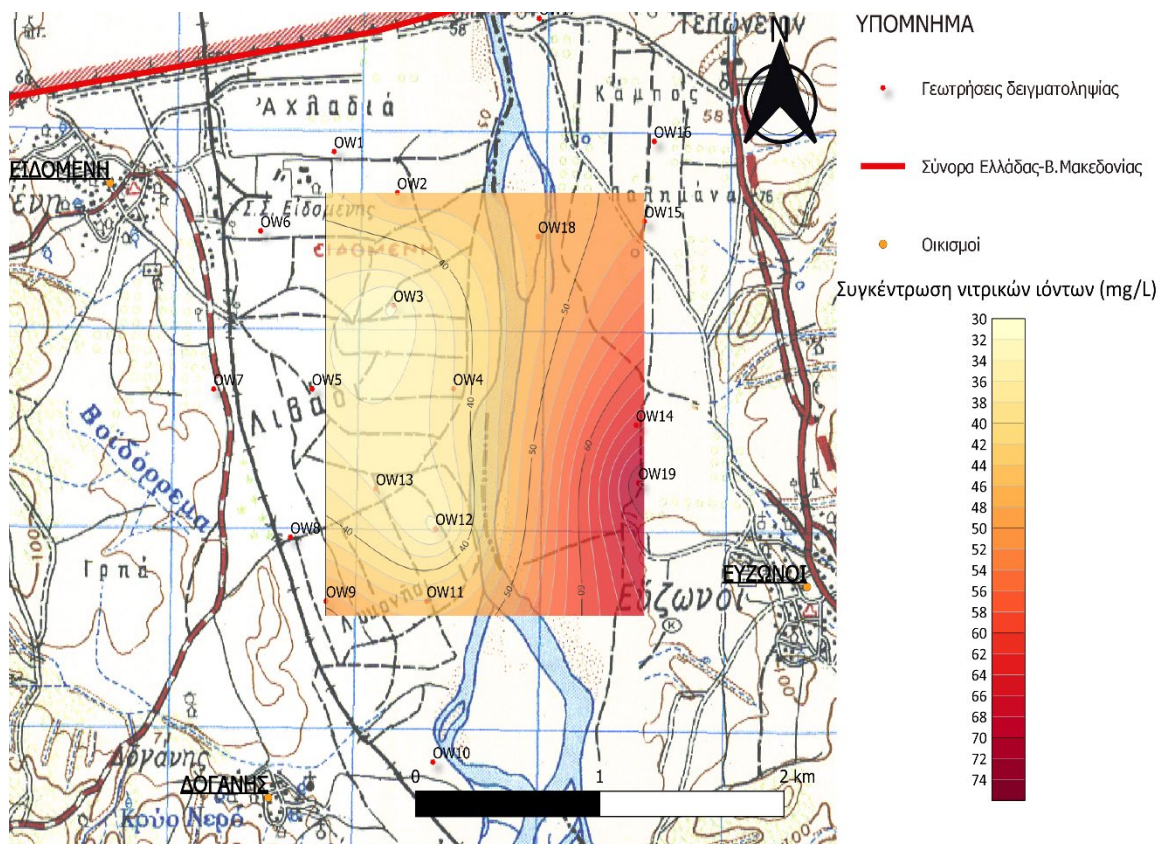
Τα νιτρικά ιόντα(NO_3^-) είναι το τελικό προϊόν της φυσικής αποσύνθεσης οργανικών αζωτούχων ενώσεων, όπως φυτικής και ζωικής πρωτεΐνης. Μπορεί να προέρχεται από ζωικά περιττώματα, λιπάσματα ή προηγούμενη χρήση του νερού από τον άνθρωπο (Voudouris et al, 2004). Αυτά τα ιόντα προκύπτουν από την οξείδωση του αμμωνίου NH_4^+ (το οποίο προκύπτει από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών) σε δύο στάδια όπως περιγράφονται από τις παρακάτω χημικές εξισώσεις με την βοήθεια μικροοργανισμών:



Το ανώτατο όριο συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων για το πόσιμο νερό είναι τα 50 mg/L με επιθυμητό όριο τα 25 mg/L. Η εκτεταμένη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων οδηγεί στην συσσώρευση νιτρικών ιόντων στα εδάφη και τα φυτά τα οποία τελικά οδηγούν αυτά τα ιόντα στον υδροφόρο ορίζοντα της εκάστοτε περιοχής (Τσεμπερούλη et al, 2014). Η παρουσία ιζημάτων με μεγάλη περατότητα σε μία περιοχή όπως η άμμος, δημιουργεί συνθήκες μεγάλης κινητικότητας του νερού στην ακόρεστη ζώνη το οποίο μεταφέρει μαζί του και τα νιτρικά που συναντά στην επιφάνεια του εδάφους ρυπαίνοντας τα βαθύτερα στρώματα (Κακλής T, 2011). Αυτή η διεργασία παρατηρείται και στην περιοχή μελέτης.

6.2 Χωρική κατανομή νιτρικών ιόντων

Κατά την μελέτη του υδροφορέα της Ειδομένης λήφθηκαν δείγματα νερού από γεωτρήσεις της περιοχής για προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε νιτρικά ιόντα, που είναι σημαντικός δείκτης για τη ρύπανση σε μια περιοχή από ανθρωπογενείς δραστηριότητες(γεωργία, κτηνοτροφία).Οι περίοδοι δειγματοληψίας ήταν ο Μάιος του

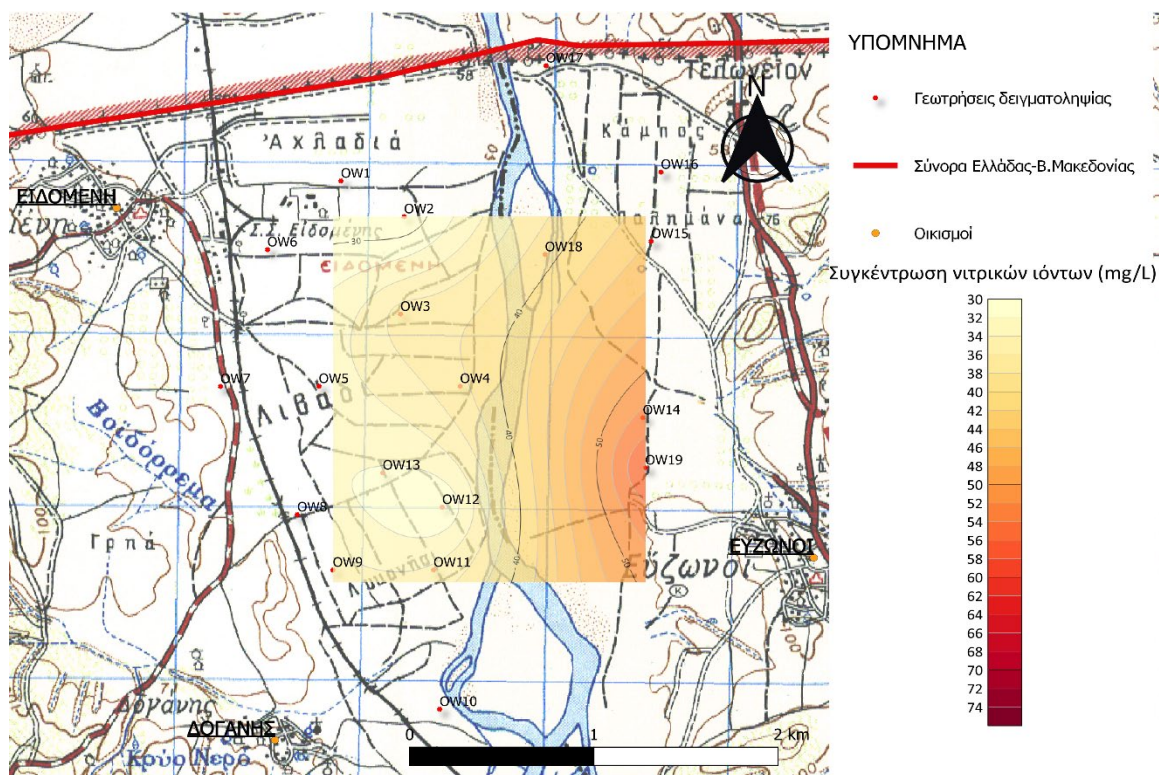


Σχήμα 18 Κατανομή συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων Μάιος 2021

2021(6 δείγματα) και ο Σεπτέμβριος του 2021(6 δείγματα) όπου και στις δύο περιόδους τα δείγματα κάλυπταν χωρικά την περιοχή έρευνας. Στα σχήματα 18 και 19, δίνεται η χωρική κατανομή της περιεκτικότητας σε νιτρικά ιόντα των υπόγειων νερών καθώς επίσης κατασκευάστηκε και χάρτης όπου παρουσιάζονται οι εποχιακές μεταβολές της συγκέντρωσής τους(σχήμα 20).

Από τον χάρτη του Μαΐου 2021(σχήμα 18) προκύπτει ότι ο υδροφορέας στα ανατολικά είναι περισσότερο επιβαρυνμένος από ότι στα δυτικά με τιμές συγκέντρωσης σε νιτρικά ιόντα που ξεπερνούν τα αποδεκτά όρια με μέγιστη τιμή τα 72,16 mg/L στην γεώτρηση

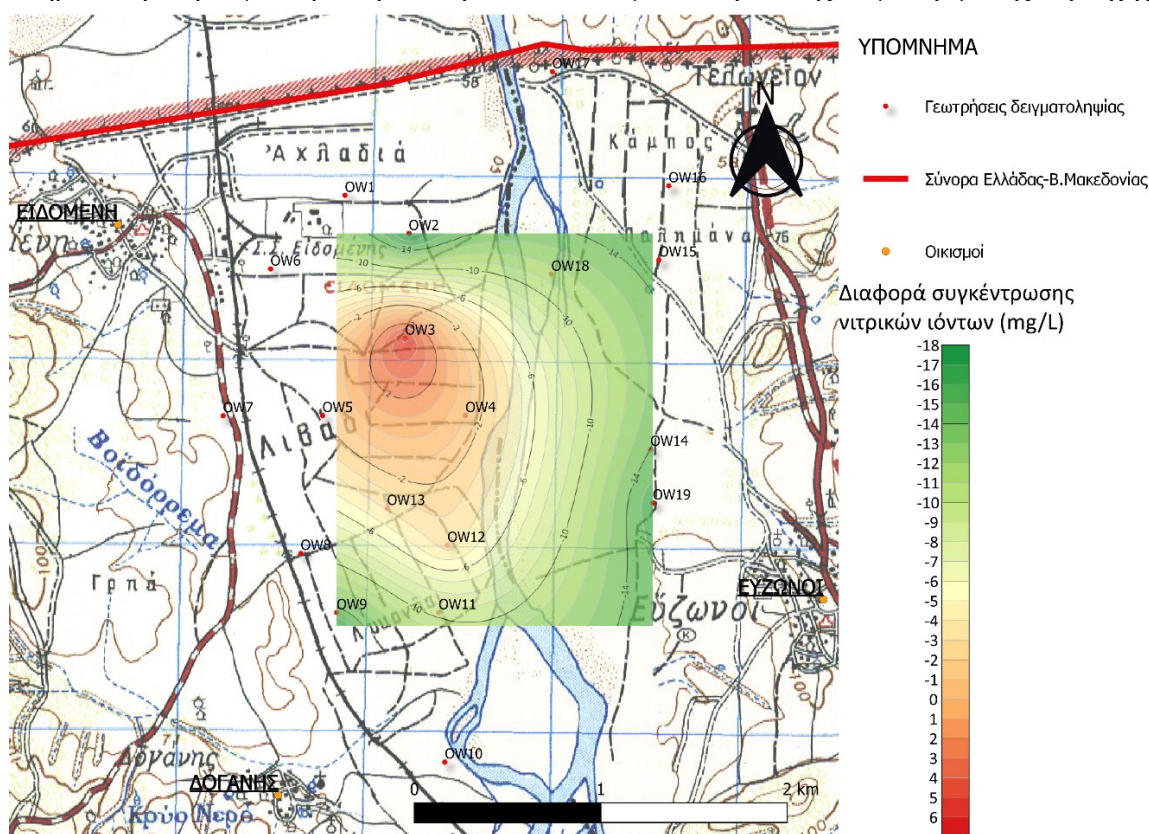
OW19. Η γενικότερη κατάσταση των υπόγειων νερών τον Μάιο του 2021 δείχνει μεγαλύτερη επιβάρυνση με νιτρικά από ότι η κατάστασή τους τον Σεπτέμβριο του ίδιου έτους.



Σχήμα 19 Κατανομή συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων Σεπτέμβριος 2021

Τον Σεπτέμβριο του 2021(σχήμα 19) οι συγκεντρώσεις σε νιτρικά μειώθηκαν σε μεγάλο βαθμό στις περισσότερες γεωτρήσεις εκτός από μία περίπτωση όπου υπήρξε μικρή αύξηση. Αυτό οφείλεται στην μειωμένη βροχόπτωση αυτής της περιόδου όπου δεν υπήρχε δυνατότητα μαζί με την κατείσδυση του νερού να συμπαρασυρθούν και οι ρύποι.

Η διαφοροποιημένη μεταβολή της συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων μεταξύ των γεωτρήσεων οδήγησε στην κατασκευή ενός θεματικού χάρτη στον οποίο αυτή απεικονίζεται στο σχήμα 20. Η μόνη γεώτρηση στην οποία παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών από τον Μάιο του 2021 ως τον Σεπτέμβριο 2021 είναι η OW3. Ο λόγος για τον οποίο παρατηρείται το φαινόμενο αυτό σχετίζεται ίσως με εκτεταμένη χρήση λιπασμάτων κοντά στην γεώτρηση αυτή όπου φιλοξενήθηκαν καλλιέργειες όπως της πατάτας και της αραχίδας. Αυτές οι καλλιέργειες απαιτούν χρήση λιπασμάτων στα τελευταία στάδια ανάπτυξής τους δηλαδή από τα μέσα του Αυγούστου και μετά. Έτσι, επηρεάστηκε η συγκέντρωση σε νιτρικά των υπόγειων νερών της συγκεκριμένης περιοχής.



Σχήμα 20 Μεταβολή συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων από Μάιο 2021 έως Σεπτέμβριο 2021

7.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας στον υδροφορέα της Ειδομένης, περιφερειακής ενότητας Κιλκίς είναι τα εξής:

- Από τις μετρήσεις στάθμης από 19 γεωτρήσεις σε τρεις διαφορετικές περιόδους (Σεπτέμβριος 2020, Μάιος 2021 και Σεπτέμβριος 2021) και με την χρήση του λογισμικού Surfer και QGIS κατασκευάστηκαν πιεζομετρικοί χάρτες με την μέθοδο Point Kriging με γραμμική συσχέτιση μεταξύ των τιμών στάθμης σε κάθε γεώτρηση καθώς αυτή ήταν η μέθοδος που έδινε μικρότερες τιμές σφάλματος Mean και Root Mean Square.
- Από την συλλογή δειγμάτων νερού από 6 γεωτρήσεις τον Μάιο του 2021 και 5 γεωτρήσεις τον Σεπτέμβριο του 2021 έγιναν αναλύσεις για εύρεση συγκέντρωσης των νιτρικών ιόντων στο υπόγειο νερό. Οι τιμές με την ίδια μέθοδο οπτικοποίησης όπως με τις τιμές στάθμης των γεωτρήσεων αναλύθηκαν και κατασκευάστηκαν θεματικοί χάρτες όπου απεικονίζονται οι περιοχές με την μεγαλύτερη επιβάρυνση.
- Η πιεζομετρία της περιοχής δείχνει να βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους αφού το μέγιστο ύψος στάθμης νερού από την επιφάνεια του εδάφους σε γεώτρηση μετρήθηκε στα 5,5 μέτρα ενώ το ελάχιστο ήταν μόλις 1,47 μέτρα. Υπάρχουν περιοχές του υδροφορέα όπου καταγράφονται χαμηλότερες στάθμες. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στην συνεχή αλλαγή της κοίτης του ποταμού με αποτέλεσμα να υπάρχει διαφορική ιζηματογένεση με διαφορετικής περατότητας υλικά κατά θέσεις. Σε κάθε περίπτωση λόγω της γειτνίασης της περιοχής με τον ποταμό Αξιό και της συνεχούς φυσικής τροφοδοσίας οι στάθμες παραμένουν σε υψηλά επίπεδα σε όλη τη διάρκεια του έτους.
- Η συγκέντρωση σε νιτρικά ιόντα αυξάνεται προς τα ανατολικά με μέγιστη τιμή τα 72,16 mg/L η οποία ξεπερνά τα επιτρεπτά όρια που καθιστούν το νερό κατάλληλο για κατανάλωση από τον άνθρωπο με μέγιστη επιτρεπτή τιμή τα 50 mg/L.



8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Analysis and Evaluation of Pumping Test Data Second Edition (Completely Revised)
G.P. Kruseman Delft N.A. de Ridder.

Goovaerts, P. (2019). Kriging Interpolation. The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (4th Quarter 2019 Edition), John P. Wilson (ed.).

Kockel F. (1986). «Geologie von Griechenland-Die Vardar-Zone».

Milovanovic, M. (2007). Water quality assessment and determination of pollution sources along the Axios/Vardar River, Southeastern Europe.

Soldatos, T., Koroneos, A., Christofides, G., 1993. Origin and evolution of the Fanos granite (Macedonia, Greece) trace and REE modeling constrains. Panago's Honorary Volume Athens, Technical University Publications 6.

Ελληνική Βιβλιογραφία

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

Κακλής Τ. (2011). «Υδρογεωλογική μελέτη και μελέτη διαχείρισης υδατικών πόρων Πιερίας λεκάνης Ν.Καβάλας».

Κίλιας Α. (2009). «Εισαγωγή στην τεκτονική γεωλογία» Εκδόσεις: «ΟΛΥΜΠΟΣ».

Κορωναίος, Α. (2006). «Σημειώσεις Πετρολογίας Πυριγενών Πετρωμάτων» Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Μιχαήλ Μ. (2014) «Τεκτονική δομή και θέση του γρανίτη του Φανού στη ζώνη του Αξιού» (Μακεδονία, Ελλάδα).



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

Μπεθάνη Ι. (2013). «Έλεγχος και Ανάλυση Υδραυλικής Αντλίας με Εφαρμογές σε Συστήματα Άρδευσης».

Σαχσαμάνογλου Σ., Μακρογιάννης Ι. (2004). «Μαθήματα Γενικής Μετεωρολογίας».

Τσεμπερούλη Μ. (2014). «Ορθολογική διαχείριση βιοτικών και αβιοτικών παραμέτρων σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας και μαρουλιού».

Διαδικτυακές Πηγές

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

ΕΛΓΟ Δήμητρα (<https://www.elgo.gr/>)

Ελληνικός Οργανισμός πληρωμών των κοινοτικών ενισχύσεων (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων) (<https://www.opekepe.gr/el/>)

Ιστοσελίδα λογισμικού Surfer (<https://www.goldensoftware.com/products/surfer>)

Ιστοσελίδα λογισμικού GIS (<https://www.qgis.org/en/site/>)

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (<https://ypen.gov.gr/>)

Φορέας διαχείρισης Θερμαϊκού Κόλπου (<http://axiosdelta.gr/>)