

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ και ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ Δ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΥΔΗ

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ
ΒΡΩΜΟΛΙΜΝΩΝ ΛΑΝΤΖΑΣ ΚΑΙ ΜΑΥΡΟΥΔΑΣ ΝΟΜΟΥ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2015

ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ Δ. ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΥΔΗ

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ
ΒΡΩΜΟΛΙΜΝΩΝ ΛΑΝΤΖΑΣ ΚΑΙ ΜΑΥΡΟΥΔΑΣ ΝΟΜΟΥ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Αν. Καθηγητής Βουδούρης Κωνσταντίνος

© Αικατερίνη Δ. Χριστοφορούδη, Εργ. Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, 2015
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΒΡΩΜΟΛΙΜΝΩΝ ΛΑΝΤΖΑΣ ΚΑΙ ΜΑΥΡΟΥΔΑΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

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

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

ΠΡΟΛΟΓΟΣ:

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος «Διπλωματική Εργασία» κατά τη διάρκεια του έτους 2013-2014. Η ανάθεση του θέματος έγινε από τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Βουδούρη Κων/νο. Με την ολοκλήρωση της εργασίας θεωρώ καθήκον μου να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους που συνέβαλαν στην περάτωσή της. Πιο συγκεκριμένα θα ήθελα να ευχαριστήσω:

Τον επιβλέποντα αυτής της εργασίας, Αν. Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας κ. Βουδούρη Κωνσταντίνο, για την ανάθεση του θέματος καθώς και για τις συμβουλές και την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Την υπεύθυνη των γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης του δήμου Βόλβης, Κατραντζή Αργυρώ, για τα χρήσιμα στοιχεία που μου παραχώρησε.

Το ΕΔΙΠ του Τομέα Γεωλογίας Χρήστο Μάττα για την πολύτιμη βοήθειά του και τη συνεχή καθοδήγησή του.

Το σύνολο του προσωπικού του πρώην δημαρχείου Αρέθουσας για τα στοιχεία που μου παραχώρησε.

Το σύνολο του προσωπικού του Τομέα Γεωλογίας για την επιστημονική και υλική υποστήριξη.

Τους κατοίκους της περιοχής για την άριστη συνεργασία τους καθώς και για τη βοήθεια που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των υπαίθριων εργασιών.

Το θείο μου Χρήστο και τον οικογενειακό φίλο Λάμπρο που με οδήγησαν στις γεωτρήσεις και με βοήθησαν να συλλέξω τα δείγματά μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Η περιοχή μελέτης ανήκει στην Κεντρική Μακεδονία στο νομό Θεσσαλονίκης. Πρόκειται για υπολεκάνη της ευρύτερης λεκάνης της Μυγδονίας (που περιλαμβάνει τις λίμνες Βόλβη-Κορώνεια), η οποία περικλείει τις δύο αποξηραμένες πλέον Βρωμολίμνες Λάντζας και Μαυρούδας.

Ανήκει γεωτεκτονικά στη Σερβομακεδονική ενότητα και αποτελείται κυρίως από ιζήματα τα οποία έχουν καλύψει το υπόβαθρο.

Η λεκάνη μελέτης έχει έκταση 206,31 km² και μέσο υψόμετρο 444,461 m.

Το υδρογραφικό δίκτυο είναι δενδριτικής μορφής με κύριο κλάδο 5^{ης} τάξης, το χείμαρρο της βαμβακιάς, μέσω του οποίου αποστραγγίζεται η λεκάνη στη λίμνη Βόλβη.

Ο συντελεστής εξατμισοδιαπνής στην περιοχή μελέτης έχει τιμή 0,752 (όπως προκύπτει από το ισοζύγιο).

Από τη μέτρηση της υπόγειας στάθμης παρατηρήθηκε κύρια κίνηση του υπόγειου νερού προς τις θέσεις των δύο πρώην λιμνών. Η μεγαλύτερη διακύμανση στάθμης παρατηρείται λίγο έξω από την Αρέθουσα δηλαδή στην έξοδο της λεκάνης μελέτης και είναι ίση με 10,9m.

Από τη χημική ανάλυση των δειγμάτων προέκυψε υψηλή περιεκτικότητα σε νιτρικά κυρίως στην περιοχή του Ξηροπόταμου ως αποτέλεσμα της έντονης γεωργικής δραστηριότητας.

Το νερό της περιοχής χαρακτηρίζεται γλυκό και ανήκει κυρίως στα ασβεστο-μαγνησιούχα ανθρακικά νερά.

Η πλειονότητα των γεωτρήσεων χρησιμοποιείται για αρδευτικούς σκοπούς. Ωστόσο υπάρχουν και υδρευτικές γεωτρήσεις οι οποίες καλύπτουν τις ανάγκες των κατοίκων της περιοχής και φυσικά τηρούν τα όρια ποσιμότητας, όπως διαπιστώθηκε από την ανάλυση του δείγματος της γεώτρηση «Δ».

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:

	ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
	ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1	ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	7
1.2	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	9
2	ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	10
2.1	ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ	10
2.3	ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	12
3	ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ-ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ	15
3.1	ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	15
3.2	ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ-ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ	16
4	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	17
4.1	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΜΥΤΙΛΟΝΙΑΣ	17
4.2	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	18
4.3	ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ	19
4.4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	21
5	ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ-ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ	25
5.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	25
5.2	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	28
5.3	ΣΧΕΣΗ ΑΠΟΛΥΤΟΥ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ-ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	29
5.4	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ	30
5.5	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΚΑΤΑ THORNTHWAITE	30
6	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	33
6.1	ΓΕΝΙΚΑ	33
6.2	ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	34
6.3	ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΑ-ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ	36
7	ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ	45
7.1	ΓΕΝΙΚΑ	45
7.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	46
7.3	ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ	62
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	66
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	68

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΈΡΕΥΝΑΣ

Η περιοχή έρευνας ανήκει στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Μακεδονίας (Εικόνα 1), στο 10^ο υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας όπως αυτά έχουν οριστεί από το Νόμο 1739/87. Η λεκάνη απορροής των Βρωμολιμνών ανήκει διοικητικά στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας και ειδικότερα στο νομό Θεσσαλονίκης ΒΑ της πόλης. Το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης υπάγεται διοικητικά στο Δήμο Βόλβης ενώ ένα μικρό τμήμα στα ανατολικά στο Δήμο Λαγκαδά.



Εικόνα 1: Δήμος Βόλβης και θέση περιοχής έρευνας (πηγή: Βικιπαίδεια)

Οι οικισμοί που βρίσκονται εντός της λεκάνης και απεικονίζονται στην Εικόνα 2 είναι οι παρακάτω: Αρέθουσα, Λευκούδα, Ξηροπόταμος, Μαυρούδα, Ανοιξιά, Φιλαδέλφιο, Σκεπαστό, Λίμνη, Στεφανινά.



Εικόνα 2: Η λεκάνη μελέτης Βόρεια της λίμνης Βόλβης με τους οικισμούς (πηγή: Google earth)

Η λεκάνη των Βρωμολιμνών αποστραγγίζεται στη λίμνη Βόλβη μέσω του χειμάρρου Βαμβακιάς (ή Κρύας Βρύσης) (Ζαμπούρ Ι., 2010). Ο χειμάρρος αυτός διέρχεται ανατολικά του χωριού Βαμβακιά, συμβάλλει στο Ρήχιο ποταμό και εκβάλλει στη ΒΑ πλευρά της Βόλβης

Σημειώνεται ότι ο Ρήχιος είναι ο ποταμός που εκφορτίζει τα πλεονάζοντα νερά της λεκάνης της Μυγδονίας (από την περιοχή των λιμνών Κορώνιας-Βόλβης) μέσω των στενών της Ρεντίνας στη θάλασσα (Στρυμονικός Κόλπος) (Ζαμπούρ Ι., 2010).

1.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στα πλαίσια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας συλλέχθηκαν τα υπάρχοντα διαθέσιμα δεδομένα για τις γεωτρήσεις της περιοχής. Επίσης αναζητήθηκαν όλες οι διαθέσιμες δημοσιευμένες εργασίες που έχουν εκπονηθεί στην περιοχή και αφορούν τις γεωλογικές συνθήκες και τους υδατικούς πόρους της περιοχής ώστε να αναλυθούν και να ερμηνευτούν οι υδρογεωλογικές και υδροχημικές συνθήκες. Επιλέχθηκε ένα δίκτυο 26 γεωτρήσεων στις οποίες μετρήθηκε η στάθμη δύο φορές το χρόνο, μια την υγρή περίοδο (Απρίλιο) και μια την ξηρή (Σεπτέμβριο). Η μέτρηση της στάθμης έγινε με σταθμήμετρο του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.. Οι υψηλότερες στάθμες του υδροφόρου ορίζοντα παρατηρούνται κατά τους μήνες Απρίλιο-Μάιο πριν την έναρξη της αρδευτικής περιόδου και αφού έχουν προηγηθεί οι βροχοπτώσεις τη χειμερινής περιόδου. Οι χαμηλότερες στάθμες παρατηρούνται κατά τους μήνες Σεπτέμβρη-Οκτώβρη (ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες) μετά το πέρας της αρδευτικής περιόδου και πριν την έναρξη των βροχοπτώσεων. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία σε 9 από αυτές, για τις δύο περιόδους, και εκτελέστηκαν εργαστηριακές αναλύσεις. Κατά τις χημικές αναλύσεις μετρήθηκαν σε mg/l τα στοιχεία: Na, K, Ca, Mg, SO₄, Cl, NO₃, HCO₃ και το pH.

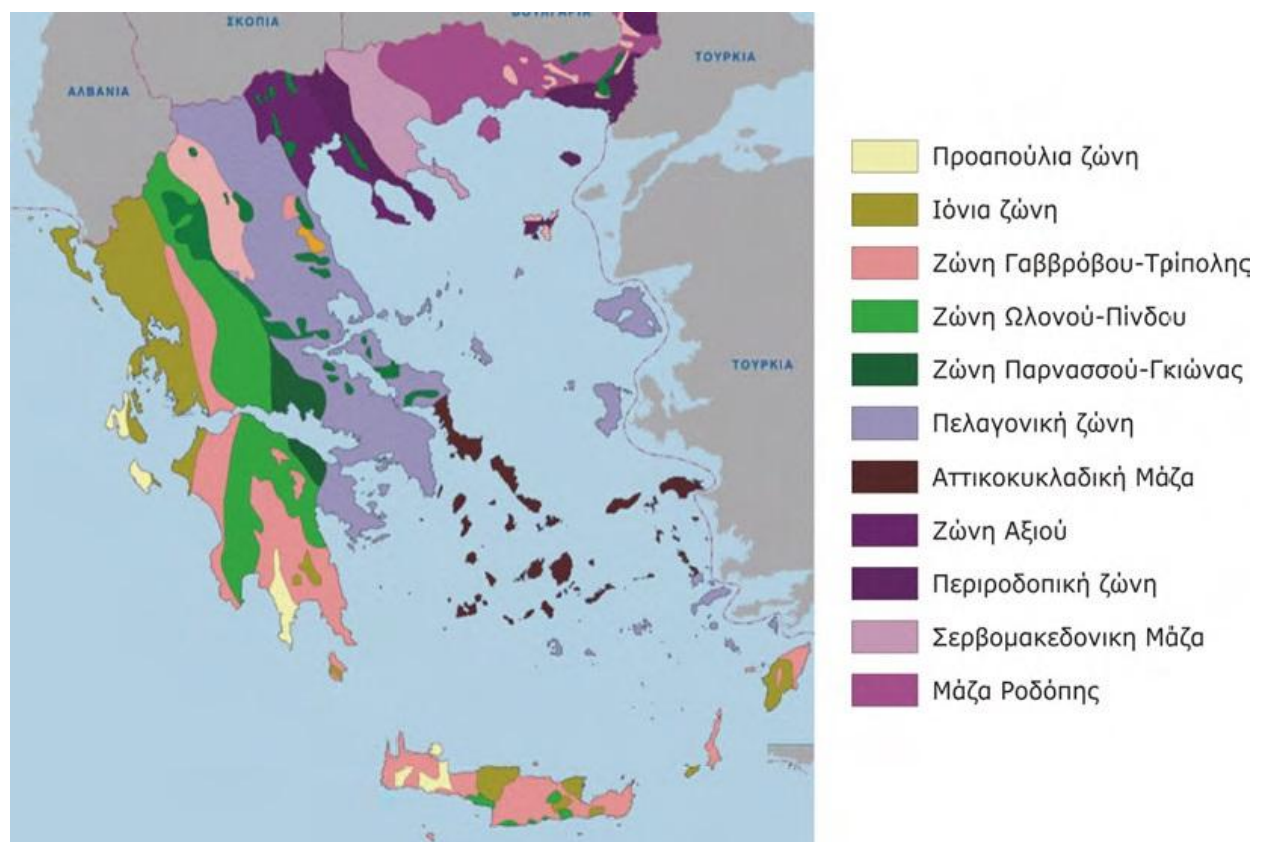
Τέλος χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων και με τη βοήθεια προγραμμάτων όπως Microsoft office, QGIS, GW chart έγιναν τα διαγράμματα των μεταβολών της στάθμης, Piper, Schoeller και οι χάρτες χωρικής κατανομής των στοιχείων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

2.1 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ

Η περιοχή έρευνας τοποθετείται γεωτεκτονικά στη Σερβομακεδονική μάζα, η οποία εκτείνεται δυτικά του Στρυμόνα, από τα σύνορα μέχρι και τη Χαλκιδική. Μαζί με τη μάζα της Ροδόπης αποτελούν την ελληνική ενδοχώρα και αποτελούνται από κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα καθώς πιστεύεται ότι αντιπροσωπεύουν ηπειρωτικό φλοιό, πιθανόν τμήμα της Ευρασίας (Μουντράκης Δ., 2010).



Εικόνα 3: Κύριες γεωτεκτονικές ζώνες Ελλάδας (πηγή: Μουντράκης Δ., 1985)

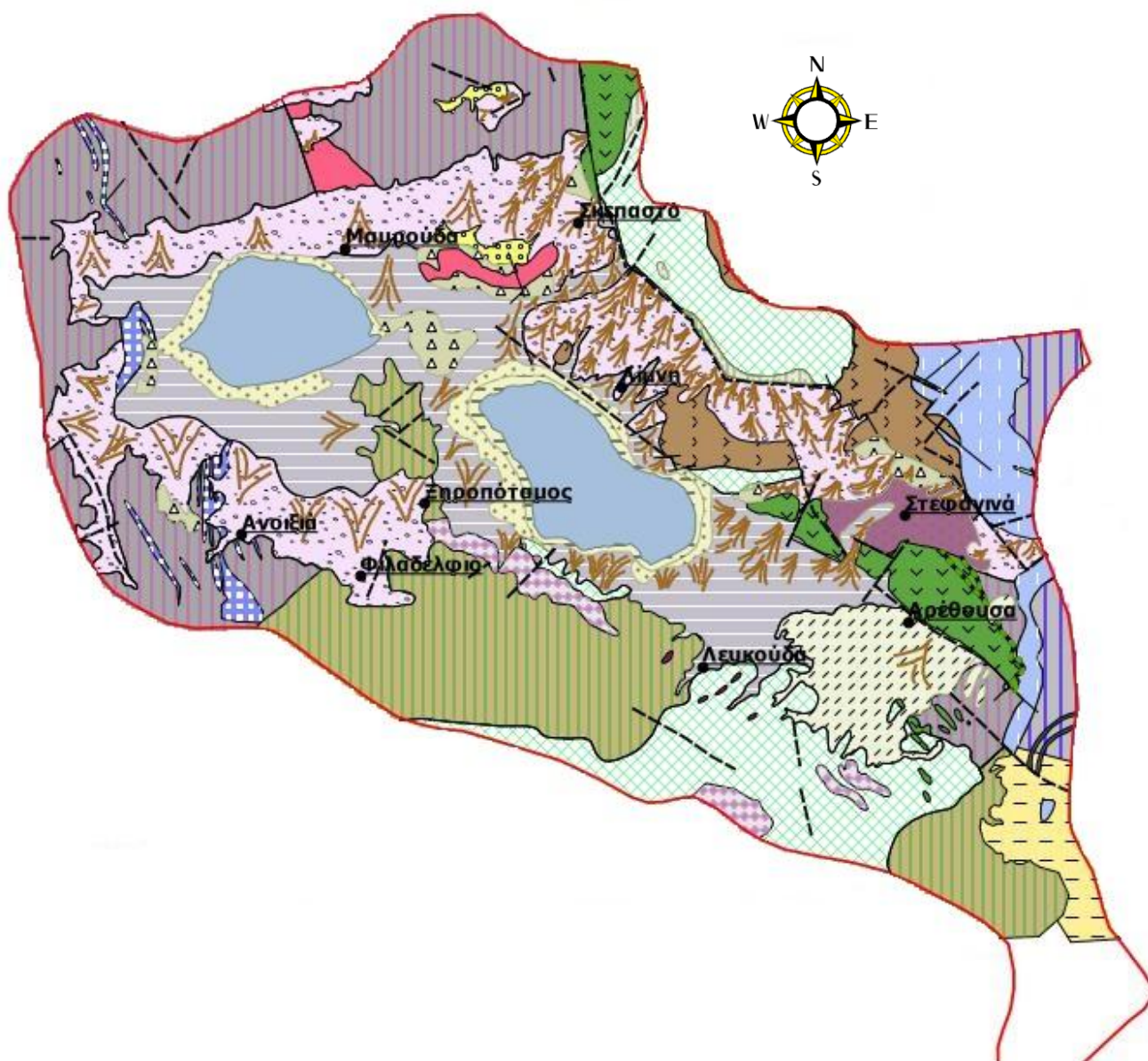
Στα πετρώματα της Σερβομακεδονικής το μεταμορφωμένο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο έχει διαχωριστεί σε δύο σειρές (Kockel & Walther, 1968): την κατώτερη και αρχαιότερη σειρά Κερδυλλίων η οποία μεταβαίνει ομαλά (συμφωνία) προς την ανώτερη και νεότερη σειρά Βερτίσκου. Η πρώτη παρουσιάζει γενική διεύθυνση BBD-NNA. Λιθοστρωματογραφικά αποτελείται από εναλλαγές βιοτιτικών γνευσίων και μαρμάρων. Η δεύτερη έχει ομοίως διεύθυνση BBD-NNA, φτάνει μέχρι τα σύνορα της Ελλάδας με τη Βουλγαρία και των Σκοπιών και επεκτείνεται στις δύο αυτές χώρες. Αποτελείται από τους εξής σχηματισμούς: διμαρμαρυγικοί γνεύσιοι, διμαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι-γρανατούχοι, μάρμαρα, βιοτιτικοί γνεύσιοι, αμφιβολίτες και άλλα μεταβασικά πετρώματα (Μουντράκης Δ., 2010).

Η συνέχεια του υποβάθρου διακόπτεται από πυριγενείς όγκους που δημιουργήθηκαν κατά τις τέσσερις φάσεις μαγματισμού που υπέστη η ζώνη. Η 1^η φάση μαγματισμού έχει προ-αλπική ηλικίας και βασική-υπερβασική σύσταση. Σε αυτή ανήκουν τα μεταβασικά πετρώματα με τα υπολείμματα εκλογιτών. Η 2^η φάση είναι Ανω-Παλαιοζωικής ηλικίας με γρανιτική σύσταση. Τη φάση αυτή αντιπροσωπεύουν οι πλαγιокλαστικοί-μικροκλινικοί γνεύσιοι των περιοχών Κερδυλλίων, Ολυμπιάδας, Βερτίσκου. Στην 3^η φάση Μεσοζωικής ηλικίας και γρανιτικής σύστασης σχηματίστηκαν οι γρανίτες του Μονοπήγαδου, της Αρναίας, του Λαχανά και ο χαλαζιακός διορίτης του Φλαμουρίου. Τέλος, στην 4^η φάση μαγματισμού ηλικίας Τριτογενούς και όξινης σύστασης δημιουργήθηκαν οι γρανίτες της Ιερισσού, της Σιθωνίας, της Μονής Γρηγορίου Αγίου Όρους, ο γρανοδιορίτης του Στρατωνίου και οι χαλαζιακοί διορίτες Μεγάλης Παναγιάς, Στεφανίας και Στρυμόνα (Μουντράκης Δ., 2010).

Όπως προαναφέρθηκε τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μαζί με αυτά της Ροδόπης είναι τα παλαιότερα. Επομένως έχουν υποστεί κάποιες τεκτονικές επιδράσεις μέχρι σήμερα. Πρώτη ορογενετική περίοδος στην Ελλάδα θεωρείται η Ερκύνια στα 300Ma η οποία προκάλεσε ισοκλινείς πτυχές και την πρώτη σχιστότητα των μιγματιτών S1. Στο Ιουρασικό μαζί με την αμφιβολιτική μεταμόρφωση λαμβάνει χώρα η 2^η ορογενετική περίοδος προκαλώντας ισοκλινείς πτυχές και την κύρια σχιστότητα της Σερβομακεδονικής. Έπειτα έχουμε τη δημιουργία κλειστών υπό-ισοκλινών πτυχών ως αποτέλεσμα της εξέλιξης της αμφιβολιτικής φάσης σε πρασινοσχιστολιθική. Στη συνέχεια λαμβάνουν χώρα οι Τριτογενείς αλπικές φάσεις πτυχώσεων κατά τη σύγκρουση Απουλίας-Ευρασίας, δημιουργώντας λεπιώσεις, τοπικές και μεγάλες επωθήσεις και αναστροφή των στρωμάτων στο δυτικό περιθώριο της ζώνης. Τέλος, έχει διαπιστωθεί η ύπαρξη μιας εκτατικής τεκτονικής από το Άνω Κρητιδικό ως και το Νέο-Τριτογενές (Kiliyas et al. 1999, Φαλαλάκης 2004). Κατά την τεκτονική αυτή δημιουργείται σχιστότητα και γράμμωση. Καταλήγει σε τελείως θραυστικές συνθήκες προκαλώντας κανονικά ρήγματα διαφόρων κλίσεων με αποτέλεσμα τη δημιουργία λεκανών (π.χ. λεκάνη Στρυμόνα) (Μουντράκης Δ., 2010).

2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τα πετρώματα του υποβάθρου της ευρύτερης περιοχής αποτελούνται από σχηματισμούς της Σερβομακεδονικής μάζας, των σχηματισμών Βερτίσκου και Κερδυλλίων, τα οποία έχουν καλυφθεί κατά τα πλείστον από τα νεότερα ιζήματα της λεκάνης.



Χάρτης 1: Ψηφιοποιημένος (GIS) γεωλογικός χάρτης λεκάνης μελέτης βασισμένος στα φύλλα γεωλογικών χαρτών ΣΟΧΟΣ,ΣΙΤΟΧΩΡΙΟΝ,ΣΤΑΥΡΟΣ του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ

-  Λιμναία Ιζήματα Βρωμολιμνών
-  Προσχώσεις Κοιλάδων
-  Πλευρικά Κορήματα
-  Αποθέσεις Αναβαθμίδων Βρωμολίμνης

ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ

-  Ανώτερη βαθμίδα του κατώτερου συστήματος αναβαθμίδων
-  Μεσαίο Σύστημα Αναβαθμίδων
-  Αδιαίρετες Πλειστοκαινικές Αποθέσεις
-  Ριπίδια Προσχώσεων

ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ

-  Σειρά Ερυθρών Αργίλων

ΜΕΤΑΙΣΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

-  Σχηματισμοί "Σβούλας"

ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗΣ

Σειρά Βερτίσκου

-  Μαρμαρυγικοί Σχιστόλιθοι Βερτίσκου
-  Μοσχοβιτικοί και βιοτιτικοί γνεύσιοι Βερτίσκου

Σειρά Κερδυλλίων

-  Ανώτερος Ορίζοντας Μαρμάρου
-  Κατώτερος Ορίζοντας Μαρμάρου
-  Βιοτιτικός Γνεύσιος

ΕΚΡΗΞΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

-  Διορίτης Στεφανινών
-  Διορίτης Μαυρούδας
-  Ουραλιτωμένος Πηγματιτικός Γάββρος
-  Λευκόγαββρος
-  Αμφιβολίτης
-  Αμφιβολίτες που εναλλάσσονται με διμαρμαρυγικούς γνευσίους της ενότητας του Βερτίσκου
-  Υπερβασικά Σώματα
-  Ακτινολιθικοί Επιδοτιτικοί Σχιστόλιθοι

-  Υδάτινες Επιφάνειες
-  Ρήγματα
-  Πιθανά Ρήγματα
-  Ανάστροφα Ρήγματα
-  Όρια Λεκάνης Βρωμολιμνών
 - Οικισμοί

ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Τα ιζήματα της λεκάνης είναι τα πιο πρόσφατα και δημιουργήθηκαν από τις εκφορτίσεις των χειμάρρων της περιοχής προς τις Βρωμολίμνες. Εμφανίζονται κυρίως περιμετρικά της λεκάνης και αποτελούνται κυρίως από άμμο, άργιλο, ιλύ και χάλικες. Εμφανίζεται επίσης πηλός και μια σειρά ερυθρών αργίλων (γεωλογικά φύλλα χάρτη Σοχός, Σιτοχώριον, Σταυρός του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000).

ΜΕΤΑΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Στην περιοχή μελέτης συναντώνται και πετρώματα της ομάδας της «Σβούλας» που ανήκει στην Περιοδοπική τεκτονική ζώνη (γεωλογικά φύλλα χάρτη Σοχός, Σιτοχώριον, Σταυρός του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000). Πρόκειται για σχηματισμούς της ενότητας Μελισσοχωριού-Χολομώντα που αποτελούνται από λευκούς έως γαλαζωπούς παχυστρωματώδεις έως λεπτοστρωματώδεις ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, χαλαζιακά σερεκιτικά μάρμαρα και ασβεστιτικούς σχιστόλιθους με ενστρώσεις ασβεστιτικών, γραφιτικών και γρανατούχων φυλλιτών (Μουντράκης Δ., 2010). Εμφανίζονται κυρίως ως σύγκλινα μέσα στους γνεύσιους του Βερτίσκου με κεραμιδωτή δομή. Ο ανώτερος σχηματισμός αυτής της ενότητας με ηλικία Κάτω-Μέσο Ιουρασικό είναι γνωστός σαν φλύσχης «Σβούλας» και αποτελεί το σημαντικότερο σχηματισμό της Περιοδοπικής ζώνης καθώς μαρτυρά την ηπειρωτική κατωφέρεια και την αύλακα στην περιφέρεια της ηπείρου (Μουντράκης Δ., 2010).

ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗΣ

Τα κρυσταλλικά πετρώματα της περιοχής εντάσσονται σε δύο σειρές. Τη σειρά Βερτίσκου που περιλαμβάνει τους μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και τους μοσχοβιτικούς βιοτιτικούς γνευσίους με τους τελευταίους λόγω μεταμόρφωσης να εμφανίζονται με δευτερογενή φυλλοδομή και μικροπτυχές, και τη σειρά των Κερδυλλίων στην οποία ανήκουν δύο σειρές μαρμάρων και ο βιοτιτικός γνεύσιος (γεωλογικά φύλλα χάρτη Σοχός, Σιτοχώριον, Σταυρός του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000).

ΕΚΡΗΞΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Οι εμφανίσεις αυτών των πετρωμάτων είναι μικρές σε σχέση με την έκταση των ιζημάτων. Είναι γενικά σκληρά πετρώματα καθώς επί το πλείστον αποτελούνται από ορυκτά με καλή σκληρότητα όπως κεροσίλβη, πλαγιόκλαστα και υπολείμματα πυροξένων, επιδότου κ.α.. (γεωλογικά φύλλα χάρτη Σοχός, Σιτοχώριον, Σταυρός του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:

ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ-ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ

3.1 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η τεκτονική δομή της λεκάνης Μυγδονίας συνδέεται με την πολύπλοκη τεκτονική του Βορειοελλαδικού χώρου. Κάποιοι θεωρούν πως η Μυγδονία λεκάνη υπέστη την Ηωερκυνία ορογένεση με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και μια νεότερη με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Η ηλικία της τελευταίας δεν έχει προσδιοριστεί. Με τη λήξη της τελευταίας ορογενετικής μετακίνησης έλαβαν χώρα στη Μακεδονία ισοστατικές κινήσεις ώστε να αποκατασταθεί ισορροπία, με αποτέλεσμα τον κατακερματισμό και τη βύθιση των μεγάλων τμημάτων της (Ζαμπύρ Ι., 2010).

Η νεοτεκτονική δραστηριότητα στην περιοχή χαρακτηρίζεται από κανονικά ρήγματα. Τεκτονικά κέρατα και τεκτονικές τάφροι εμφανίζονται κατά μήκος του Σερβομακεδονικού όγκου (Παυλίδης Σ. κ.α, 2010).

Ακόμα και σήμερα η ευρύτερη περιοχή της ζώνης βρίσκεται υπό την επίδραση τάσεων που δημιουργούν τεκτονικά και μαγματικά φαινόμενα, εκδήλωση των οποίων αποτελούν η συχνή σεισμική δράση, οι θερμομεταλλικές πηγές και η ύπαρξη γεωθερμικών πεδίων (Μουντράκης Δ., 2010).

3.2 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ-ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

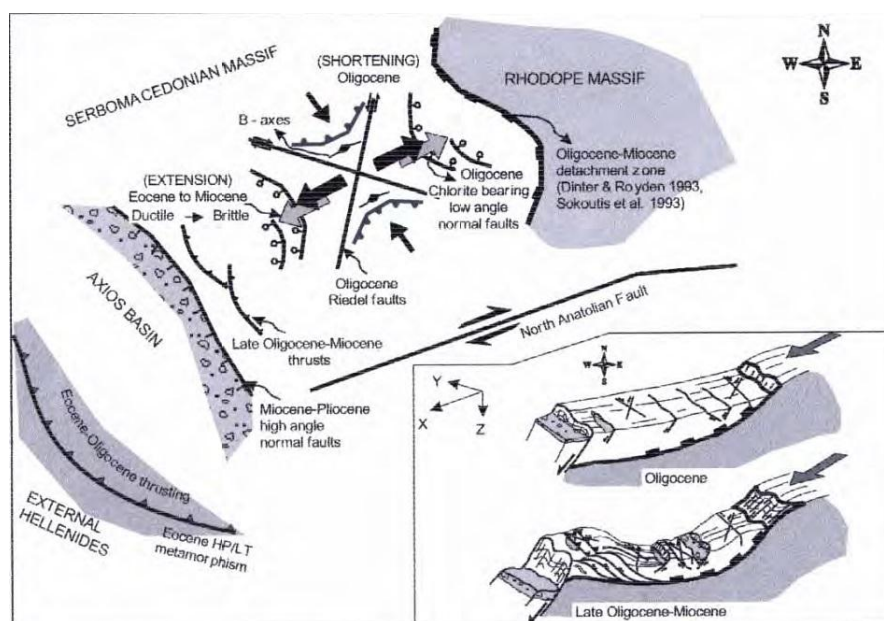
Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα υψηλή σεισμική δραστηριότητα, η οποία κατά κύριο λόγο συνδέεται με μετακινήσεις της λιθοσφαιρικής πλάκας της ζώνης Αξιού (Παπαζάχος Β., 1981). Με βάση τον ΕΑΚ 2000, όπως τροποποιήθηκε το 2003, εντάσσεται στη Ζώνη ΙΙ σεισμικής επικινδυνότητας, με μέγιστη αναμενόμενη τιμή σεισμικής επιτάχυνσης 0,24g (Χατζηγώγος Ν., Μακεδών Θ., 2008).

Η σεισμική δραστηριότητα προσδιορίζεται σε ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση κατά μήκος της Σερβομακεδονικής μάζας. Η ζώνη αυτή μαζί με την τάφρο του Βορείου Αιγαίου αποτελεί την πιο σεισμικά ενεργή περιοχή του Βορειοελλαδικού χώρου. Μέγιστο μέγεθος σεισμού $M_{max}=7,5$ (Comninakis P. & Papazachos V., 1979).

Ιστορικά, έχουν καταγραφεί 25 συμβάντα τους τελευταίους 17 αιώνες. Μόνο τον τελευταίο αιώνα έχουν λάβει χώρα 8 σεισμικά γεγονότα στη Σερβομακεδονική μάζα με μέγεθος $M \geq 6,5$. Σε συνδυασμό με τη σεισμική δραστηριότητα του 20ου αιώνα η περιοχή χαρακτηρίζεται από μεγάλης έντασης σεισμούς με εστιακό βάθος 5-15km με μέσο βάθος 9km και περίοδο επανάληψης 40χρόνια (Blume et al., 1979).

Όπως προαναφέρθηκε στην περιοχή έχουν συμβεί στο παρελθόν αρκετά μεγάλοι σεισμοί, με πιο πρόσφατο τον σεισμό του 1978, μεγέθους 6,5 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ αφήνοντας πίσω νεκρούς και σοβαρές καταστροφές σε κτίρια (<http://www.naftemporiki.gr/story/714172/seismos-44-rixter-tarakounise-ti-thessaloniki>, τελευταία επίσκεψη 12/03/2015).

Ακόμη το 1902 στην Άσσηρο έγινε σεισμός μεγέθους 6,6 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ και το 1932, 6,2 Ρίχτερ προς τον Σοχό (Παυλίδης Σ. κ.α., 2010).



Εικόνα 4: τεκτονική δομή της ζώνης Αξιού και της Σερβομακεδονικής Μάζας, η οποία ενεργοποιεί τις μετακινήσεις της ζώνης Αξιού. (Kiliyas et. al, 1999)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

4.1 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΜΥΓΔΟΝΙΑΣ

Η Μυγδονία λεκάνη περικλείει τις λίμνες Κορώνια και Βόλβη (Εικόνα 5). Καλλιεργήσιμες εκτάσεις αναπτύσσονται περιμετρικά της λίμνης με εξαίρεση το βόρειο τμήμα της που έχει μόνο ένα μικρό πεδινό τμήμα στην περιοχή Βαϊοχωρίου. Βόρεια αναπτύσσεται το όρος Μπεσικίων (ή Όρη Βόλβης) και ο υδροκρίτης περνά ανατολικά της Αρέθουσας και Βορειοανατολικά του Σοχού συνεχίζοντας προς το Νότο. Νότια αναπτύσσεται ο ορεινός όγκος του Χολομώντα. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης ανέρχεται σε 340m και το εμβαδό της σε 2026Km² περίπου (Ξαφένιας Ν., 2007).

Τα στενά της Ρεντίνας (4,5Km περίπου), αποτελούν αξιόλογο μορφολογικό φαινόμενο. Επίσης μορφολογικό φαινόμενο αποτελούν οι δελταϊκές αποθέσεις των χειμάρρων Μεγάλο και Μικρό Ρέμα, οι οποίες εισχωρούν σα γλώσσες στη λίμνη. Βόρεια της Νέας Απολλωνίας η λίμνη παρουσιάζει το στενότερο σημείο της, με μήκος 2Km και πιστεύεται ότι με τη συνεχή απόθεση, η λίμνη στο μέλλον θα χωριστεί σε δύο ξεχωριστές λίμνες, την Ανατολική και τη Δυτική Βόλβη (Βαφειάδης Π., 1988).



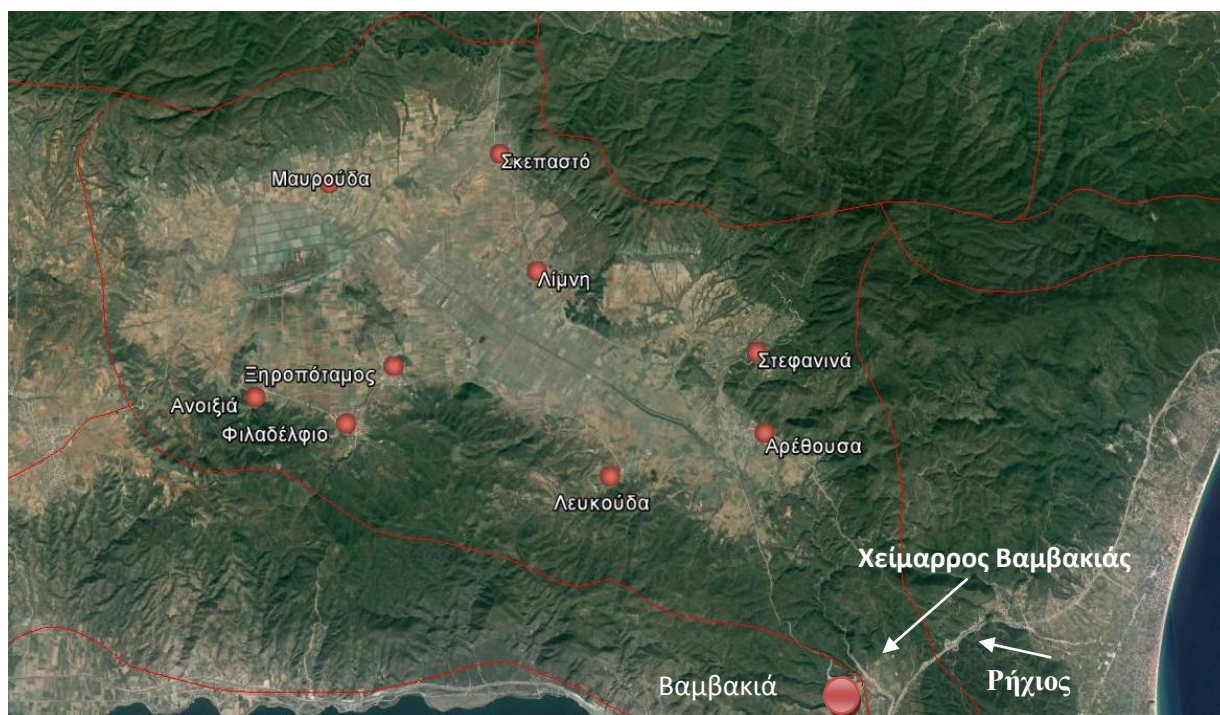
Εικόνα 5: Μυγδονία λεκάνη (πηγή: http://hiropoiito.blogspot.gr/2011/02/blog-post_9352.html)
Τελευταία επίσκεψη 9/3/2015

4.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η λεκάνη των Βρωμολιμνών τοποθετείται βόρεια της λίμνης Βόλβης και αποτελεί υπολεκάνη της Μυγδονίας λεκάνης.

Μελετώντας τους τοπογραφικούς χάρτες (φύλλα: Σταυρός, Σιτοχώριον, Σοχός) της περιοχής, περιμετρικά συναντάμε τα όρη από τα οποία οριοθετείται η λεκάνη: βορειοανατολικά το όρος Κερδύλλια με μέγιστο υψόμετρο περίπου 1100m, βορειοδυτικά το όρος Βερτίσκοι με μέγιστο υψόμετρο περίπου 1200m και νότια τα όρη της Βόλβης με υψόμετρο περίπου 670m.

Εκτός των ορέων η λεκάνη αποτελείται και από πεδινή καλλιεργήσιμη έκταση. Οι υδάτινες επιφάνειες είναι ορατές κυρίως κατά τις βροχερές περιόδους, όταν δηλαδή οι βροχοπτώσεις είναι αυξημένες και τα νερά λιμνάζουν στη θέση των προϋπάρχουσων λιμνών.



Εικόνα 6: Όρια λεκάνης μελέτης και οικισμοί(πηγή: Google Earth, geodata)

Ο υδροκρίτης (Εικόνα 6) περνά ανατολικά της Αρέθουσας από τις κορυφές ‘Φτερούδα’ και ‘Καλογριά’ (700m) για να συνεχίσει βόρεια προς την κορυφή ‘Φούντες’ με υψόμετρο 1080m. Ακολουθεί τα όρη Κερδύλλια με διεύθυνση ΝΝΑ-ΒΒΔ. Συναντά την κορυφή ‘Γιαννίτσι’ στα 1092m και κάμπτεται με διεύθυνση ΝΑ-ΒΔ περνώντας από τις κορυφές ‘Αγκαθωτό’ (850,2m) και ‘Προφήτης Ηλίας’ (798m). Έπειτα περνά στο όρος Βερτίσκοι και βόρεια της Μαυρούδας από τις κορυφές ‘Πλατανάκι’ (607m) και ‘Μαύρο Αμπέλι’ (772m) ως το ‘Δασότοπο’ (929m). Συνεχίζει νότια περνώντας δυτικά της Ανοιξιάς από την ‘Ψηλή Ράχη’ και την κορυφή

‘Αντρώνη’ (534m) ώστε να διασχίσει τα όρη της Βόλβης νότια της Λευκούδας και τέλος ανατολικά του χωριού Βαμβακιά για να καταλήξει να αποστραγγίζεται στα βορειοανατολικά της λίμνης Βόλβης.

Η αποστράγγιση της λεκάνης γίνεται μέσω του χείμαρρου της Βαμβακιάς ο οποίος συμβάλλει στο Ρήχιο ποταμό (Ζαμπούρ Ι., 2010).

4.3 ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ

Με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ-GIS) προσδιορίστηκαν οι μορφολογικές παράμετροι (Πίνακας 1) της λεκάνης απορροής (περίμετρος, έκταση, μέγιστο μήκος και πλάτος κ.α.). Επίσης κατασκευάστηκε η υψομετρική καμπύλη.

Το **Μέσο Υψόμετρο** της λεκάνης προσδιορίστηκε από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM).

Το **Υψόμετρο 50%** αντιστοιχεί στο 50% της αθροιστικής καμπύλης επιφάνειας όπως εκτιμάται από την υψομετρική καμπύλη (Διάγραμμα 1).

Το **Υψόμετρο Μέγιστης Συχνότητας** είναι η μεγαλύτερη τιμή της καμπύλης υψομετρικών συχνοτήτων (Διάγραμμα 1).

Το **Μέγιστο Μήκος** της λεκάνης μετρήθηκε κατά μήκος και περίπου παράλληλα με τον κύριο κλάδο του υδρογραφικού δικτύου (GIS).

Το **Μέγιστο Πλάτος** της λεκάνης μετρήθηκε κατά μήκος μιας γραμμής κάθετης στον κύριο κλάδο του υδρογραφικού δικτύου (GIS).

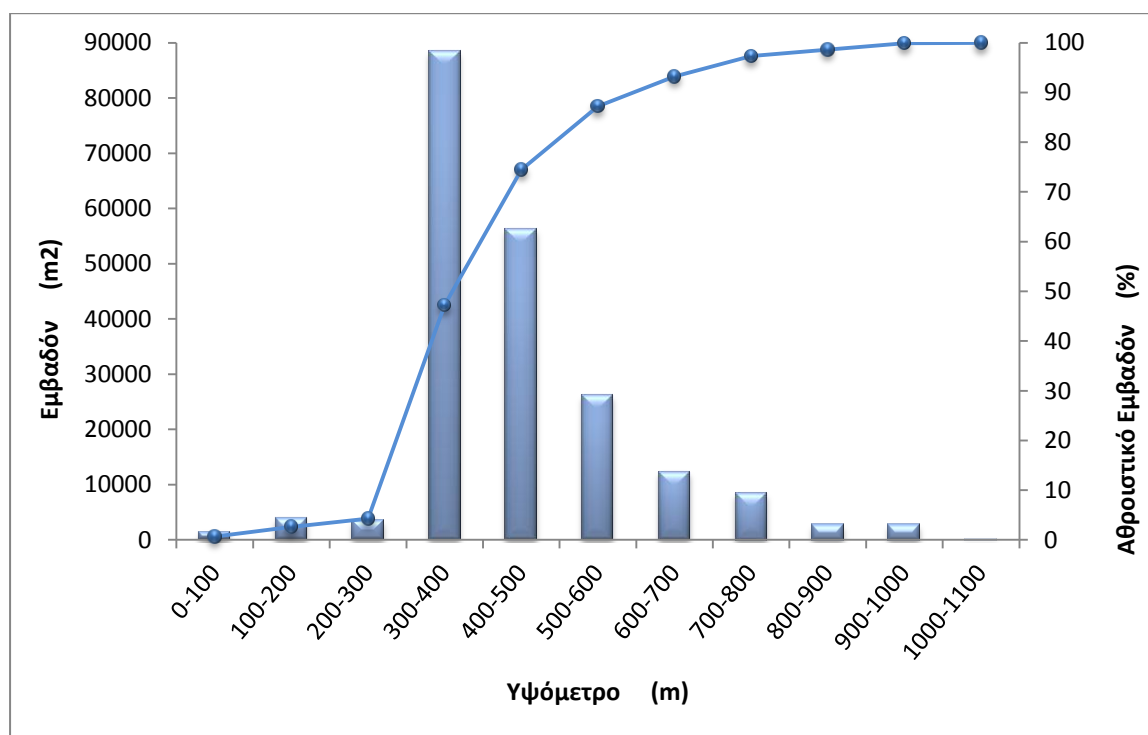
Το **Μέγιστο Ανάγλυφο** αντιπροσωπεύει την υψομετρική διαφορά μεταξύ του στομίου της λεκάνης και του υψηλότερου σημείου της περιμέτρου αυτής.

Δείκτη Ανάγλυφου ορίζουμε το πηλίκο του μέγιστου ανάγλυφου προς το μέγιστο μήκος της υδρολογικής λεκάνης.

Οι **Κλίσεις** της λεκάνης προσδιορίστηκαν από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM).

ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΡΩΜΟΛΙΜΝΩΝ ΛΑΝΤΖΑΣ-ΜΑΥΡΟΥΔΑΣ	
Συνολική Έκταση Λεκάνης(km ²)	206,31
Περίμετρος Λεκάνης(km)	70,45
Μέγιστο Μήκος(km)	25,2
Μέγιστο Πλάτος(km)	13,3
Μέσο Υψόμετρο(m)	444,461
Υψόμετρο 50%	360
Υψόμετρο Μέγιστης Συχνότητας	350
Μέγιστο Ανάγλυφο(m)	915
Δείκτη Ανάγλυφου	0,036
Κλίσεις(%)-(average)	7,57

Πίνακας 1: Μορφολογικές παράμετροι λεκάνης



Διάγραμμα 1: Υψομετρική καμπύλη λεκάνης

4.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου έγινε με τη μέθοδο STRAHLER. Με βάση την αρίθμηση υπολογίζονται οι παρακάτω παράμετροι (Πίνακας 2):

Συντελεστής Διακλάδωσης(Rb) : το πηλίκο του αριθμού των κλάδων μιας δοσμένης τάξης προς τον αριθμό των κλάδων της επόμενης μεγαλύτερης τάξης, δηλαδή:

$$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

Λαμβάνει τιμές μεταξύ 2 και 5 και τείνει να αυξάνει σε επιμήκεις λεκάνες.

Υδρογραφική Πυκνότητα (RD) : ορίζεται ως ο λόγος του συνολικού μήκους όλων των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου προς τη συνολική έκταση της λεκάνης απορροής.

$$RD = \frac{\sum L}{A}$$

Η υδρογραφική πυκνότητα είναι ένας ποσοτικός δείκτης ο οποίος είναι ευαίσθητος στην μεταβολή των βροχοπτώσεων, στις αλλαγές γεωλογίας και γεωλογικών δομών, εδαφών, και βλάστησης μέσα σε μια υδρολογική λεκάνη (Βουβαλίδης Κ., 2009).

Υδρογραφική Συχνότητα (R_N) : είναι ο λόγος του συνολικού αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου προς τη συνολική έκταση της λεκάνης απορροής.

$$R_N = \frac{\sum N}{A}$$

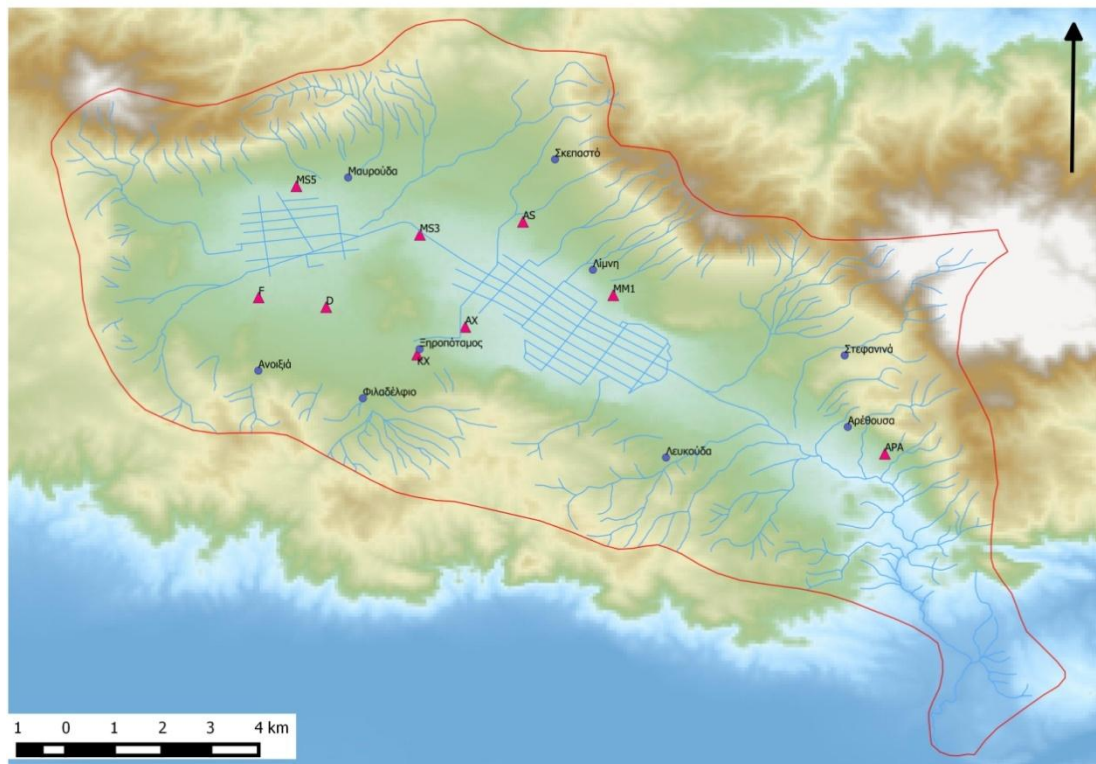
Λόγος μήκους κλάδων(R_L) : ο λόγος του μέσου μήκους των κλάδων μιας δεδομένης τάξης ρεύματος δια του μέσου μήκους των κλαδών της προηγούμενης τάξης

$$R_L = \frac{L_u}{L_{(u-1)}}$$

Κλάδοι 1^{ης} τάξης	252
Κλάδοι 2^{ης} τάξης	60
Κλάδοι 3^{ης} τάξης	15
Κλάδοι 4^{ης} τάξης	3
Κλάδοι 5^{ης} τάξης	1
Συνολικός αριθμός κλαδών	331
Συνολικό μήκων κλάδων(m)	315985.1838
Συντελεστής Διακλάδωσης(Rb)	4,05
Λόγος μήκους κλάδων(R_L)	0,6125
Υδρογραφική Πυκνότητα (RD) km⁻¹	1,5316
Υδρογραφική Συχνότητα (R_N) km⁻²	1,604

Πίνακας 2: Ανάλυση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler και οι κυριότερες μορφομετρικές παράμετροι

Η λεκάνη αποστραγγίζεται στη λίμνη Βόλβη μέσω του χείμαρρου της Βαμβακιάς ο οποίος είναι ο κύριος κλάδος του υδρογραφικού δικτύου και είναι 5^{ης} τάξης. Από το Χάρτη 2 συμπεραίνεται ότι το δίκτυο είναι δενδριτικής μορφής. Μαζί με τον 5^{ης} τάξης κύριο κλάδο αποτελείται από 3 κλάδους 4^{ης} τάξης, 15 κλάδους 3^{ης} τάξης, 60 κλάδους 2^{ης} τάξης και 252 κλάδους 1^{ης} τάξης. Η υδρογραφική πυκνότητα έχει τιμή 1,5316 υποδηλώνοντας ιζηματογενείς σχηματισμούς χωρίς πυκνή φυτική κάλυψη (<http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge427y/pdf/askisi3.pdf>, τελευταία επίσκεψη 9/3/2015). Επομένως πρόκειται για δίκτυο με αραιή ανάπτυξη των κλάδων του και κατά συνέπεια υψηλή διαπερατότητα των πετρωμάτων με σημαντική κατείσδυση σε βάρος της επιφανειακής απορροής.



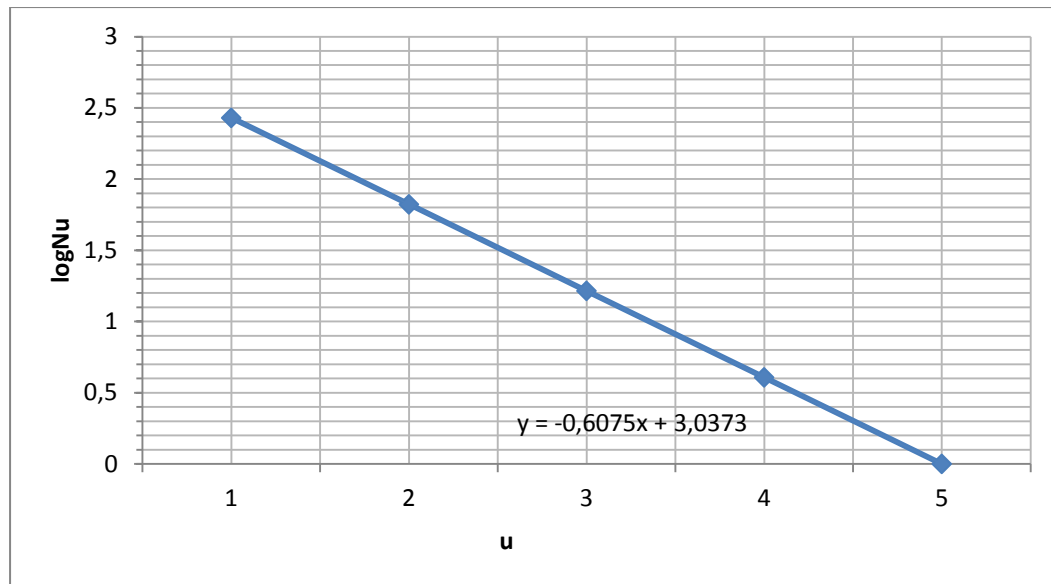
Χάρτης 2: Υδρογραφικό δίκτυο λεκάνης (GIS)

Ο πρώτος νόμος του Horton (1945) αναφέρει ότι: «ο αριθμός των διαδοχικών μικρότερης τάξεως κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου τείνει να σχηματίζει μια αύξουσα γεωμετρική ακολουθία, της οποίας ο πρώτος όρος είναι η μονάδα και έχει για λόγο τον συντελεστή διακλάδωσης (R_b).»

$$N_u = R_b^{(k-u)}$$

Όπου: k : η μέγιστη τάξη και u : η ζητούμενη τάξη

Για να ισχύει ο πρώτος νόμος θα πρέπει η προβολή των σημείων σε διάγραμμα $u=f(\log N_u)$ να είναι πάνω στην ίδια ευθεία. (Διάγραμμα 2)



Διάγραμμα 2: Εφαρμογή του I^{ov} νόμου του Horton

Για το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής προκύπτει η εξίσωση:

$$\log Nu = \log Rb^k - \log Rb^u \Rightarrow \log Nu = 3.037275 - \log 4.05^u$$

Έτσι προκύπτουν οι παρακάτω τιμές του πίνακα που φαίνονται και στο διάγραμμα:

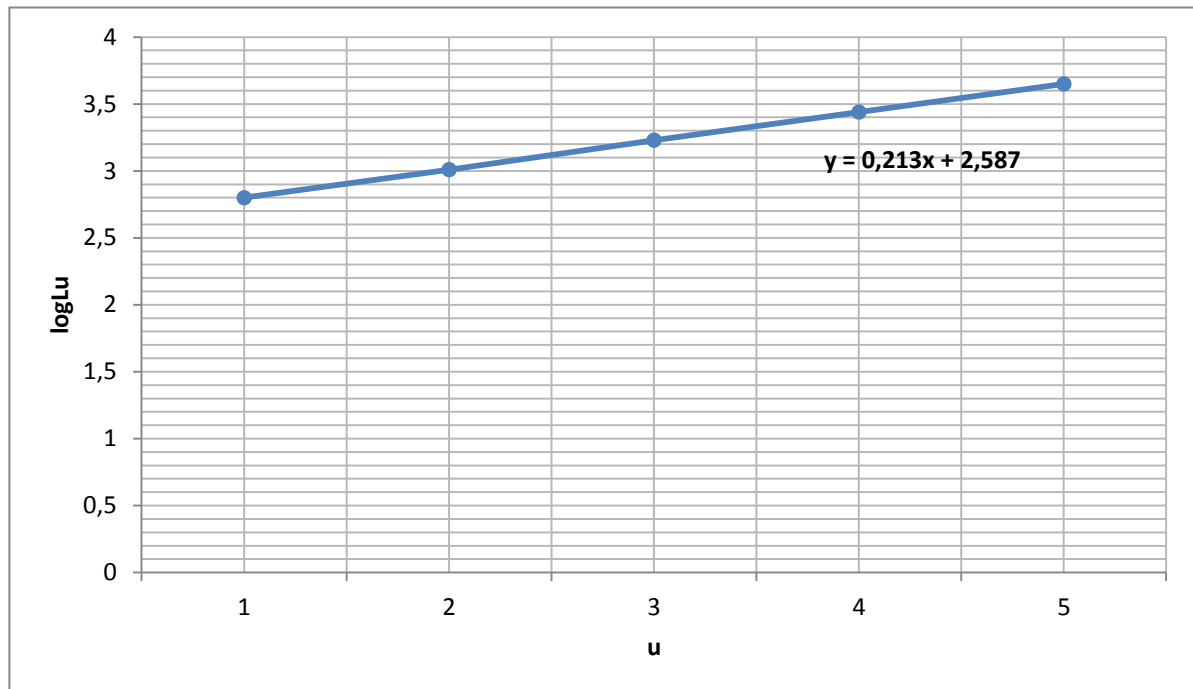
u	logNu
1	2.42982
2	1.822365
3	1.21491
4	0.607455
5	0

Ο δεύτερος νόμος του Horton (1945) αναφέρει ότι: «*Τα αθροιστικά μέσα μήκη των διαδοχικά μεγαλύτερης τάξεως κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τείνουν να σχηματίσουν μια αύξουσα γεωμετρική ακολουθία, της οποίας ο πρώτος όρος είναι το μέσο μήκος των κλάδων I^{ns} τάξεως, και έχει για λόγο τον λόγο μήκους (R_L)*»

$$\bar{L} = \bar{L}_1 R_L^{(u-1)}$$

Όπου: $\bar{L}_1$: το μέσο μήκος των κλάδων πρώτης τάξης

Για να ισχύει ο δεύτερος νόμος θα πρέπει η προβολή των σημείων σε διάγραμμα $u=f(\log L_u)$ να είναι πάνω στην ίδια ευθεία. (Διάγραμμα 3)



Διάγραμμα 3: Εφαρμογή του 2^{ου} νόμου του Horton

Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα (2 και 3) και οι δύο νόμοι Horton ισχύουν για τη λεκάνη των Βρωμολιμνών και σχηματίζεται ένα πλήρως ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο.

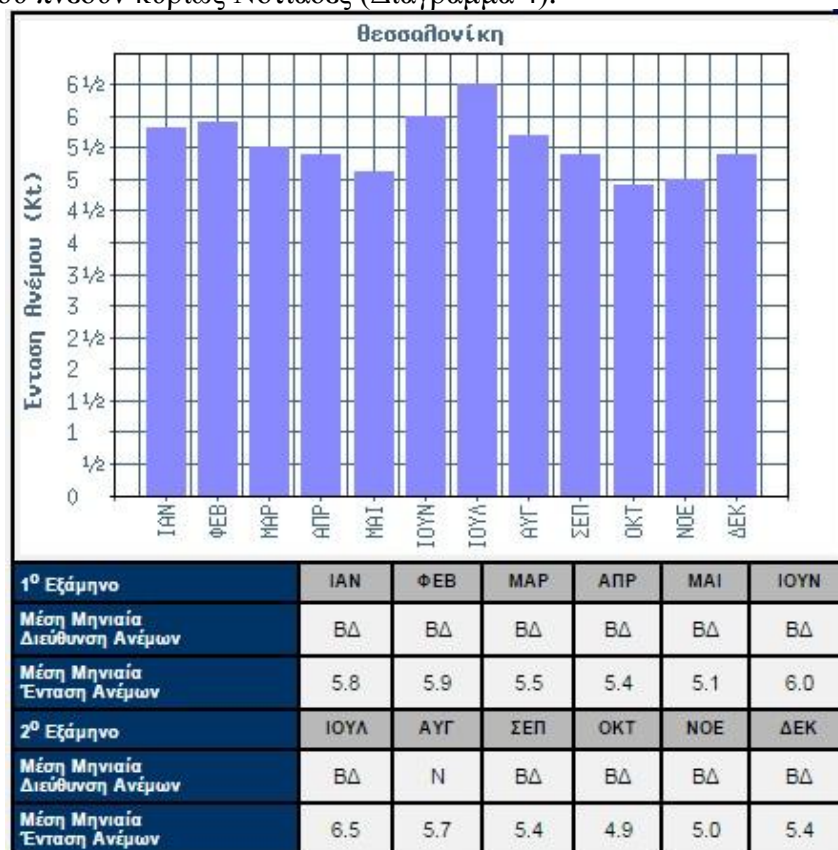
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ-ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα κλιματολογικά ή μετεωρολογικά στοιχεία διαμορφώνουν το υδρολογικό ισοζύγιο μιας περιοχής. Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα είναι οι μορφές με τις οποίες το νερό φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους (βροχή, χαλάζι, χιόνι, πάγο, ομίχλη και δρόσο). Η βροχόπτωση αποτελεί τη σπουδαιότερη πηγή τροφοδοσίας για όλες τις παραμέτρους του υδρολογικού κύκλου (Καλλέργης Γ., 1999).

Πρόσφατα στοιχεία από τοπικές μετεωρολογικές παρατηρήσεις για την περιοχή μελέτης δεν υπάρχουν, για το λόγο αυτό αξίζει να σημειωθούν τα μετεωρολογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης, όπως αυτά καταγράφηκαν από την Ε.Μ.Υ. για την περίοδο 1959-1997 (www.hnms.gr, τελευταία επίσκεψη 5/03/2015).

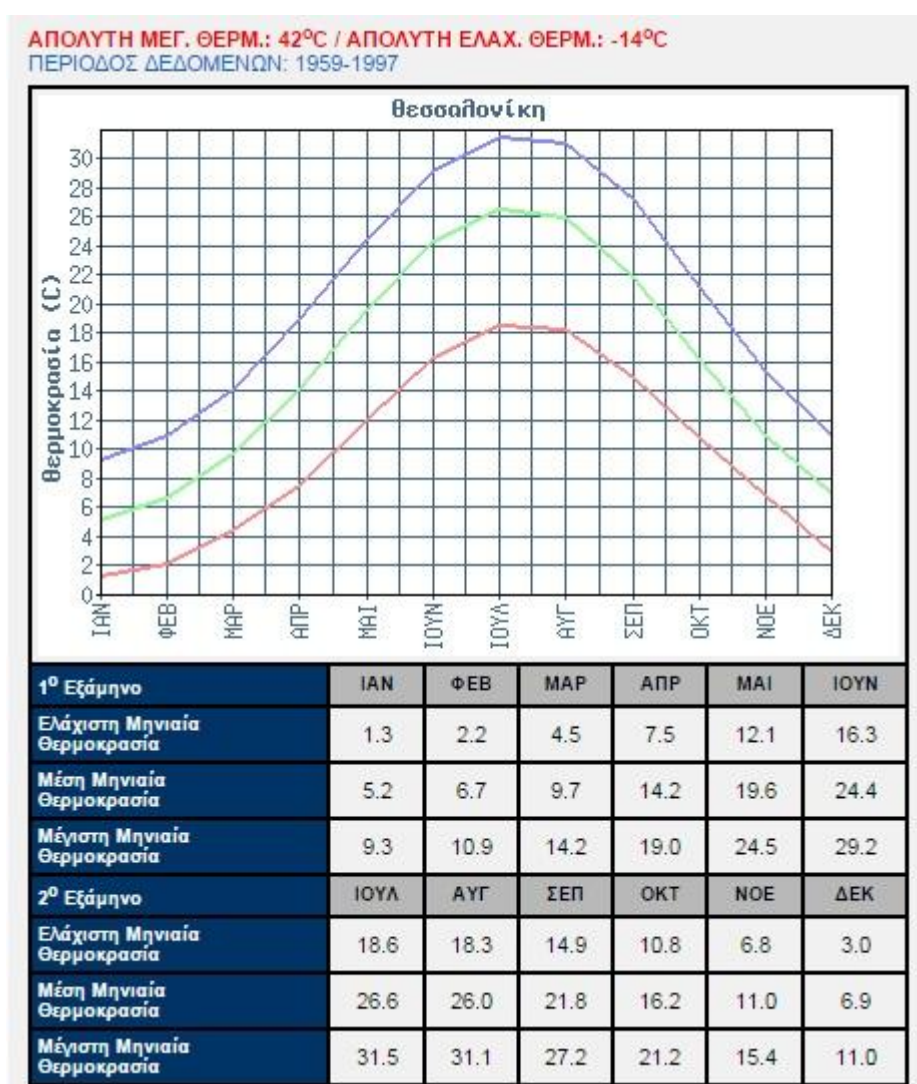
Στην περιοχή επικρατούν κυρίως Βορειοδυτικοί άνεμοι με εξαίρεση τον μήνα Αύγουστο που πνέουν κυρίως Νοτιάδες (Διάγραμμα 4).



Διάγραμμα 4: Ένταση ανέμου Θεσσαλονίκης (πηγή: Ε.Μ.Υ.)

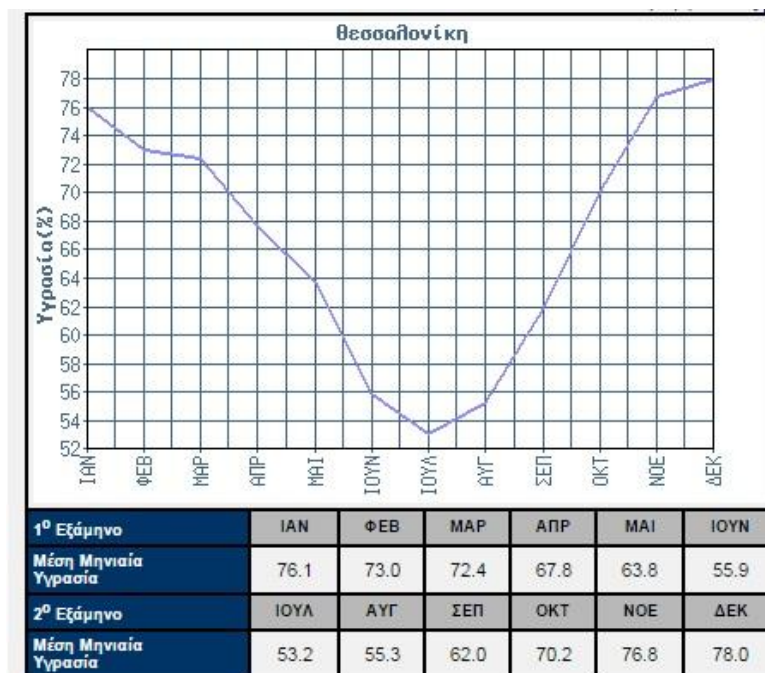
Στο Διάγραμμα 5 για τα έτη 1959-1997 έχουν υπολογιστεί και παρουσιάζονται οι ελάχιστες, οι μέγιστες και οι μέσες τιμές θερμοκρασίας για κάθε μήνα:

Η καμπύλη ελάχιστης μηνιαίας θερμοκρασίας για αυτά τα έτη έχει τιμές από 1,3°C τον Ιανουάριο ως 18,6°C τον Ιούλιο, η μέγιστη μηνιαία με 9,3°C τον Ιανουάριο ως 31,5°C τον Ιούλιο, και η μέση μηνιαία κυμαίνεται από 5,2°C τον Ιανουάριο έως 26,6°C τον Ιούλιο. Επομένως προκύπτει το συμπέρασμα πως στην περιοχή οι ελάχιστες θερμοκρασίες σημειώνονται τον Ιανουάριο και οι μέγιστες τον Ιούλιο.



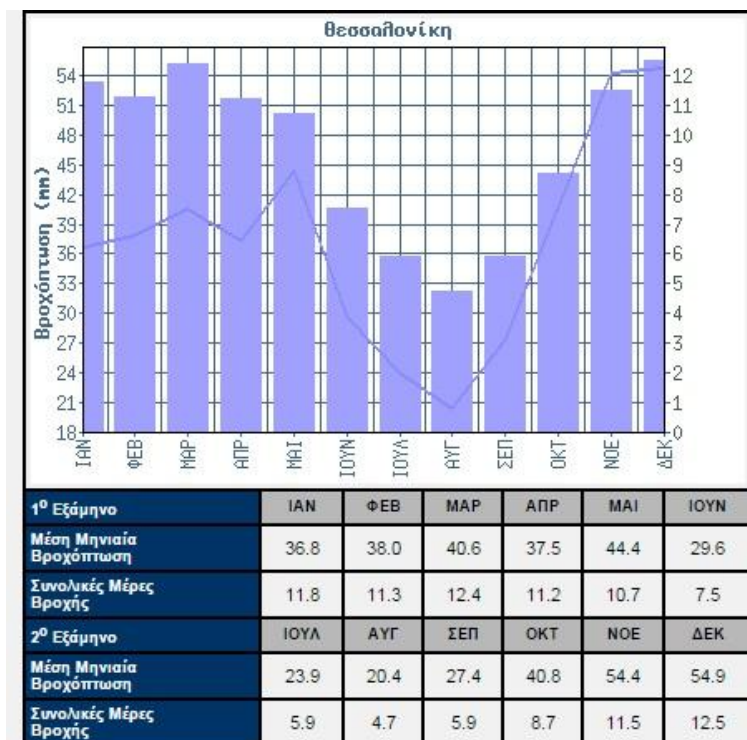
Διάγραμμα 5: Θερμοκρασία Θεσσαλονίκης (πηγή: Ε.Μ.Υ.)

Η σχετική υγρασία στην περιοχή παρουσιάζει μέγιστη μέση μηνιαία τιμή κατά τους χειμερινούς μήνες, Ιανουάριο και Δεκέμβριο, ενώ η μικρότερη μέση μηνιαία τιμή σημειώνεται τον μήνα Ιούλιο (Διάγραμμα 6).



Διάγραμμα 6: Υγρασία Θεσσαλονίκης (πηγή: Ε.Μ.Υ.)

Τέλος, κατά τους θερινούς μήνες σημειώνονται τα χαμηλότερα επίπεδα βροχοπτώσεων, ενώ τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο σημειώνονται οι λιγότερες ημέρες βροχής (Διάγραμμα 7).



Διάγραμμα 7: Βροχόπτωση Θεσσαλονίκης (πηγή: Ε.Μ.Υ.)

5.2 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Όπως προαναφέρθηκε δεν υπάρχουν πρόσφατα κλιματολογικά στοιχεία για την περιοχή μελέτης. Παρόλα αυτά λειτούργησε ένας μετεωρολογικός σταθμός του υπουργείου Αγροτικής ανάπτυξης και τροφίμων στην Αρέθουσα από το 1963 έως το 1968, επομένως τα στοιχεία που αφορούν αποκλειστικά την περιοχή είναι ελάχιστα και όχι σύγχρονα (Πίνακας 3).

Ακόμη, παλαιότερες έρευνες στην περιοχή μας δίνουν δεδομένα για τα έτη 1980-1982 (Πίνακας 4).

ΜΗΝΕΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Μ.Ο
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	2,6	4,2	6,9	11,7	16,1	19,6	22,8	23,1	18,9	14,4	10,2	4,8	12,94167

Πίνακας 3: Μέσες τιμές Θερμοκρασίας στο σταθμό Αρέθουσας (1963-1968) (Soulis G., Dimopoulos G., 1984)

ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΣΤΑΘΜΩΝ →						
ΜΗΝΕΣ ↓	410m	345m	520m	525m	480m	Μ.Ο. ΜΗΝΩΝ
ΙΑΝ	66,5	51,3	95,5	72	77,6	<u>72,58</u>
ΦΕΒ	48,5	33,5	50,5	45,5	52,5	<u>46,1</u>
ΜΑΡ	47,7	43,5	62	52,5	54	<u>51,94</u>
ΑΠΡ	40,3	39,8	65,8	50,6	50,6	<u>49,42</u>
ΜΑΪ	32,9	32,2	39,2	36	35,1	<u>35,08</u>
ΙΟΥΝ	68,5	61	75	48,8	65	<u>63,66</u>
ΙΟΥΛ	22,5	19	21,5	27	30,7	<u>24,14</u>
ΑΥΓ	17,1	15,5	17	17,2	23,9	<u>18,14</u>
ΣΕΠ	27,6	13	16,7	36,6	26,7	<u>24,12</u>
ΟΚΤ	70,2	47,1	53,2	57,1	65,8	<u>58,68</u>
ΝΟΕ	74,3	72,1	104,5	86,8	79,4	<u>83,42</u>
ΔΕΚ	80	70	76	72,4	75,9	<u>74,86</u>
ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΣΤΑΘΜΩΝ	596,1	498	676,9	602,5	637,2	602,14

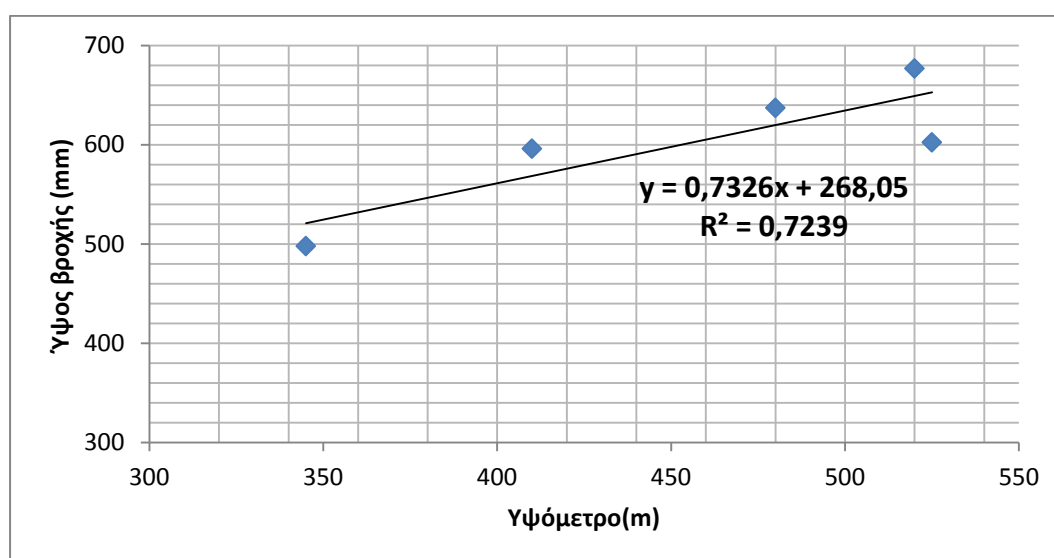
Πίνακας 4: Ύψος βροχής σε mm σε 5 βροχογράφους σε διαφορετικά υψόμετρα μεταξύ τους (Soulis G., Dimopoulos G., 1984)

5.3 ΣΧΕΣΗ ΑΠΟΛΥΤΟΥ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ-ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ

Η κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων καθορίζεται από διάφορους παράγοντες. Ο πιο σημαντικός είναι το υψόμετρο. Έπειτα λαμβάνουμε υπόψη το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, την τοπογραφία της περιοχής και τον προσανατολισμό του σταθμού (Σούλιος Γ., 2010).

Η βροχομετρική βαθμίδα, δηλαδή η ανά μονάδα υψομέτρου αύξηση του ύψους βροχής σε mm, είναι 73mm ύψους βροχής ανά 100m υψομέτρου (Διάγραμμα 8).

Ο βαθμός προσδιορισμού της ευθείας που αντιπροσωπεύει τη βροχοβαθμίδα είναι $R^2=0,7239$ και θεωρείται αξιόπιστος.



Διάγραμμα 8: Εξίσωση βροχοβαθμίδας περιοχής

5.4 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Ο όγκος του νερού που παίρνει μέρος στις διαδικασίες του υδρολογικού ισοζυγίου διαφέρει όχι μόνο στα διάφορα γεωγραφικά μήκη και πλάτη αλλά και από περιοχή σε περιοχή. Η γενική μορφή του **υδρολογικού ισοζυγίου** εκφράζει την ισότητα εισροών και εκροών σε μια λεκάνη απορροής (Καλλέργης Γ., 1999):

$$P=R+E+I \rightarrow P=Q+E$$

Όπου:

P: το ποσό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, που δέχεται ετησίως η περιοχή σε mm ή m³ ή %

R: το ετήσιο ποσό του νερού, που απορρέει επιφανειακά από την περιοχή σε mm ή m³ ή %

E: το ετήσιο ποσό του νερού που εξατμίζεται και εκείνο που χρησιμοποιείται από τα φυτά για τη διεργασία της διαπνοής σε mm ή m³ ή %

I: το ποσό του νερού που κατεισδύει ετησίως στα υδροφόρα στρώματα και τροφοδοτεί τους υπόγειους ταμιευτήρες σε mm ή m³ ή %

Q: R + I

5.5 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΚΑΤΑ THORNTHTHWAITE

Ως εξατμισοδιαπνοή ορίζεται το ποσό των κατακρημνισμάτων που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα είτε από εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους είτε από τη διαπνοή των φυτών. Εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως: θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα του ανέμου, ηλιακή ακτινοβολία, η ιδιομορφία του εδάφους (βλάστηση, λιθολογία, πορώδες) κ.α. Πολλές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής (δυναμικής και πραγματικής) και πολυάριθμοι εμπειρικοί τύποι έχουν προταθεί χωρίς κανένας από αυτούς να έχει καθολική αποδοχή (Σούλιος Γ., 2010).

Ως πραγματική εξατμισοδιαπνοή ορίζεται η ποσότητα του νερού που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα, ενώ ως δυναμική εξατμισοδιαπνοή ορίζεται η ποσότητα του νερού που θα εξατμιζόταν ή θα χρησιμοποιούνταν από τα φυτά για τη διεργασία της διαπνοής, αν τα αποθέματα σε νερό ήταν αρκετά για να αντισταθμίσουν τις απώλειες (Σούλιος Γ., 2010).

Σύμφωνα με το ισοζύγιο Thornthwaite αν η βροχόπτωση (P) υπερβαίνει τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή (E_Δ) τότε η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (E_ρ) είναι ίση με τη δυναμική (E_ρ=E_Δ). Η διαφορά βροχόπτωσης και δυναμικής εξατμισοδιαπνοής (P-E_Δ) αποθηκεύεται στο έδαφος μέχρι αυτό να κορεσθεί από υγρασία. Η ικανότητα κατακράτησης νερού στο έδαφος εξαρτάται από τη φύση του και τη βλάστηση (Νίκας

K., 2004). Αν το άθροισμα P+H (H:Υγρασία) είναι μεγαλύτερο από την E_{Δ} τότε $E_r = E_{\Delta}$. Αν όμως P+H είναι μικρότερο, τότε $E_r = P+H$.

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή όπως προαναφέρθηκε εξαρτάται και από την μέγιστη ικανότητα κατακράτησης υγρασίας από το έδαφος (ΔEY). Για την περιοχή μελέτης δεχόμαστε την τιμή της ΔEY ίση με 100 mm. Κάποιοι αλλουβιακοί σχηματισμοί έχουν $\Delta EY=200\text{mm}$, ωστόσο αποδεχόμαστε τα 100mm (Soulis G., Dimopoulos G., 1984)

Ο Thornthwaite υπολόγισε την δυνητική εξατμισοδιαπνοή από τον τύπο:

$$E_{\Delta} = 16 \left(10 \frac{T}{I} \right)^{\alpha}$$

Όπου:

E_{Δ} : η μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή

T: η μέση μηνιαία θερμοκρασία

α : $\alpha = 0,49239 + 1792 \cdot 10^{-5} \cdot I - 771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3$

I: ετήσιος θερμικός δείκτης $I = \sum_{i=1}^{12} i$, όπου $i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$ μηνιαίος θερμικός δείκτης

Έτσι προκύπτει ο παρακάτω Πίνακας 5

	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	
P (mm)	72,58	46,1	51,94	49,42	35,08	63,66	24,14	18,14	24,12	58,68	83,42	74,86	602,146
T (C)	2,6	4,2	6,9	11,7	16,1	19,6	22,8	23,1	18,9	14,4	10,2	4,8	
E_{Δ} (mm)	5,461	10,595	21,04	43,651	67,857	89,056	109,757	111,758	84,691	58,159	36,111	12,742	
ΔEY (mm)	100	100	100	100	67,229	41,833	0	0	0	0,521	47,83	100	
E_r (mm)	5,461	10,595	21,04	43,651	67,857	89,056	65,973	18,14	24,12	58,159	36,111	12,742	452,905
Q (mm)	67,119	35,505	30,9	5,769	0	0	0	0	0	0	0	9,948	149,241

Πίνακας 5: Βροχόπτωση, Θερμοκρασία, Δυνητική εξατμισοδιαπνοή ανά μήνα

Για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής στην παρούσα εργασία το ισοζύγιο επιλέχτηκε να ξεκινά από το μήνα Ιανουάριο καθώς τότε θεωρείται ότι τα εδάφη είναι πλήρως κορεσμένα. Γι' αυτό $\Delta EY_{\text{ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ}}=100\text{mm}$.

Σύμφωνα με τον παραπάνω Πίνακα 5 η ολική απορροή ισούται με $Q=149,241\text{mm}$ (στην τιμή της παροχής συνυπολογίζονται η επιφανειακή απορροή αλλά και η κατείδυση) και η πραγματική εξατμισοδιαπνοή με $E_r=452,905\text{mm}$

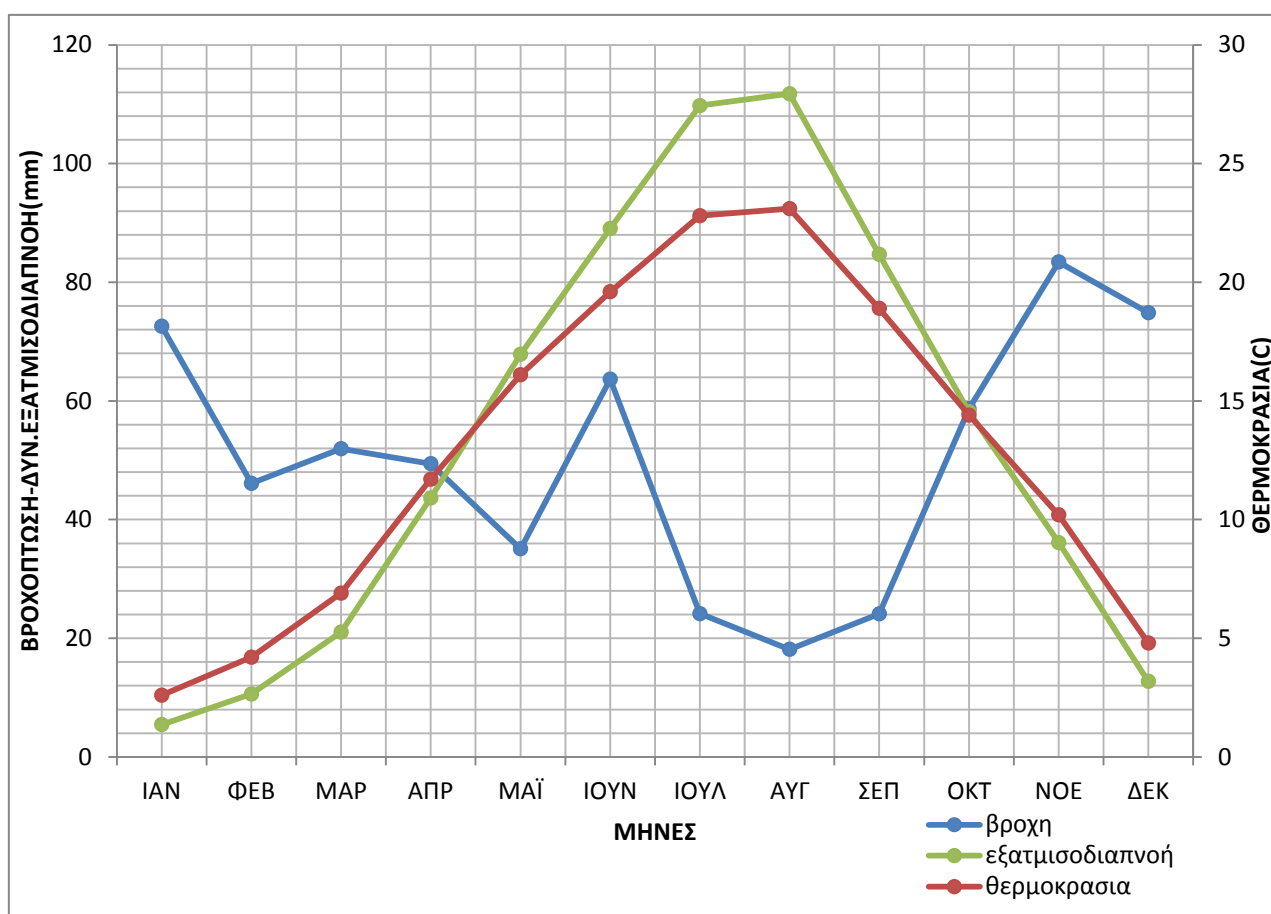
Έτσι προκύπτει η εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου:

$$P = E + Q \rightarrow$$

$$602,146\text{mm} = 452,905\text{mm} + 149,241 \rightarrow$$

$$124,228\text{m}^3 = 93,438\text{m}^3 + 30,79\text{m}^3 \rightarrow$$

$$100\% = 75,22\% + 24,78\%$$



Διάγραμμα 9: Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης, θερμοκρασίας, δυνητικής εξατμισοδιαπνοής

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 9 το πλεόνασμα νερού εμφανίζεται κατά τους μήνες Ιανουάριο-Απρίλιο και Νοέμβριο-Δεκέμβριο. Τον υπόλοιπο μήνες παρατηρείται έλλειμμα νερού καθώς οι βροχοπτώσεις είναι σε γενικές γραμμές μειωμένες. Στο γεγονός αυτό επιδρούν η θερμοκρασία και η εξατμισοδιαπνοή, που εμφανίζουν τις μέγιστες τιμές τους κατά τους θερινούς μήνες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ικανότητα ενός γεωλογικού σχηματισμού να μεταβιβάζει και να αποθηκεύει υπόγειο νερό καλείται υδρογεωλογική συμπεριφορά. Κάθε γεωλογικός σχηματισμός καθορίζεται από τα υδραυλικά του χαρακτηριστικά, υδροπερατότητα, μεταβιβαστικότητα, υδροχωρητικότητα, αλλά και από τον μηχανισμό με τον οποίο πραγματοποιούνται οι παραπάνω διεργασίες (Καλλέργης Γ., 1999).

Η υδρογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών εξαρτάται από το **πορώδες** δηλαδή από το λόγο του όγκου των κενών ενός πετρώματος προς τον συνολικό του όγκο. **Υδροπερατότητα** ονομάζεται η ιδιότητα ενός γεωλογικού σχηματισμού να επιτρέπει την διέλευση του νερού μέσα από αυτό χωρίς να μεταβάλλεται κάποια ιστολογική του ιδιότητα (Σούλιος Γ., 2010).

Το υπόγειο νερό το συναντάμε σε γεωλογικούς σχηματισμούς διαφόρων τύπων, που ονομάζονται **υδροφορείς**. Με τον όρο όμως **υδροφόρο ορίζοντα** εννοούμε την επιφάνεια στην οποία η πίεση του νερού είναι ίση με την ατμοσφαιρική (Σούλιος Γ., 2010). Οι υδροφορείς αποτελούνται από αρκετά κορεσμένο με νερό υλικό έτσι ώστε να τροφοδοτήσουν με σημαντικές ποσότητες νερού γεωτρήσεις, πηγάδια και πηγές. Αυτό συνεπάγεται ότι ο υδροφόρος έχει μια αυξημένη ικανότητα να αποθηκεύει και να μεταβιβάζει νερό (Καλλέργης Γ., 1999).

6.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Οι σχηματισμοί χωρίζονται κυρίως σε δυο κατηγορίες: τους υδροπερατούς και τους αδιαπέρατους/υδατοστεγείς (Πίνακας 6).

Ωστόσο κάποιοι μπορούν να χαρακτηριστούν ως ημιπερατοί. Ακόμη να τονισθεί πως πέτρωμα πραγματικά αδιαπέρατο με την αυστηρή έννοια του όρου, δηλαδή πέτρωμα με μηδενικό συντελεστή περατότητας ($K=0$) δεν υπάρχει, όπως αποδείχτηκε και πειραματικά (ακόμη και ο χάλυβας καλής ποιότητας κάτω από υπερπίεσεις είναι διαπερατός από αέρια) (http://www.geoarch.gr/joomla/geo_3.pdf, τελευταία επίσκεψη 10/03/2015).

ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΙ	ΛΟΓΩ ΠΟΡΩΝ (μικροπερατοί)(πρωτογενές πορώδες)	Άμμοι, χαλίκια, αμμοχάλικα, πορώδη πετρώματα
	ΛΟΓΩ ΔΙΑΡΡΗΞΕΩΝ (μακροπερατοί)(δευτερογενές πορώδες)	Ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες και διαρρηγμένα πετρώματα
ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΙ/ ΥΔΑΤΟΣΤΕΓΕΙΣ		Γλιόθοι, μάργες, άργιλοι, σχιστόλιθοι

Πίνακας 6: ταξινόμηση σχηματισμών (πηγή: http://www.geoarch.gr/joomla/geo_3.pdf, τελευταία επίσκεψη 10/03/2015)

6.2 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η υδρολιθολογική ταξινόμηση των σχηματισμών της περιοχής έχει ως σκοπό τη διάκριση τους σε υδροπερατούς, ημιπερατούς και υδροστεγανούς. Όσον αφορά τις αποθέσεις τεταρτογενούς-νεογενούς δηλαδή:

- Λιμναία ιζήματα Βρωμολίμνης
- Προσχώσεις κοιλάδων
- Αποθέσεις αναβαθμίδων
- Ανώτερη βαθμίδα του κατώτερου συστήματος αναβαθμίδων
- Μεσαίο σύστημα αναβαθμίδων
- Αδιαίρετες πλειστοκαινικές αποθέσεις
- Ριπίδια προσχώσεων
- Σειρά ερυθρών αργίλων

αποτελούνται κυρίως από άμμους, χάλικες, αργίλους, ιλύ και πηλό σε διάφορες αναλογίες και μίξεις. Οι άμμοι και οι χάλικες χαρακτηρίζονται πορώδεις, περατοί σχηματισμοί σε αντίθεση με τους υπόλοιπους σχηματισμούς οι οποίοι έχουν μικρό πορώδες και μικρή περατότητα οπότε καθίστανται αδιαπέρατοι. Σε περίπτωση όπου έχουμε παρεμβολή άμμων και χαλίκων εντός των προαναφερθέντων αδιαπέρατων σχηματισμών προκαλείται αύξηση του πορώδους και της περατότητάς τους.

Τα πετρώματα της ομάδας της «Σβούλας» είναι κυρίως ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι με διάφορες ενστρώσεις. Θα μπορούσαν να θεωρηθούν αδιαπέρατοι σχηματισμοί ωστόσο λόγω της τεκτονικής τους καταπόνησης καθώς εμφανίζονται πτυχωμένοι, μπορούν να θεωρηθούν ημιπερατοί.

Τα κρυσταλλικά πετρώματα της περιοχής είναι κυρίως

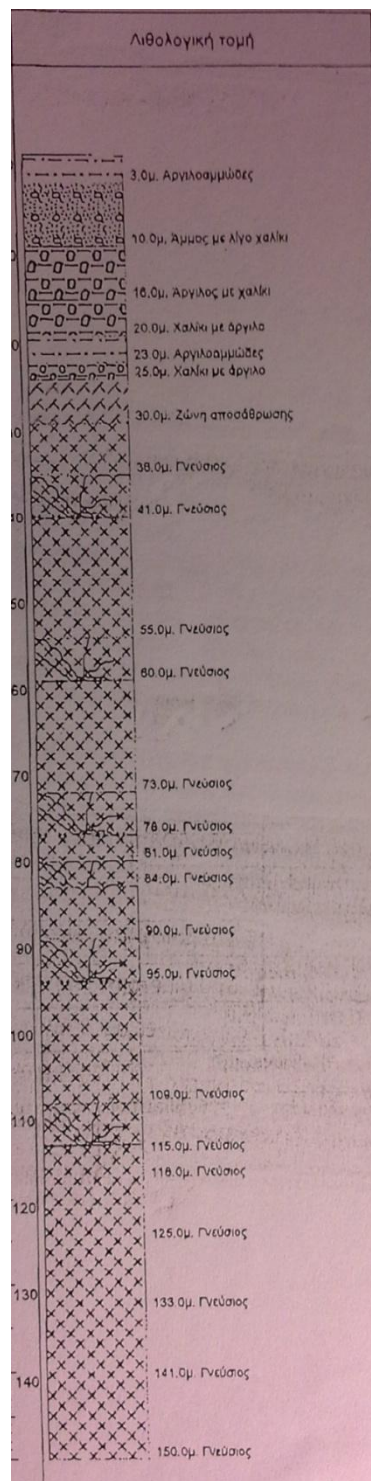
- Σχιστόλιθοι
- Γνέυσιοι
- Μάρμαρα

τα οποία θεωρούνται πρακτικά αδιαπέρατα. Κατά θέσεις όπου έχουμε ανάπτυξη ρωγμών ή διακλάσεων τότε εμφανίζουν περατότητα. Η περατότητα που εμφανίζουν μπορεί να είναι μικρή και μόνο κοντά στην επιφάνεια αν οι ρωγμές κλείνουν γρήγορα με το βάθος ή μεγάλη εφόσον οι ρωγμές διευρύνονται από την κυκλοφορία του νερού και το πέτρωμα διαλύεται. Τέτοιοι σχηματισμοί σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές (Σούλιος Γ., 2010) παρουσιάζουν συνήθη συντελεστή διαπερατότητας $k=10^{-5} - 10^{-9}$ m/s.

Τα εκρηξιγενή πετρώματα με τη σειρά τους είναι πετρώματα με μεγάλη σκληρότητα τα οποία ανήκουν στους αδιαπέρατους σχηματισμούς. Εξαιτίας όμως της αποσάθρωσης και των αλλοιώσεων παρουσιάζουν ρωγμές και διακλάσεις δηλαδή δευτερογενές πορώδες.

Σημαντικό ρόλο στις ρωγμές κατέχει και το υλικό πλήρωσης αυτών. Σε περίπτωση απουσίας του υλικού πλήρωσης το δευτερογενές πορώδες μεγαλώνει. Σε πολλές περιπτώσεις όμως τα κενά των ρωγμών πληρώνονται με λεπτόκοκκα αργιλικά υλικά τα οποία εκτοπίζουν το υπόγειο νερό που θα μπορούσε να αποθηκευτεί, εμποδίζουν την κίνησή του με αποτέλεσμα να μπορούν να θεωρηθούν πρακτικά αδιαπέρατοι.

Όπως φαίνεται και από τη λιθολογική τομή (Εικόνα 7) της γεώτρησης «ΠΟΥΡ» (Εικόνα 8) στην περιοχή μελέτης το υπόβαθρό είναι γενευσιακό με ζώνη αποσάθρωσης στο ανώτερο τμήμα. Ακόμη σε αρκετά σημεία στο βάθος ο γενεύσιος είναι διαρρηγμένος. Στα ανώτερα στρώματα εμφανίζονται τα νεογενή/τεταρτογενή ιζήματα.

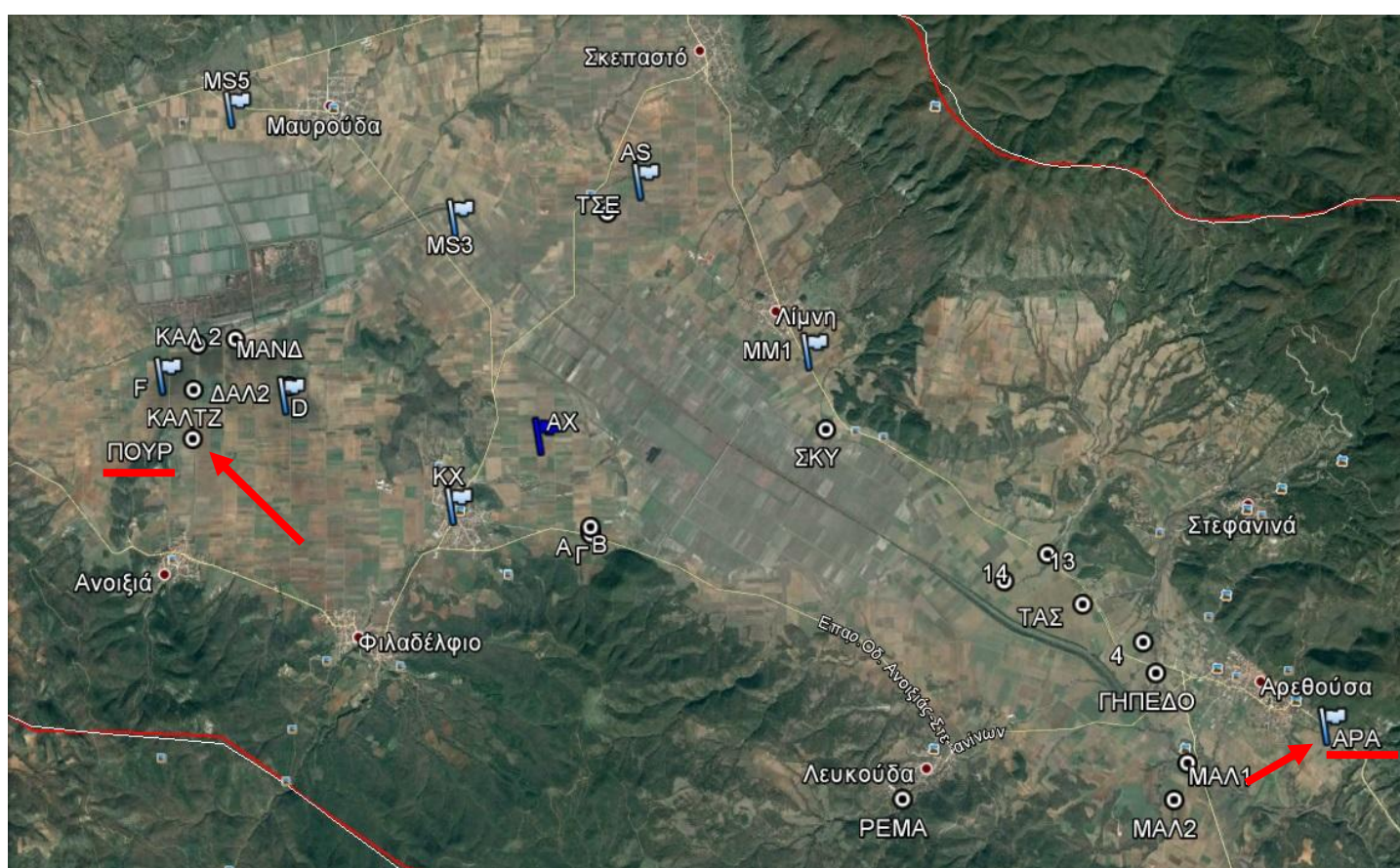


Εικόνα 7: λιθολογική τομή γεώτρησης ΠΟΥΡ (πηγή: Βογιαρίδης Αναστάσιος, Γεωλόγος-Μελετητής)

6.3 ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΑ-ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ

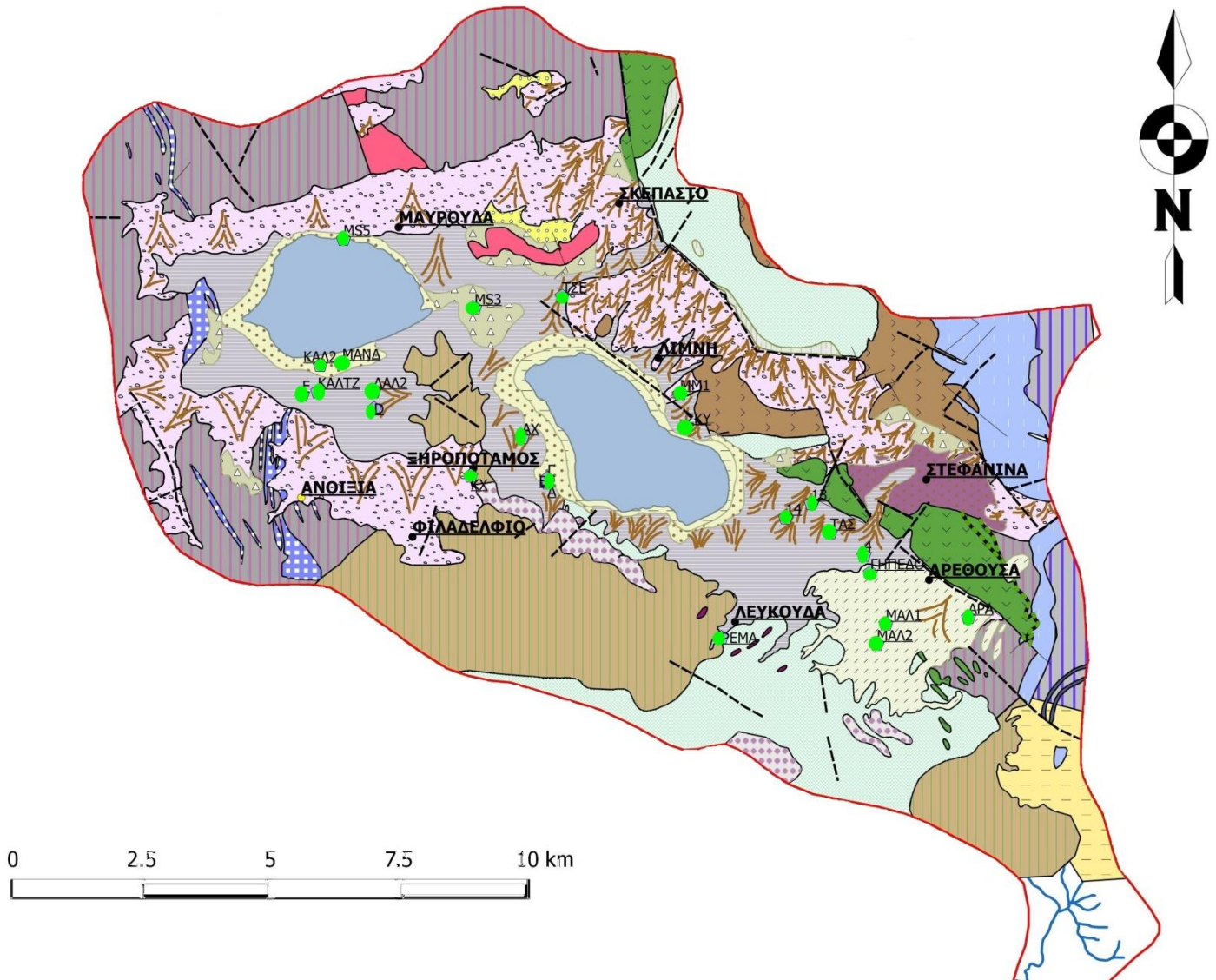
Κατά την εκπόνηση της μελέτης μετρήθηκαν οι στάθμες σε 26 γεωτρήσεις κατά την υγρή (Απρίλιος) και ξηρή (Σεπτέμβριος) περίοδο. Οι μετρήσεις έγιναν με το ίδιο σταθμήμετρο και από το ίδιο σημείο. Σημαντικό το ότι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων δε λειτουργούσαν γεωτρήσεις σε κοντινή απόσταση και δε δημιουργούνταν κώνοι πτώσης στάθμης ώστε να επηρεάζονται τα αποτελέσματα. Ακόμη, ο χρόνος των μετρήσεων δεν ξεπερνούσε τη μία ημέρα.

Στην παρακάτω Εικόνα 8 φαίνονται οι θέσεις των γεωτρήσεων στις οποίες έγινε μέτρηση στάθμης και με σημαϊάκι η θέση αυτών στις οποίες πραγματοποιήθηκε εκτος από τη μέτρηση της στάθμης και δειγματοληψια υπόγειου νερού.



Εικόνα 8: Θέσεις σημείων υδροληψίας και μετρήσεων στάθμης (πηγή: Google Earth)

Στον παρακάτω γεωλογικό χάρτη παρουσιάζονται οι θέσεις των γεωτρήσεων σε σχέση με τους σχηματισμούς που διατρυπά η κάθε μια από αυτές.

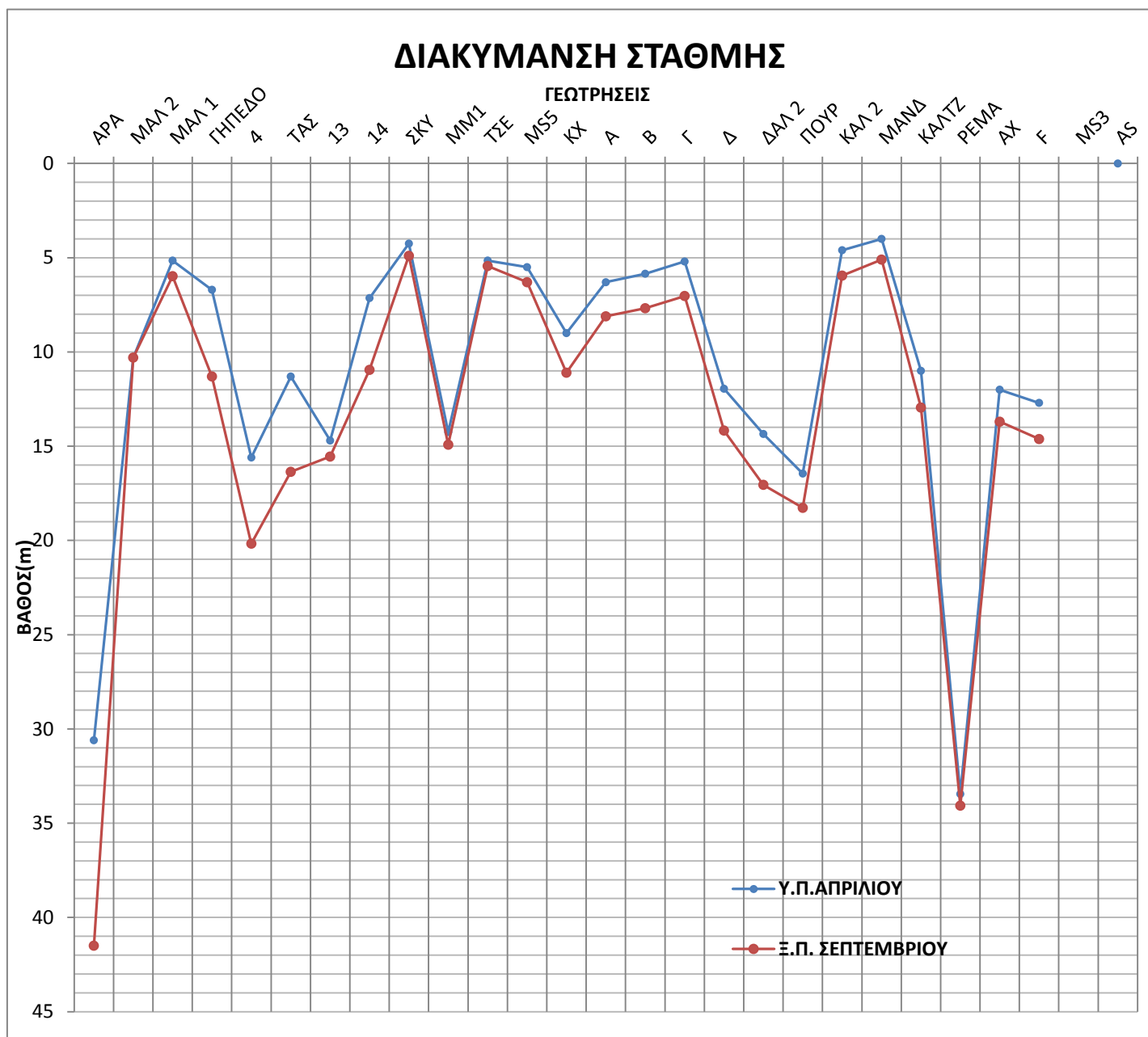


Χάρτης 3: Θέσεις γεωτρήσεων σε σχέση με τη γεωλογία της περιοχής

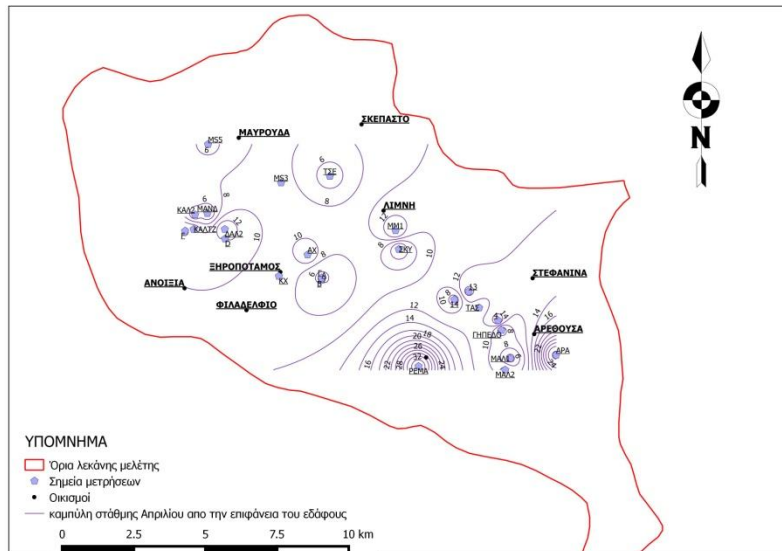
Στον Πίνακα 7 και στο Διάγραμμα 10 παρουσιάζονται για τις δύο περιόδους οι μετρήσεις του βάθους της επιφάνειας του υπόγειου νερού σε μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους. Στους Χάρτες 4 και 5 απεικονίζονται οι καμπύλες στάθμης από την επιφάνεια του εδάφους για τις δύο περιόδους των μετρήσεων ανά 2m.

<u>ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ</u>	<u>ΣΤΑΘΜΗ ΑΠΡΙΛΙΟΥ</u> από την επιφάνεια του εδάφους	<u>ΣΤΑΘΜΗ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ</u> από την επιφάνεια του εδάφους
ΑΡΑ	30,6	41,5
ΜΑΛ 2	10,3	10,3
ΜΑΛ 1	5,15	5,98
ΓΗΠΕΔΟ	6,7	11,3
4	15,6	20,17
ΤΑΣ	11,3	16,36
13	14,7	15,55
14	7,14	10,95
ΣΚΥ	4,25	4,9
ΜΜ1	14,25	14,92
ΤΣΕ	5,15	5,44
ΜS5	5,5	6,3
ΚΧ	9	11,1
Α	6,3	8,11
Β	5,85	7,68
Γ	5,2	7,03
Δ	11,95	14,17
ΔΑΛ 2	14,35	17,05
ΠΟΥΡ	16,45	18,27
ΚΑΛ 2	4,6	5,95
ΜΑΝΔ	4	5,1
ΚΑΛΤΖ	11	12,95
ΡΕΜΑ	33,45	34,07
ΑΧ	12	13,7
Γ	12,7	14,62
ΜS3		
ΑS	0	

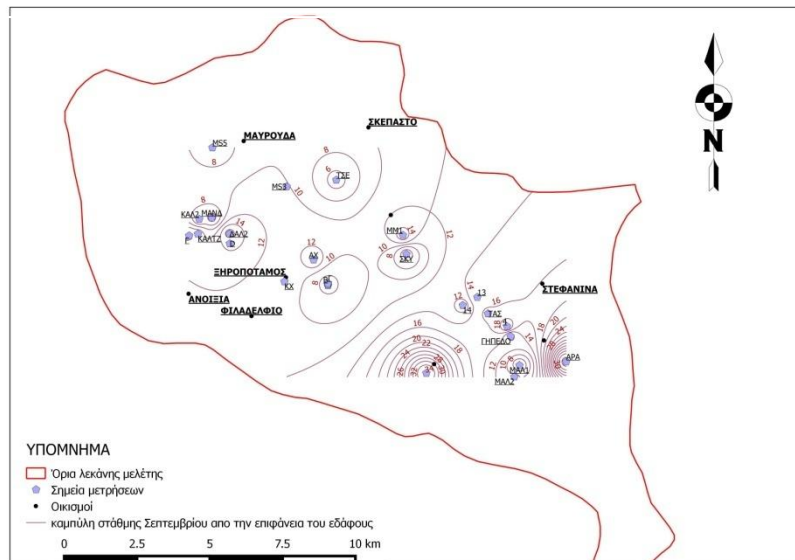
Πίνακας 7: Μετρήσεις στάθμεων σε m από την επιφάνεια του εδάφους για τις δύο περιόδους του έτους 2013



Διάγραμμα 10: Διακύμανση της στάθμης σε m από την επιφάνεια του εδάφους για το 2013



Χάρτης 4: Καμπύλες στάθμης Απριλίου 2013 από την επιφάνεια του εδάφους



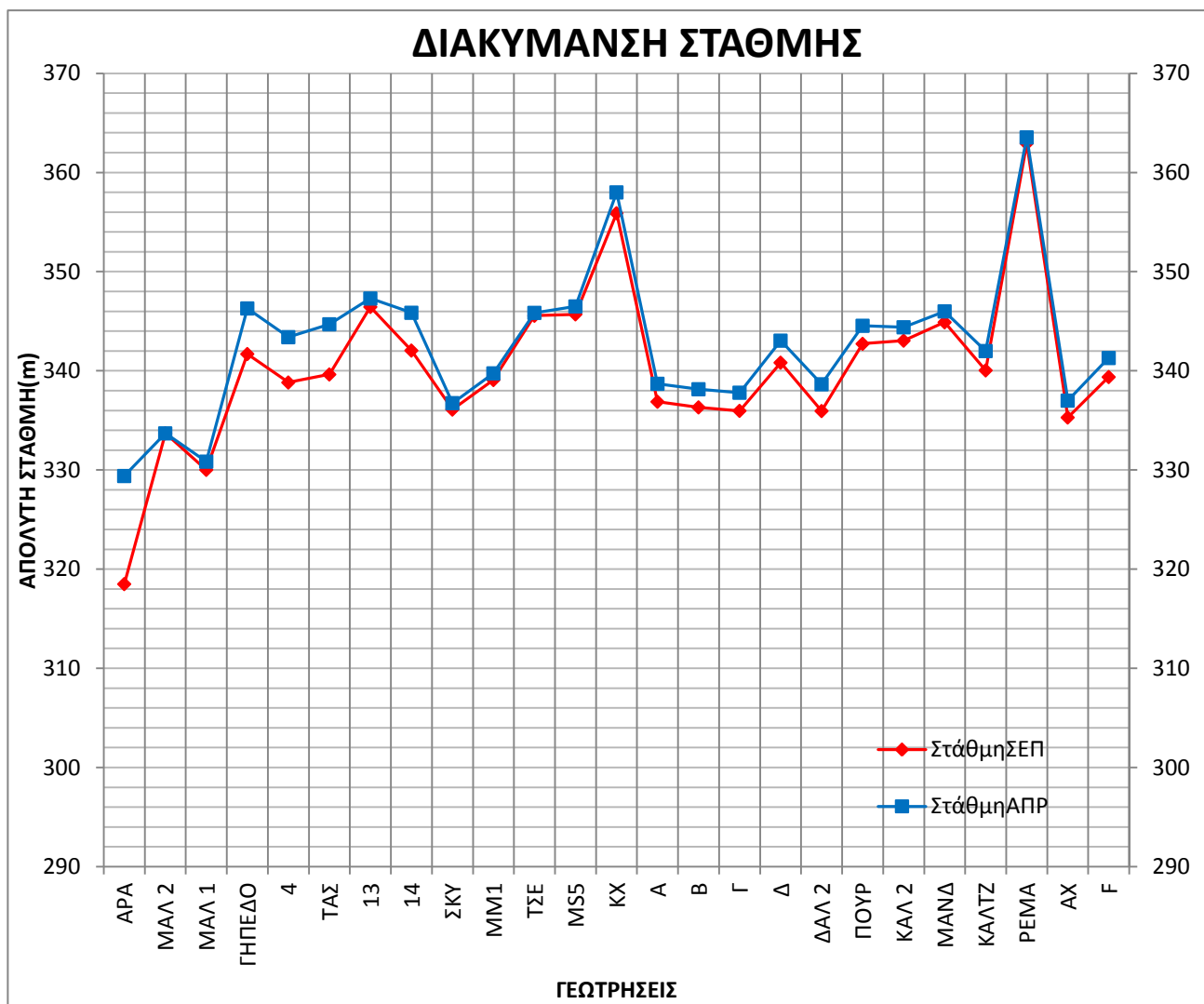
Χάρτης 5: Καμπύλες στάθμης Σεπτεμβρίου 2013 από την επιφάνεια του εδάφους

Όπως είναι αναμενόμενο κατά την ξηρή περίοδο παρατηρείται πτώση στάθμης. Το γεγονός αυτό είναι απόλυτα φυσιολογικό καθώς κατά τη θερινή περίοδο οι βροχοπτώσεις είναι μειωμένες και οι αντλήσεις αυξημένες ώστε να καλυφτούν οι υδρευτικές και αρδευτικές ανάγκες της περιοχής.

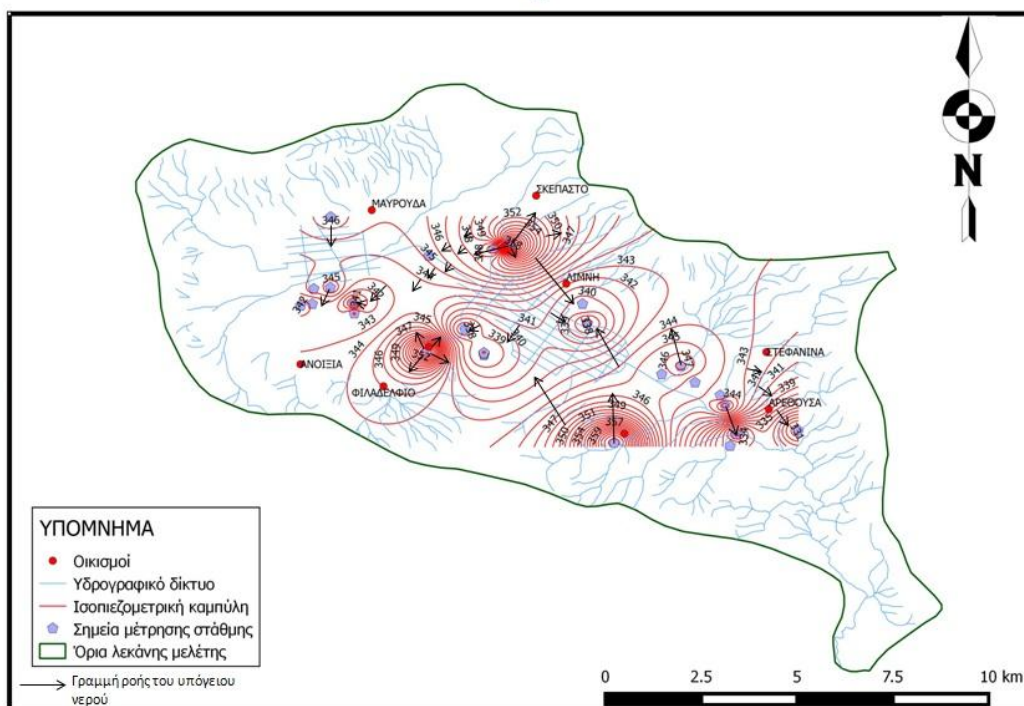
Στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται σε απόλυτο υψόμετρο οι μετρήσεις στάθμης των δύο περιόδων σε μέτρα και στο Διάγραμμα 11 η διακύμανση της απόλυτης στάθμης. Στους Χάρτες 6 και 7 απεικονίζονται οι καμπύλες στάθμης απόλυτου υψομέτρου για τις δύο περιόδους των μετρήσεων ανά 2m καθώς και οι γραμμές ροής που δείχνουν την κίνηση του υπόγειου νερού.

	<u>ΑΠΟΛΥΤΗ ΣΤΑΘΜΗ</u> <u>ΑΠΡΙΛΙΟΥ</u>	<u>ΑΠΟΛΥΤΗ ΣΤΑΘΜΗ</u> <u>ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ</u>
ΑΡΑ	329,4	318,5
ΜΑΛ 2	333,7	333,7
ΜΑΛ 1	330,85	330,02
ΓΗΠΕΔΟ	346,3	341,7
4	343,4	338,83
ΤΑΣ	344,7	339,64
13	347,3	346,45
14	345,86	342,05
ΣΚΥ	336,75	336,1
ΜΜ1	339,75	339,08
ΤΣΕ	345,85	345,56
ΜS5	346,5	345,7
ΚΧ	358	355,9
Α	338,7	336,89
Β	338,15	336,32
Γ	337,8	335,97
Δ	343,05	340,83
ΔΑΛ 2	338,65	335,95
ΠΟΥΡ	344,55	342,73
ΚΑΛ 2	344,4	343,05
ΜΑΝΔ	346	344,9
ΚΑΛΤΖ	342	340,05
ΡΕΜΑ	363,55	362,93
ΑΧ	337	335,3
Ε	341,3	339,38
ΜS3		
ΑΣ	363	

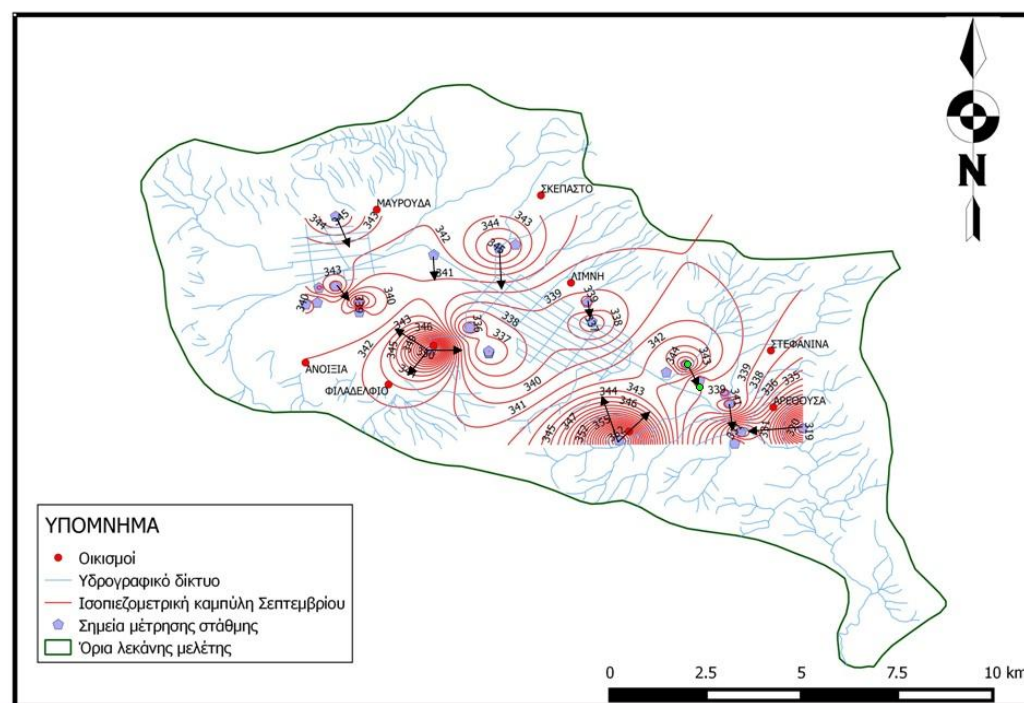
Πίνακας 8: Μετρήσεις στάθμεων σε απόλυτο υψόμετρο(m) για τις δύο περιόδους του έτους 2013



Διάγραμμα 11: Διακύμανση της στάθμης σε μετρήσεις απόλυτου υψομέτρου

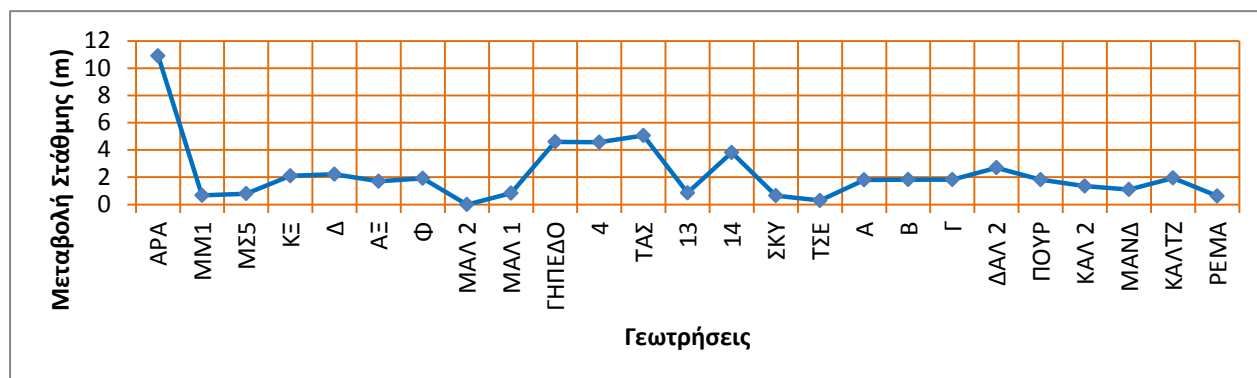


Χάρτης 6: Ισοπιεζομετρικές καμπύλες και γραμμές ροής υγρής περιόδου 2013



Χάρτης 7: Ισοπιεζομετρικές καμπύλες και γραμμές ροής ξηρής περιόδου 2013

Από τα στοιχεία των παραπάνω Πινάκων (7 και 8) προκύπτει το παρακάτω Διάγραμμα 12 που παρουσιάζει τη μεταβολή της στάθμης μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου.



Διάγραμμα 12: Μεταβολή της στάθμης μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου

Η μέση πτώση στάθμης υπολογίστηκε ίση με 2,24 m, με μεγαλύτερη μεταβολή αυτής να παρατηρείται στη γεώτρηση «ΑΡΑ» (Εικόνα 8) λίγο έξω από την Αρέθουσα, δηλαδή στην έξοδο της λεκάνης. Εκτός όμως από αυτή τη γεώτρηση παρατηρείται και σε άλλες σημαντική μεταβολή (Διάγραμμα 12). Μεταβολή της στάθμης συνεπάγεται μεταβολή των αποθεμάτων και στην συγκεκριμένη περίπτωση μείωση αυτών καθώς αναφερόμαστε σε πτώση στάθμης. Προκαλείται από τις μεγάλες απώλειες φορτίου που συμβαίνουν κυρίως κατά την ξηρή περίοδο λόγω των πολυάριθμων αντλήσεων.

Η κίνηση του υπόγειου νερού κατά κύριο λόγο ακολουθεί τη μορφολογία του εδάφους και κινείται προς τα χαμηλότερα υψόμετρα, δηλαδή τις περιοχές των αποξηραμένων πλέον λιμνών Λάντζας και Μαυρούδας.

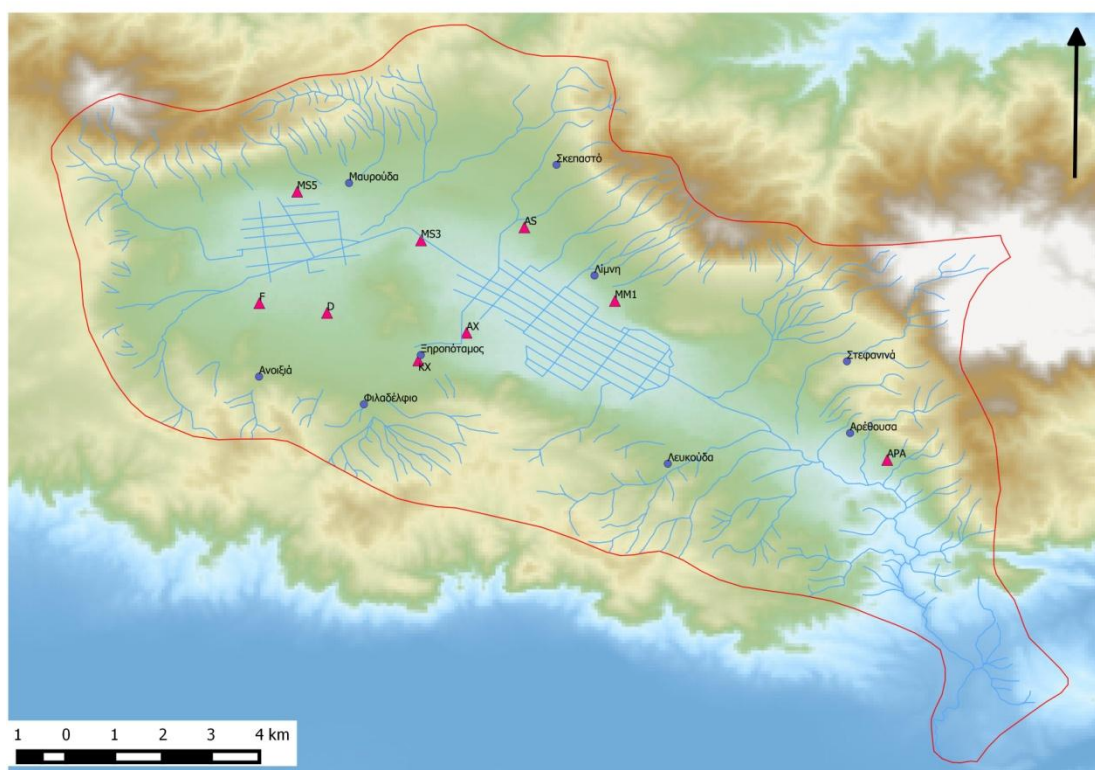
Ωστόσο στην περιοχή του οικισμού του Ξηροπόταμου παρατηρείται ένα υδραυλικό ύψωμα (Χάρτες 6 και 7). Αυτό μπορεί να αποδοθεί σε έλλειψη μετρήσεων στη συγκεκριμένη περιοχή καθώς περισσότερες μετρήσεις, ιδίως από το δυτικό τμήμα που δεν υπάρχουν καθόλου μετρήσεις, πιθανόν να εξομάλυναν αυτή την ανωμαλία και να έδιναν άλλη εικόνα, που να συμβαδίζει με τη γενικότερη εικόνα της περιοχής. Δηλαδή να δείχνει ροή προς τις πρώην λίμνες. Επίσης παρατηρώντας το γεωλογικό χάρτη της περιοχής (Χάρτης 3) η γεώτρηση στην οποία δημιουργείται το ύψωμα (ΚΧ), βρίσκεται στους πρόποδες ενός γενεσιακού όγκου, επομένως μπορεί η γεώτρηση να διαπερνά διαφορετικούς σχηματισμούς και να συνάντα διαφορετικούς υδροφόρους από τις υπόλοιπες γεωτρήσεις.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως στην περιοχή εμφανίζεται αρτεσιανισμός κατά την υγρή περίοδο, όταν δηλαδή τα υδροφόρα στρώματα είναι κορεσμένα. Πιο συγκεκριμένα κατά τη μέτρηση των στάθμεων της υγρής περιόδου λίγο έξω από το Σκεπαστό στη γεώτρηση AS (Εικόνα 8) παρατηρήθηκε το φαινόμενο του αρτεσιανισμού. Όμως με τη λήξη της υγρής περιόδου και καθώς οι βροχοπτώσεις μειώνονται και οι γεωτρήσεις αντλούν με γοργό ρυθμό, το φαινόμενο υποχωρεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Κατά τη διάρκεια της μελέτης πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία προκειμένου να μελετηθεί ο υδροχημικός χαρακτήρας των υπόγειων υδάτων. Τα δείγματα του νερού συλλέχθηκαν μετά από άντληση αρκετής ώρας έτσι ώστε το νερό της γεώτρησης να προέρχεται από τον υπόγειο υδροφόρο και να μην είναι αυτό που υπήρχε αποθηκευμένο στο σωλήνα της γεώτρησης. Οι φιάλες της δειγματοληψίας ήταν καλά πλυμένες και πριν τη λήψη του δείγματος ξεπλενόταν με το νερό της γεώτρησης.



Εικόνα 9: Υδροσημεία δειγματοληψίας

Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των χημικών αναλύσεων έγινε υπολογισμός τους σφάλματος του ισοζυγίου ανιόντων-κατιόντων από τη σχέση (Λαμπράκης Ν., 1991):

$$\text{Σφάλμα ισοζυγίου} = \frac{\Sigma \text{κατιόντων} - \Sigma \text{ανιόντων}}{\Sigma \text{κατιόντων} + \Sigma \text{ανιόντων}} \times 100$$

(Το ποσοστό του σφάλματος δεν ξεπέρασε το 5% για κανένα από τα δείγματα)

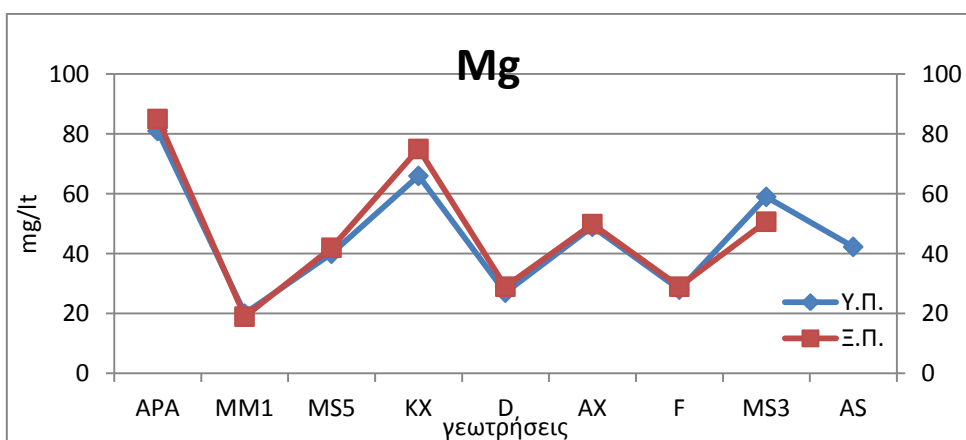
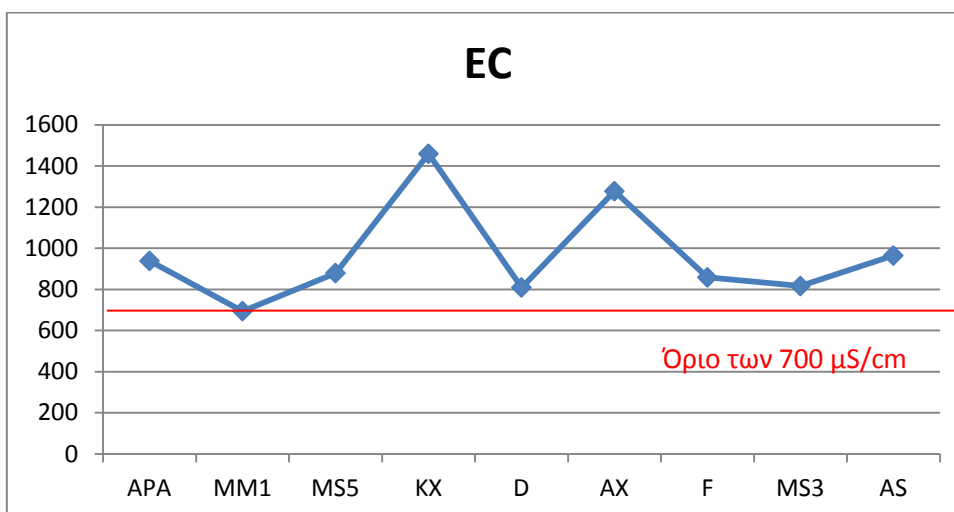
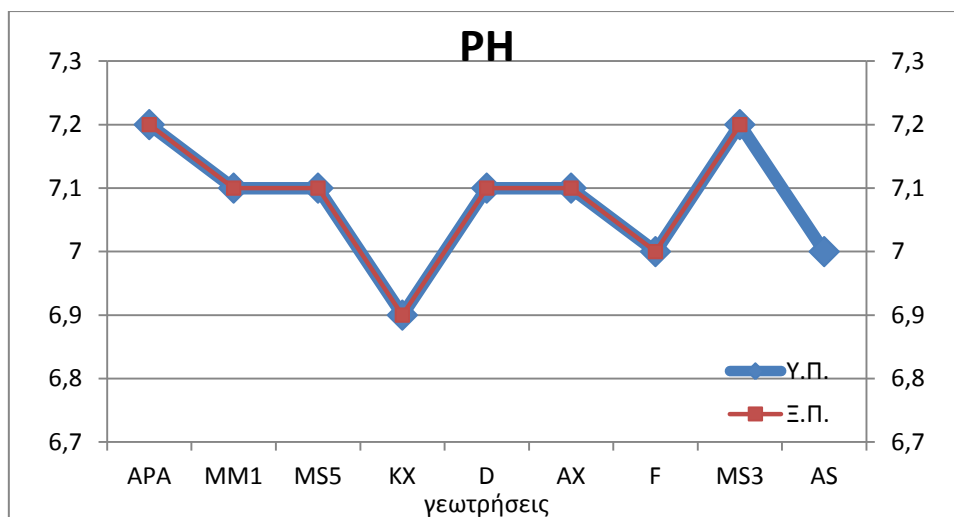
7.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2013									
	APA	MM1	MS5	KX	D	AX	F	MS3	AS
EC(μS/cm)	938	694	879	1459	809	1277	858	816	964
HCO ₃ (mg/l)	467	255	330	442	342	435	327	390	377
Na(mg/l)	20	35	40	47	28	42	36	29	28
Mg(mg/l)	81	20	40	66	27	49	28	59	42,3
Ca(mg/l)	51,4	75	90	148	93	150	96	61	106,9
K(mg/l)	1,4	4,8	6,5	2	2,5	2,5	2,5	1	0,9
NO ₃ (mg/l)	35	54	20,2	121	38	119	67	30	56,4
SO ₄ (mg/l)	33	37	112	90	28	82	33	53	62
Cl(mg/l)	30	20	33,2	84	21,5	51	29	14,5	26
pH	7,2	7,1	7,1	6,9	7,1	7,1	7	7,2	7

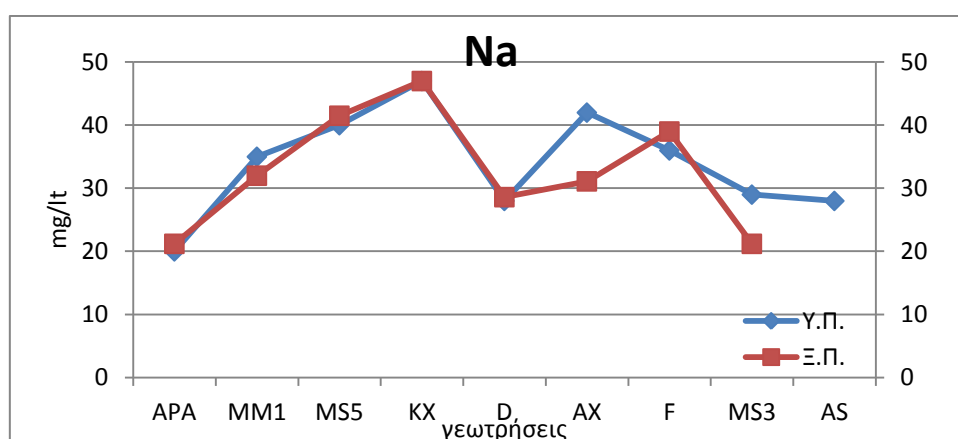
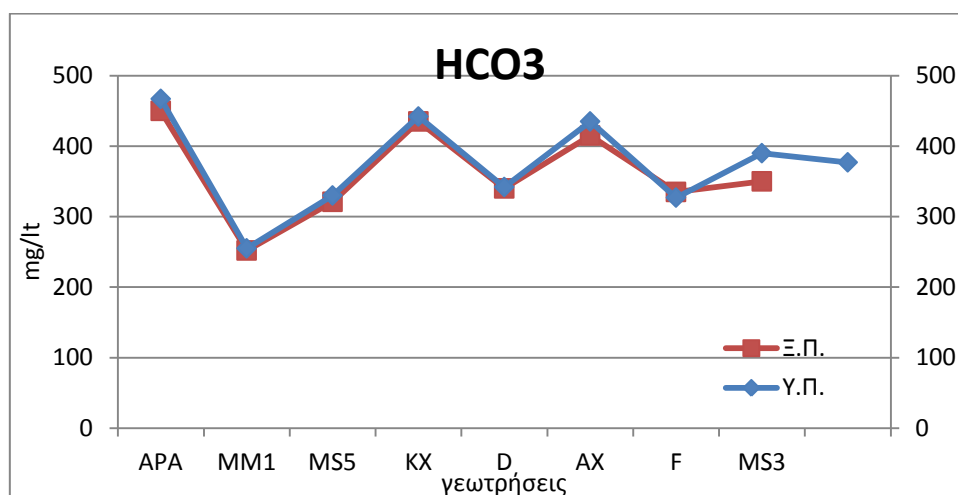
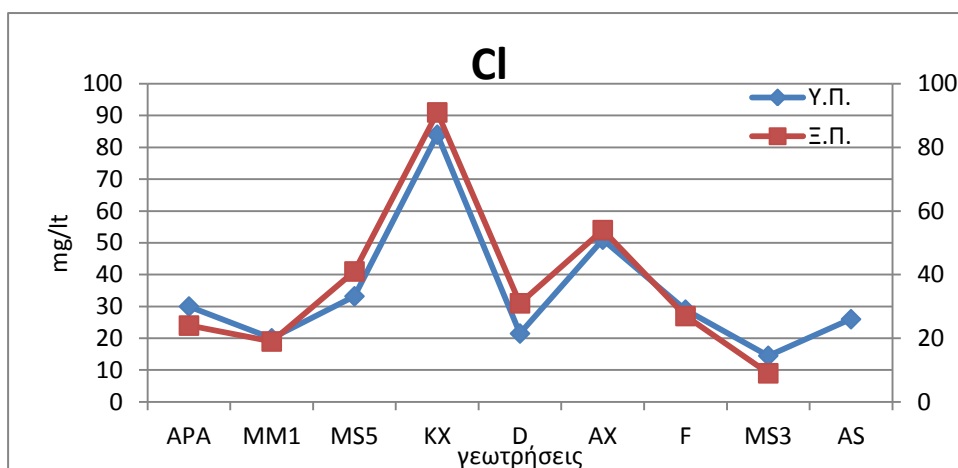
Πίνακας 9: Τιμές κύριων στοιχείων για τα δείγματα της περιοχής για την υγρή περίοδο 2013

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2013								
	APA	MM1	MS5	KX	D	AX	F	MS3
HCO ₃ (mg/l)	450	252	321	435	340	415	335	350
Na(mg/l)	21,2	32	41,5	47	28,6	31,1	39	21,2
Mg(mg/l)	85	19	42	75	29	49,9	29	50,7
Ca(mg/l)	50	79	97	151	93	146,7	96	59
K(mg/l)	1,6	4,2	7,1	2,7	2,8	2,4	2,6	1,3
NO ₃ (mg/l)	30	40,5	35	195	25	112,6	70	28
SO ₄ (mg/l)	38	42	107	72	30	70	33	45
Cl(mg/l)	24	19	41	91	31	54	27	9
pH	7,2	7,1	7,1	6,9	7,1	7,1	7	7,2

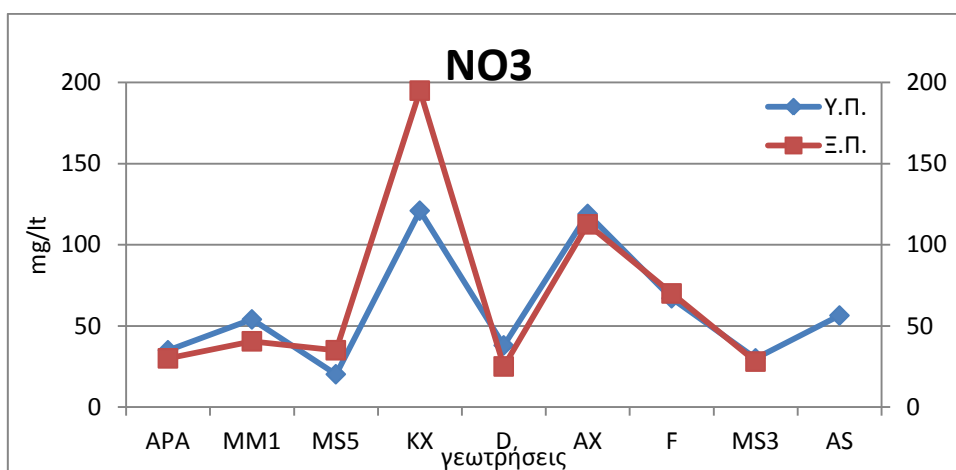
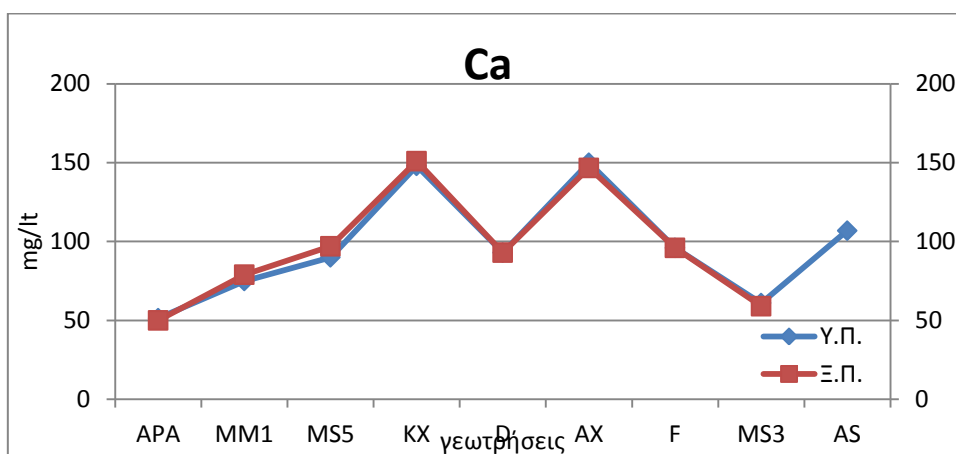
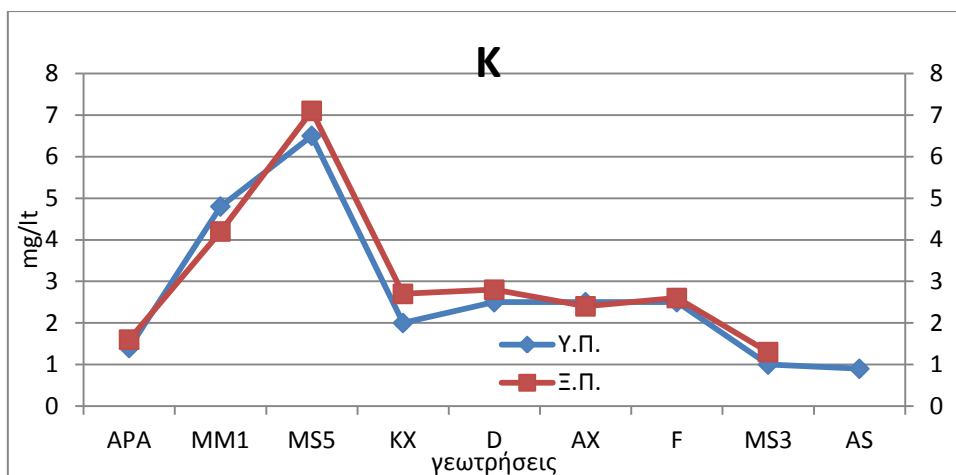
Πίνακας 10: Τιμές κύριων στοιχείων για τα δείγματα της περιοχής για την ξηρή περίοδο 2013



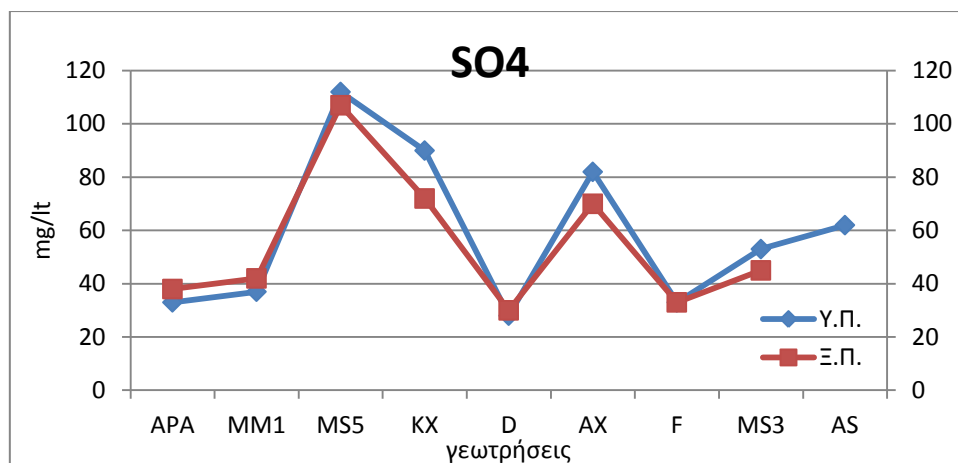
Διαγράμματα 13,14,15: Μεταβολή των στοιχείων και των μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου 2013



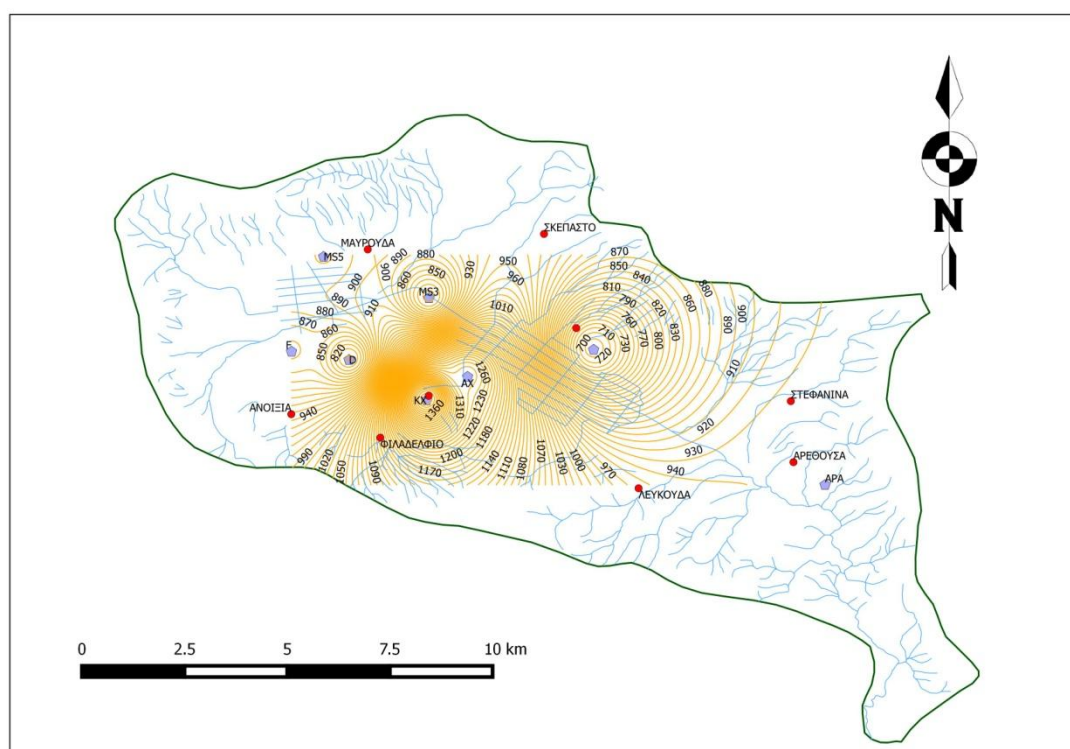
Διαγράμματα 16,17,18: Μεταβολή των στοιχείων μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου 2013



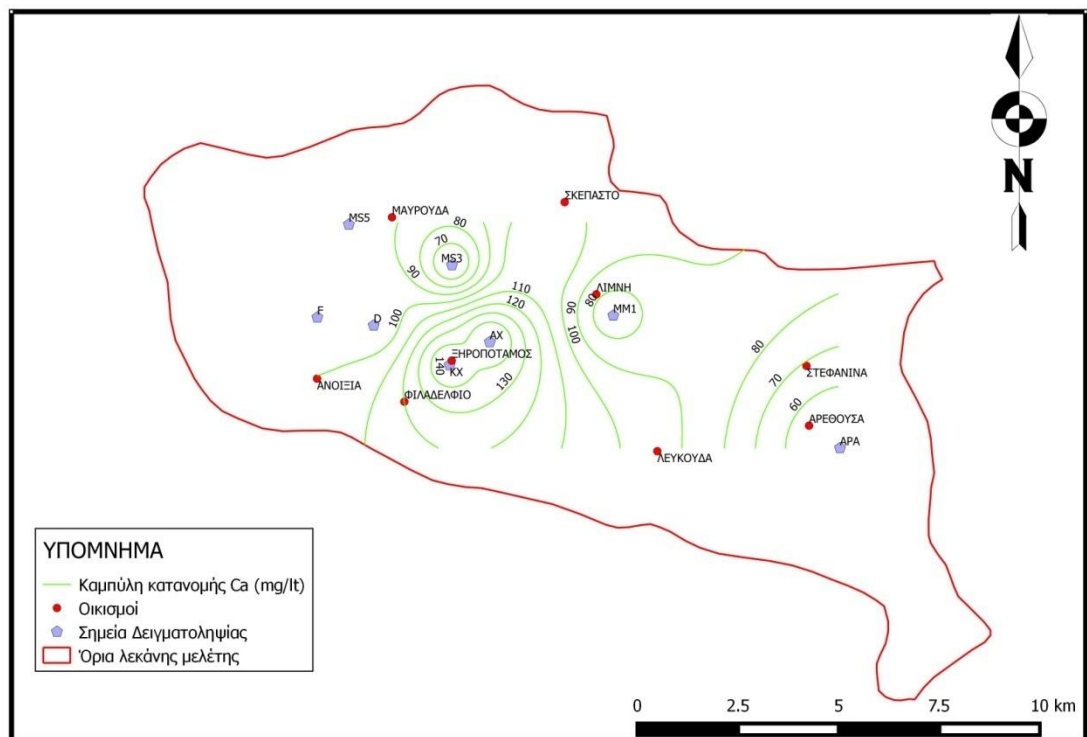
Διαγράμματα 19,20,21: Μεταβολή των στοιχείων μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου 2013



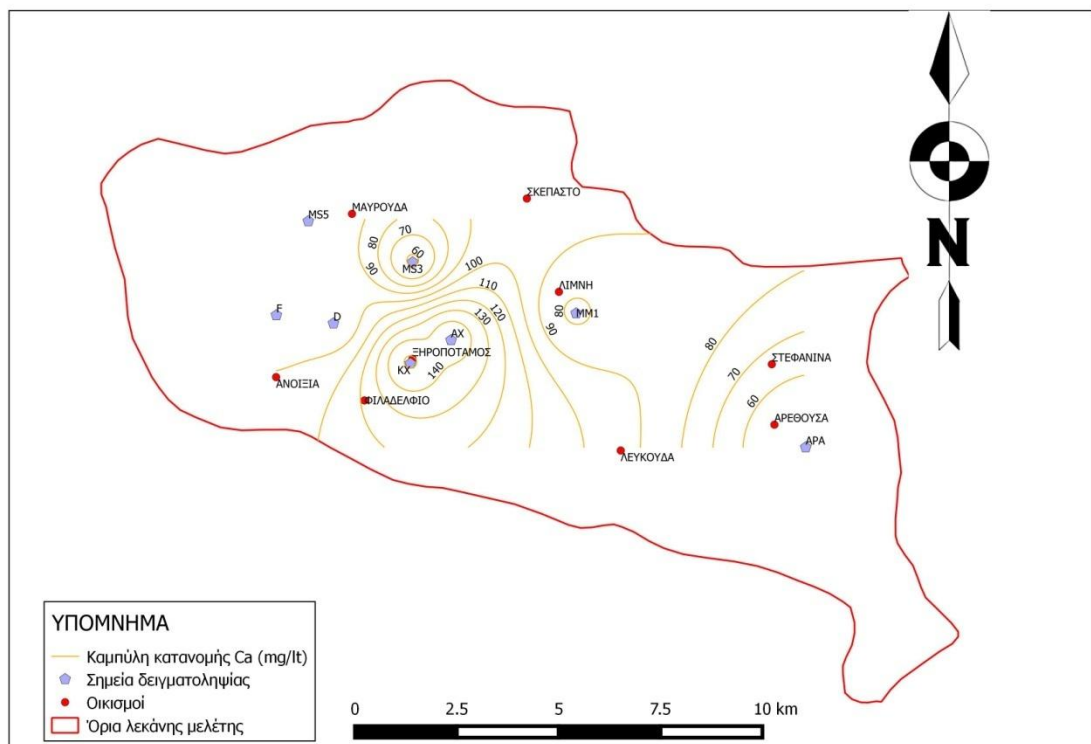
Διάγραμμα 22: Μεταβολή του SO_4 μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου 2013



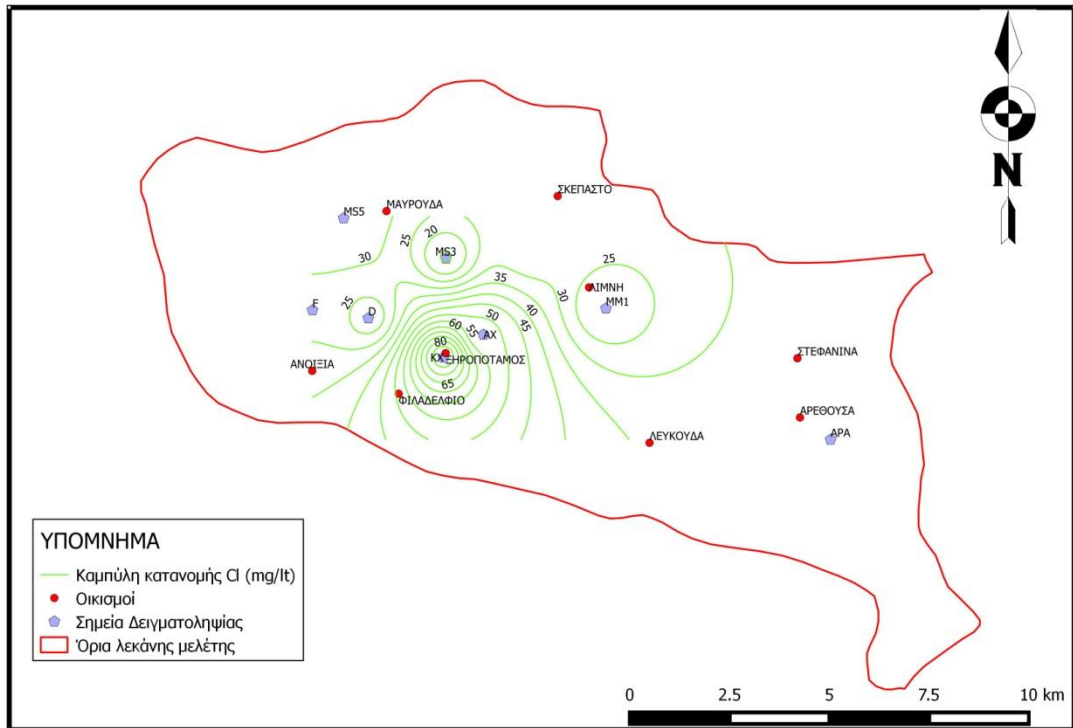
Χάρτης 8: Χωρική κατανομή EC ($\mu S/cm$) κατά την υγρή περίοδο Απριλίου 2013



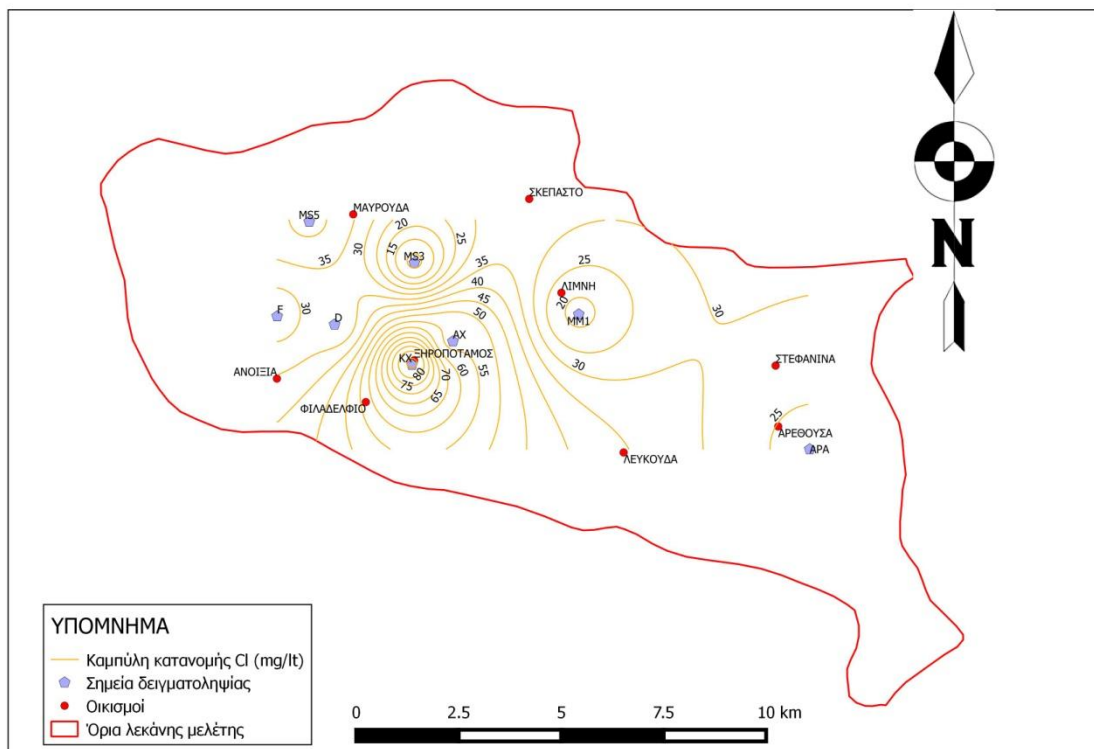
Χάρτης 9: Χωρική κατανομή Ca (mg/Lt) κατά την υγρή περίοδο Απριλίου 2013



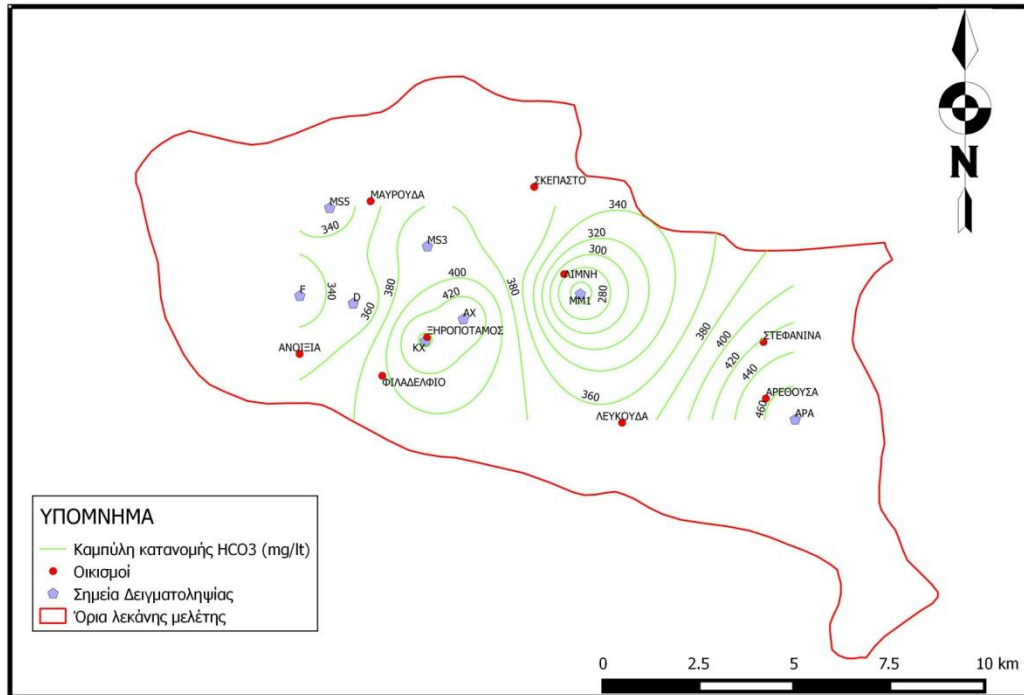
Χάρτης 10: Χωρική κατανομή Ca (mg/Lt) κατά την ξηρή περίοδο Σεπτεμβρίου 2013



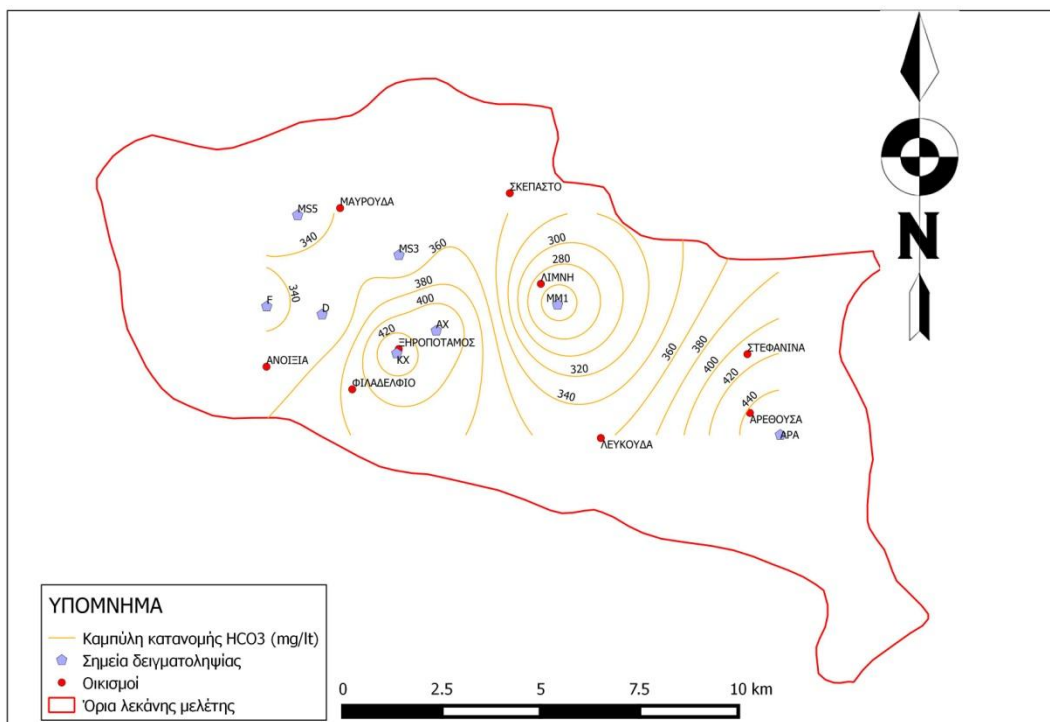
Χάρτης 11: Χωρική κατανομή Cl (mg/Lt) κατά την υγρή περίοδο Απριλίου 2013



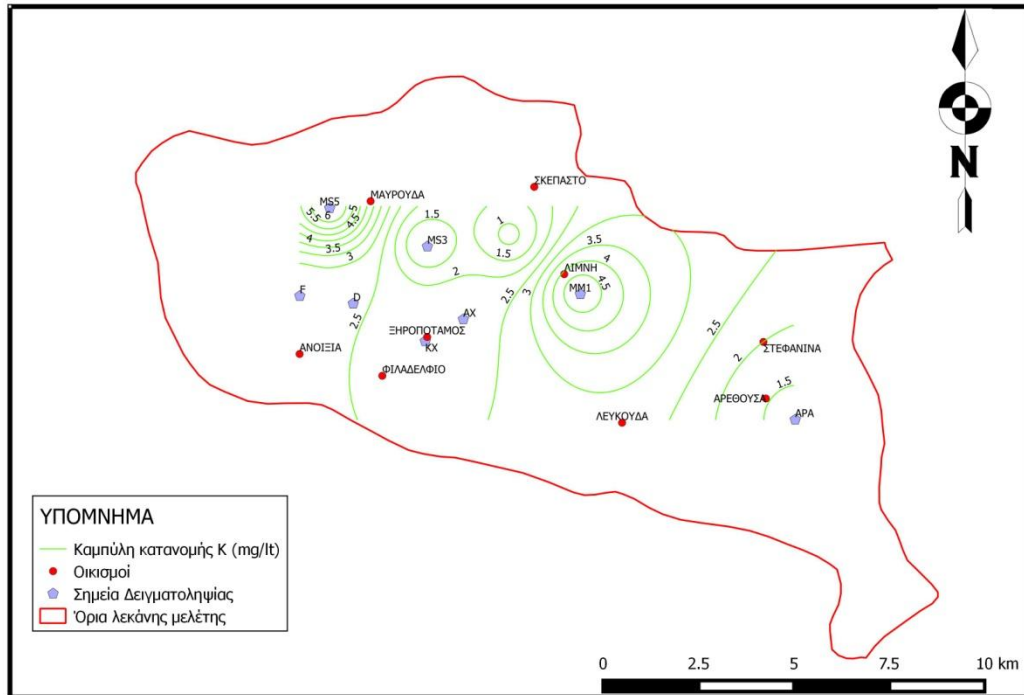
Χάρτης 12: Χωρική κατανομή Cl (mg/Lt) κατά την ξηρή περίοδο Σεπτεμβρίου 2013



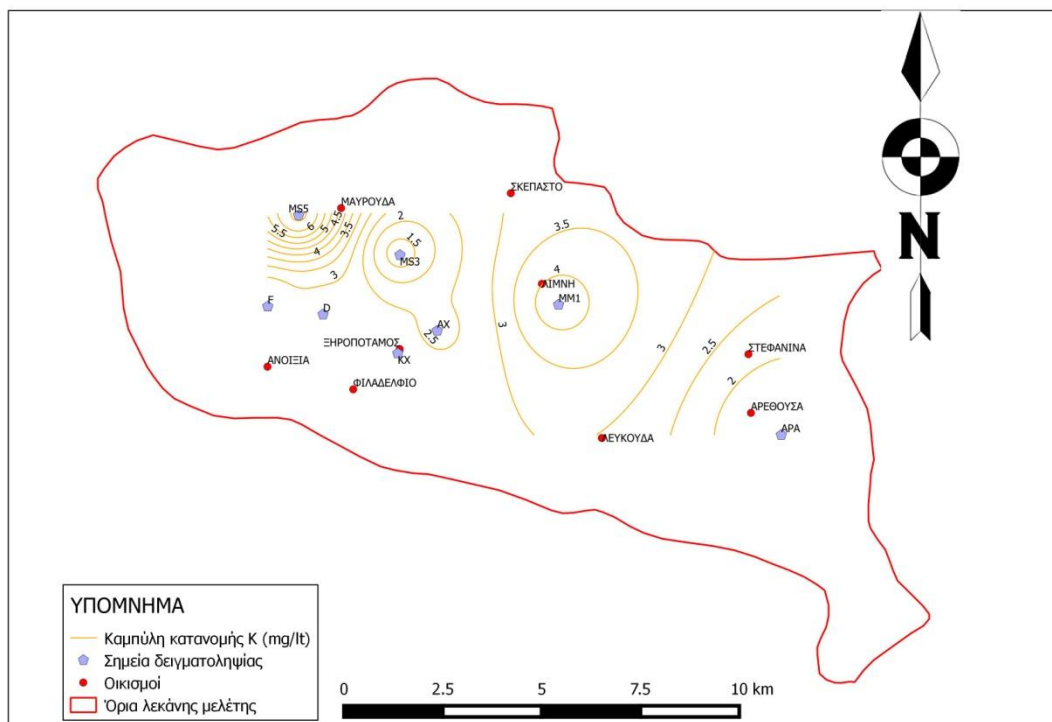
Χάρτης 13: Χωρική κατανομή HCO_3 (mg/Lt) κατά την υγρή περίοδο Απριλίου 2013



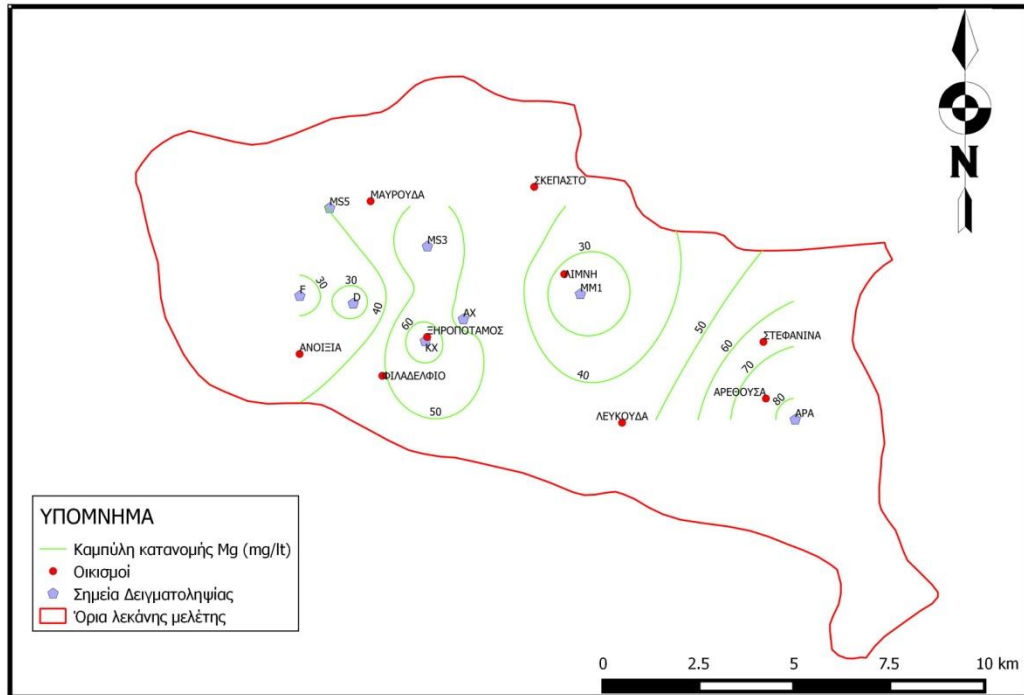
Χάρτης 14: Χωρική κατανομή HCO_3 (mg/Lt) κατά την ξηρή περίοδο Σεπτεμβρίου 2013



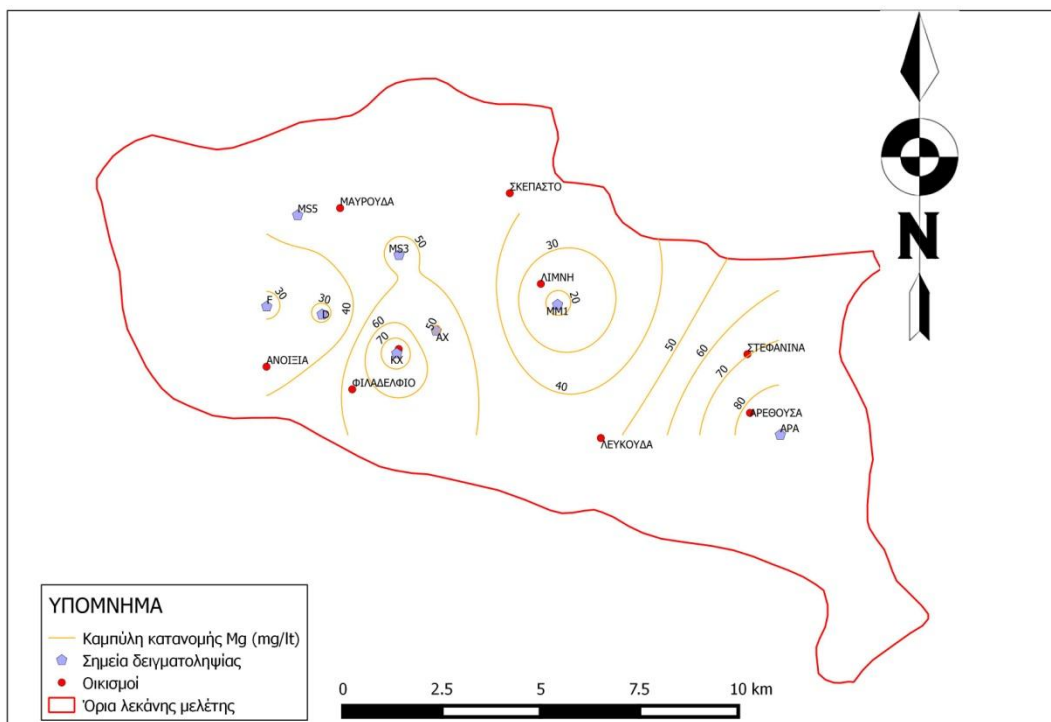
Χάρτης 15: Χωρική κατανομή K (mg/l) κατά την υγρή περίοδο Απριλίου 2013



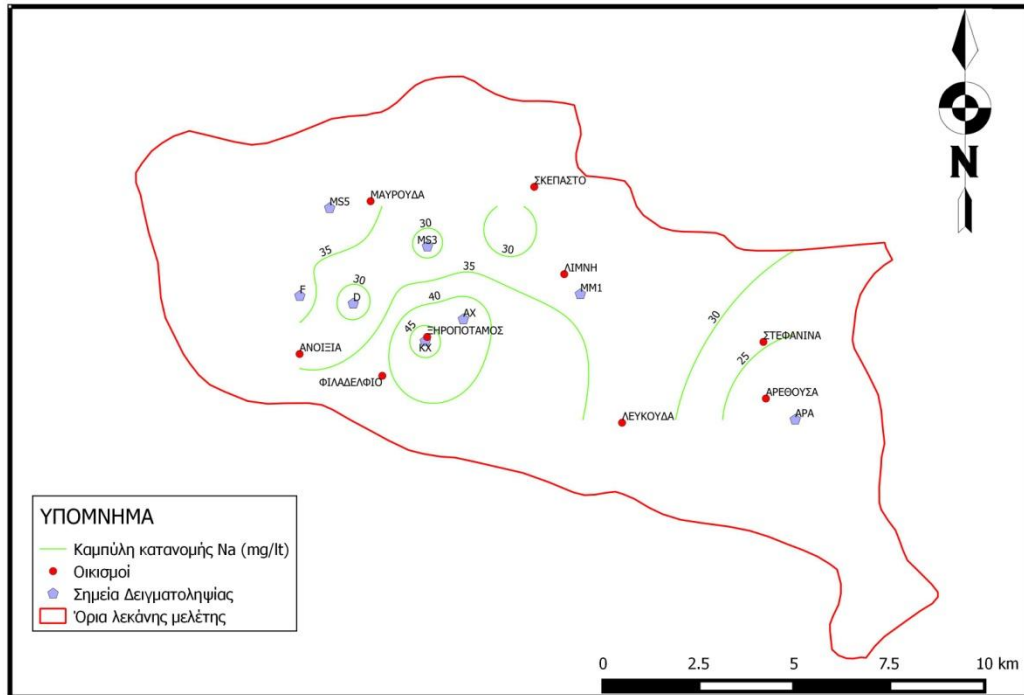
Χάρτης 16: Χωρική κατανομή K (mg/l) κατά την ξηρή περίοδο Σεπτεμβρίου 2013



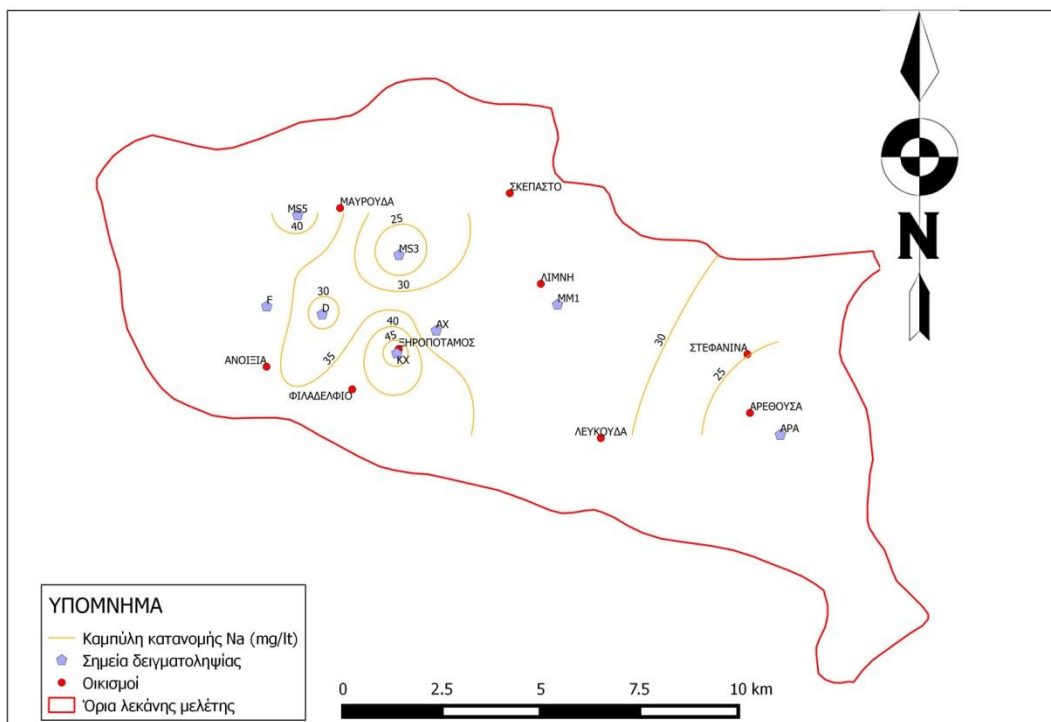
Χάρτης 17: Χωρική κατανομή Mg (mg/Lt) κατά την υγρή περίοδο Απριλίου 2013



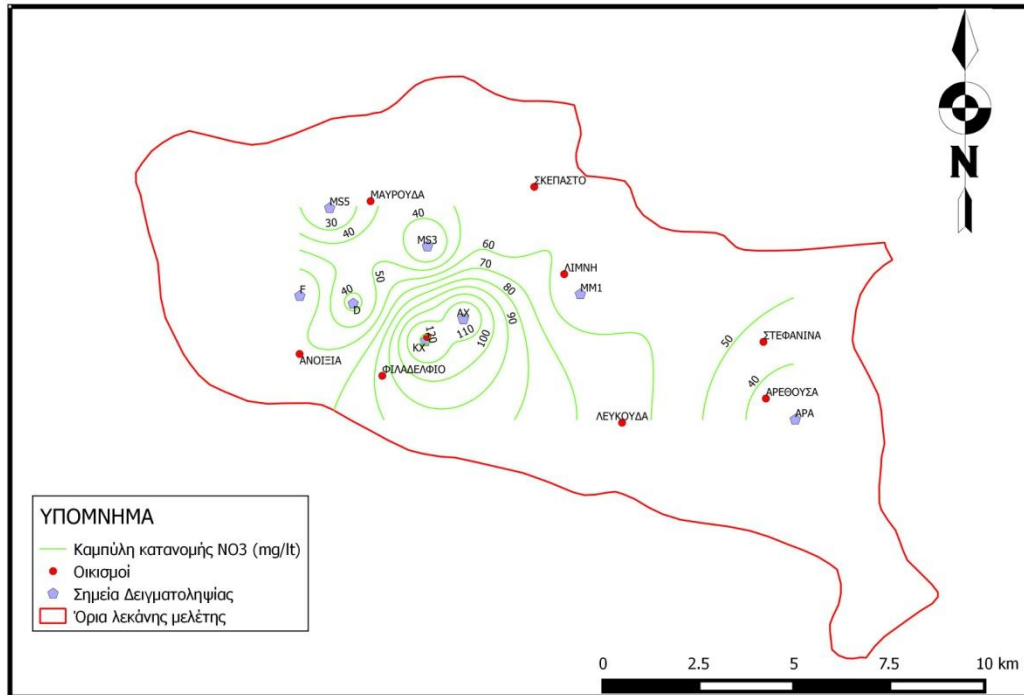
Χάρτης 18: Χωρική κατανομή Mg (mg/Lt) κατά την ξηρή περίοδο Σεπτεμβρίου 2013



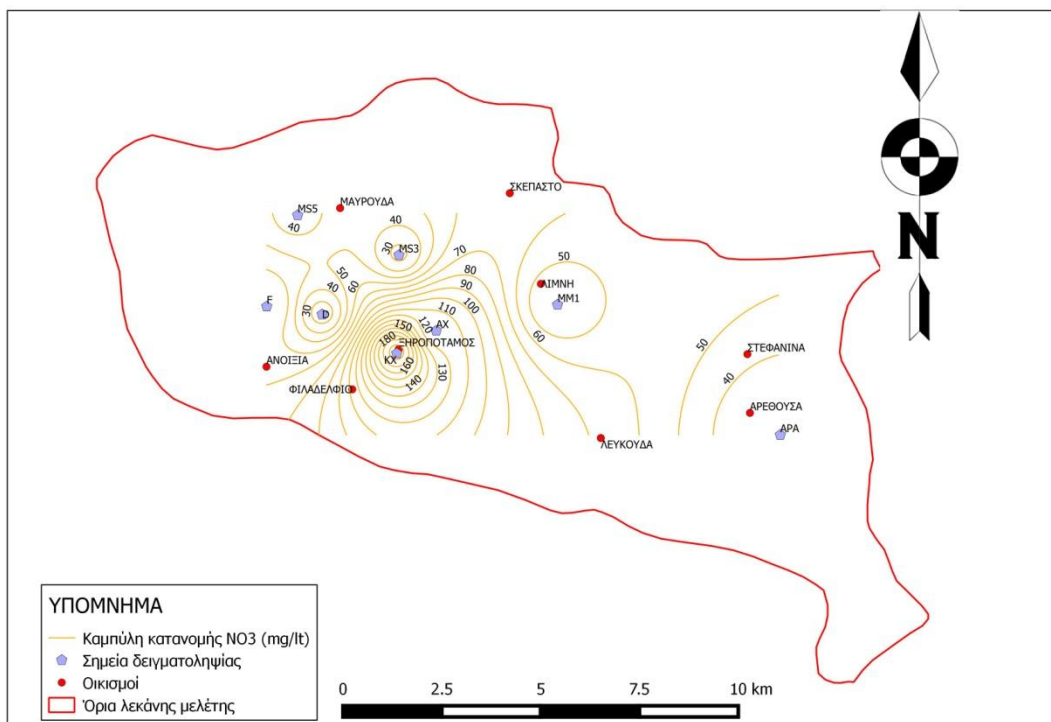
Χάρτης 19: Χωρική κατανομή Na (mg/Lt) κατά την υγρή περίοδο Απριλίου 2013



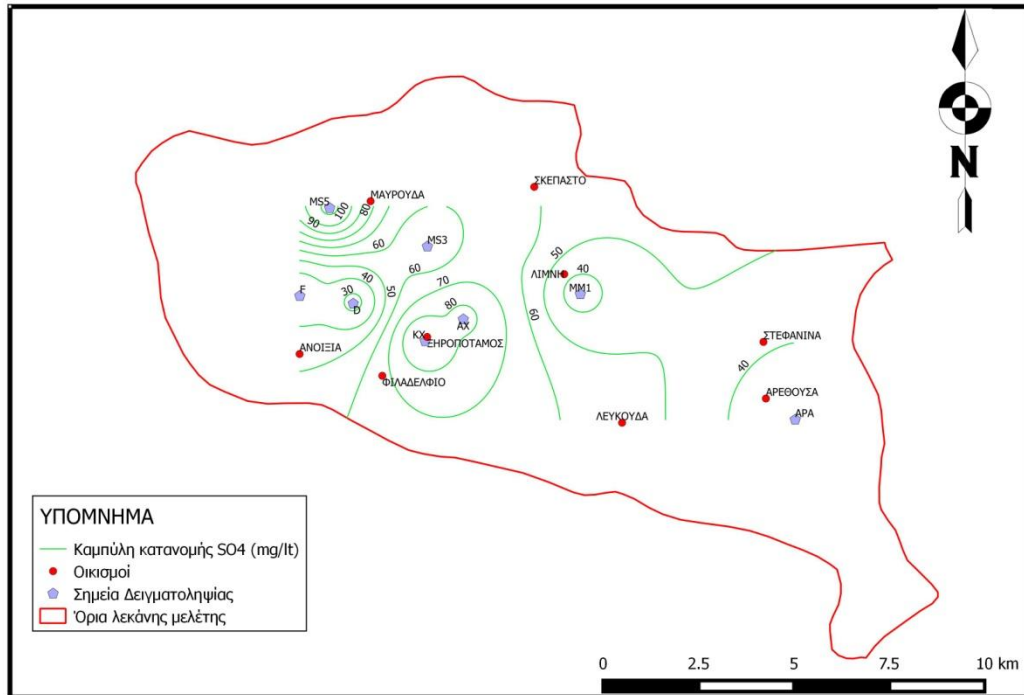
Χάρτης 20: Χωρική κατανομή Na (mg/Lt) κατά την ξηρή περίοδο Σεπτεμβρίου 2013



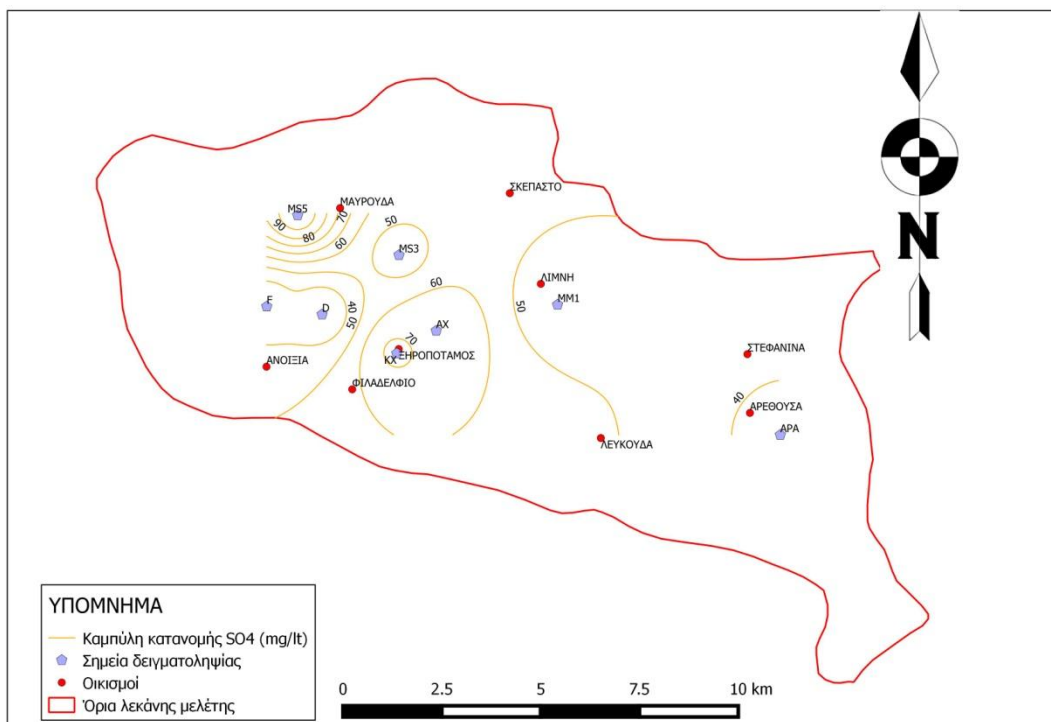
Χάρτης 21: Χωρική κατανομή NO₃ (mg/Lt) κατά την υγρή περίοδο Απριλίου 2013



Χάρτης 22: Χωρική κατανομή NO₃ (mg/Lt) κατά την ξηρή περίοδο Σεπτεμβρίου 2013



Χάρτης 23: Χωρική κατανομή SO_4 (mg/l) κατά την υγρή περίοδο Απριλίου 2013



Χάρτης 24: Χωρική κατανομή SO_4 (mg/l) κατά την ξηρή περίοδο Σεπτεμβρίου 2013

Σύμφωνα με τα στοιχεία των παραπάνω πινάκων, των διαγραμμάτων και των χαρτών προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετρήθηκε μόνο κατά τη δειγματοληψία της υγρής περιόδου του Απριλίου. Το νερό ανάλογα με την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) διακρίνεται σε τρεις τύπους:

1. EC <700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Κανένας περιορισμός στη χρήση.
2. EC 700-3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Μικρός έως μέτριος περιορισμός στη χρήση.
3. EC >3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Μεγάλος περιορισμός στη χρήση (Ζαμπούρ I., 2010).

Εκτός από ένα δείγμα που ανήκει στην πρώτη κατηγορία (MM1) τα υπόλοιπα ανήκουν στη δεύτερη κατηγορία όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα 14. Για το νερό της πρώτης ομάδας δεν υπάρχει κίνδυνος αλατότητας του εδάφους. Για το νερό της δεύτερης, η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται από 809 έως 1459 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας δεν θεωρούνται αυξημένες, απαιτείται όμως σωστή διαχείριση του νερού άρδευσης που προϋποθέτει καλή στράγγιση, έκπλυση εδαφών, διατήρηση της υπόγειας στάθμης νερού σε ικανοποιητικό βάθος και συνεχή έλεγχο της αλατότητας νερού και εδάφους (Ζαμπούρ I., 2010). Η κατανομή της EC στο χώρο της λεκάνης μελέτης παρουσιάζεται στο Χάρτη 18.

Το pH έχει τιμές 6,9-7,2 είναι δηλαδή ουδέτερο και η τιμή του δε μεταβάλλεται μεταξύ υγρής-ξηρής περιόδου (Διάγραμμα 13).

Τα όξινα ανθρακικά παρουσιάζουν αύξηση στην περιοχή της Αρέθουσας και του Ξηροπόταμου (Χάρτες 13,14).

Για τις συγκεντρώσεις των νιτρικών το εύρος τους κυμαίνεται από 25-195 mg/l κατά την ξηρή περίοδο του Σεπτεμβρίου και 20,2-121 mg/l την υγρή περίοδο Απριλίου. Το όριο ποσιμότητας των νιτρικών είναι 50 mg/l (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΦΕΚ3322/30-12-2011/Τεύχος Β'). Στην περιοχή έρευνας οι τιμές παρουσιάζουν μικρές μεταβολές εκτός από ένα δείγμα στην περιοχή του Ξηροπόταμου όπου παρατηρείται μεγαλύτερη μεταβολή (Χάρτες 21,22). Τέσσερα από τα δείγματα ξεπερνούν το όριο ποσιμότητας κατά την υγρή περίοδο και τρία την ξηρή (Διάγραμμα 21). Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών σε μια περιοχή μπορεί να οφείλονται σε λιπάσματα, απορρίμματα, ζωικά και ανθρώπινα απόβλητα. Οι υψηλές τιμές στην περίπτωσή μας οφείλονται κυρίως στα λιπάσματα καθώς πρόκειται για μια καθαρά αγροτική περιοχή. Οι πιο αυξημένες συγκεντρώσεις συναντώνται στην περιοχή του Ξηροπόταμου. Στη δημοτική γεώτρηση ύδρευσης που πήραμε δείγμα (D) οι τιμές είναι σε φυσιολογικά επίπεδα (38 mg/l τον Απρίλιο και 25 mg/l το Σεπτέμβριο). Σε αντίθετη περίπτωση θα ήταν πολύ επικίνδυνο για τους κατοίκους καθώς αυξημένη ποσότητα νιτρικών στα παιδιά προκαλούν την ασθένεια μεθαιμογλοβιναίμια λόγω της αναγωγής στους σε νιτρώδη. Επίσης στο περιβάλλον του στομάχου σχηματίζουν N-νιτροζοενώσεις που είναι

καρκινογόνες (<http://lyk-limnis.eyv.sch.gr/waterelymnio/waterabout/infopappa.htm>, τελευταία επίσκεψη 10/3/2015).

Τα θειικά ιόντα κυμαίνονται μεταξύ 30-107 mg/lt την ξηρή και 28-112 mg/lt την υγρή περίοδο. Το όριο ποσιμότητας σύμφωνα με το ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΦΕΚ3322/30-12-2011/Τεύχος Β' είναι τα 250 mg/lt και βλέπουμε στο διάγραμμα 22 πως οι μεταβολές τους μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου είναι αμελητέες. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στα δυτικά της Μαυρούδας και στον Ξηροπόταμο (Χάρτες 23,24). Οι τιμές θεικών ενδεχομένως μπορεί να προέρχονται από κάποια μεταμορφωμένα πετρώματα που συσχετίζονται με θειικά. Η πιθανότερη όμως προέλευση είναι τα θειικά λιπάσματα (Βουδούρης Κ., 2009). Η περιοχή όπως προαναφέρθηκε είναι αγροτική και οι πιέσεις που δέχεται από τη γεωργική εκμετάλλευση είναι μεγάλες.

Το νάτριο (Na) αποτελεί βασικό στοιχείο για τον άνθρωπο. Τα άλατα νατρίου βρίσκονται σε όλες τις τροφές και το πόσιμο νερό. Λόγω της αφθονίας του στη φύση (6ο κατά σειρά) περιέχεται σε όλα τα φυσικά νερά σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 1-500 mg/l (<http://lyk-limnis.eyv.sch.gr/waterelymnio/waterabout/infopappa.htm>, τελευταία επίσκεψη 10/3/2015). Στην περιοχή μελέτης δεν ξεπερνά τα 47 mg/l, διατηρώντας τις τιμές για τις δυο περιόδους εκτός από 2 σημεία υδροληψίας (Διάγραμμα 18) στα οποία σημειώνεται μείωση κατά την ξηρή περίοδο. Το νάτριο (κυρίως η αναλογία του προς τα άλλα κατιόντα στο νερό) έχει μεγάλη σημασία για τη γεωργία και την ανθρώπινη παθολογία. Η διαπερατότητα του εδάφους επηρεάζεται αρνητικά από μεγάλη αναλογία νατρίου στο νερό. Άτομα που πάσχουν από χρόνιες καρδιακές παθήσεις χρειάζονται νερό με χαμηλή περιεκτικότητα σε νάτριο. Μελέτες αναφέρουν επιπτώσεις στην υγεία από ψηλές συγκεντρώσεις νατρίου στο πόσιμο νερό, αλλά με τα υπάρχοντα δεδομένα δεν είναι δυνατόν να εξαχθούν σίγουρα συμπεράσματα για τη σχέση νατρίου στο νερό και τη δημιουργία υπέρτασης (<http://lyk-limnis.eyv.sch.gr/waterelymnio/waterabout/infopappa.htm>, τελευταία επίσκεψη 10/3/2015).

Το K^+ φτάνει ως τα 7,1 mg/lt και δε ξεπερνά το όριο των 10-12 mg/lt του πόσιμου νερού όπως ορίζεται από την Ε.Ε. σύμφωνα με Βουδούρη (2009) (Ζαμπούρ Ι., 2010). Δεν έχουν αναφερθεί αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία. Μέγιστες τιμές παρουσιάζονται στην περιοχή του χωριού Λίμνη και δυτικά της Μαυρούδας (Χάρτες 15,16), που οφείλονται στη λιθολογία. Πιο συγκεκριμένα σχετίζονται με τον διορίτη της Μαυρούδας και τον μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο του Βερτίσκου που εμφανίζεται στην περιοχή της Λίμνης.

Οι συγκεντρώσεις του χλωρίου (Cl^-) είναι σχετικά χαμηλές, 9-91 mg/lt για την ξηρή και 14,5-84 mg/lt για την υγρή περίοδο καθώς το όριο είναι 250 mg/lt (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΦΕΚ3322/30-12-2011/Τεύχος Β'). Οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται κοντά στον οικισμό του Ξηροπόταμου (Χάρτες 11,12). Σύμφωνα με τη

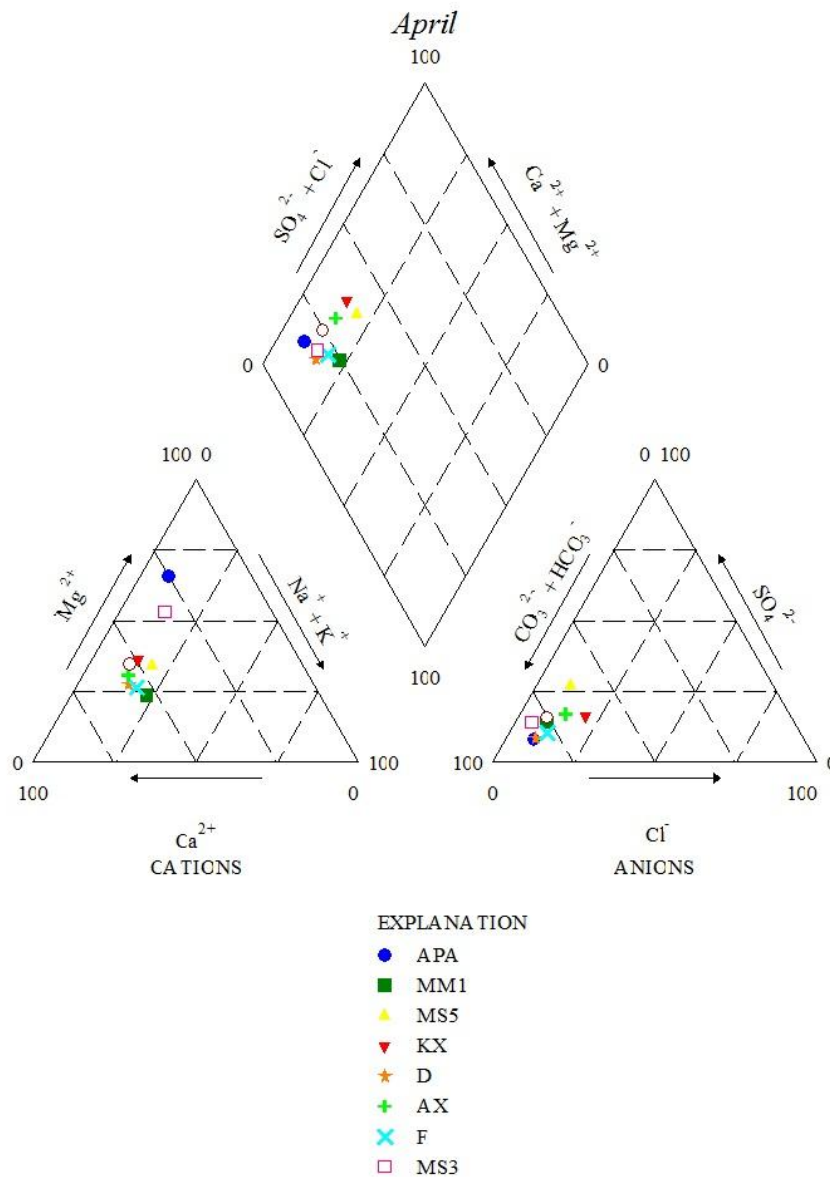
γεωλογία της περιοχής πιθανό να οφείλεται στην εμφάνιση του γνευσίου της ενότητας Βερτίσκου.

Το εύρος του μαγνησίου παίρνει τιμές από 19-85 mg/lit ξεπερνώντας το όριο ποσιμότητας των 50 mg/lit (Ζαμπούρ Ιωάννης). Αυξημένες τιμές συναντάμε στην Αρέθουσα και στον Ξηροπόταμο (Χάρτες 17,18) και πιθανόν οφείλεται στη λιθολογία, δηλαδή στην εμφάνιση οφειολίθων κοντά στην Αρέθουσα. Νερά με συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 125 mg/lit μπορεί να έχουν καθαρτικές και διουρητικές ιδιότητες (<http://lyk-limnis.eyv.sch.gr/waterelymnio/waterabout/infopappa.htm>, τελευταία επίσκεψη 10/3/2015).

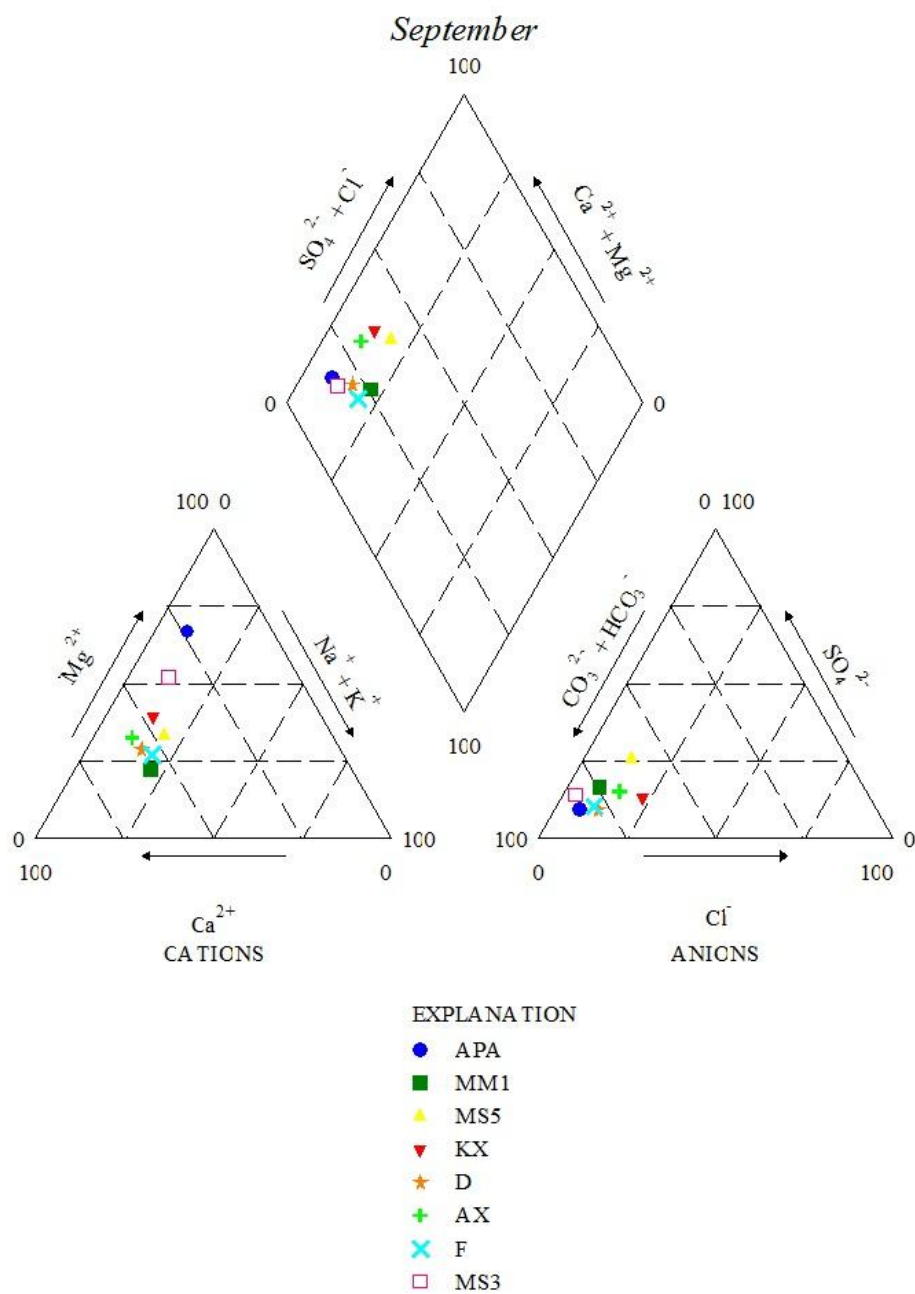
Το ασβέστιο έχει τιμές από 50-151 mg/lit. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις ασβεστίου παρατηρούνται στα κεντρικά τμήματα της λεκάνης μελέτης (Χάρτες 9,10). Σύμφωνα με Βουδούρη (2009) το ασβέστιο προέρχεται από ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα και μάρμαρα. Μελετώντας το γεωλογικό χάρτη της περιοχής και τη γεωλογία Ελλάδας (Μουντράκης Δ., 2010) βρίσκουμε ορίζοντες μαρμάρου εναλλασσόμενους με ορίζοντες γνεύσιου στην ζώνη των Κερδυλλίων.

7.3 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ

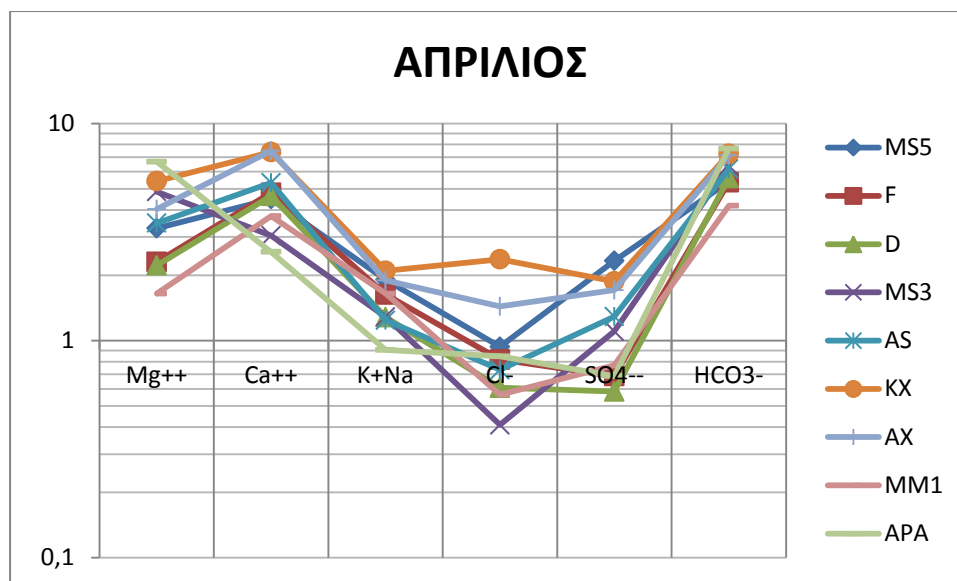
Για την υδροχημική ταξινόμηση των δειγμάτων της περιοχής τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων προβλήθηκαν σε διαγράμματα Piper και Schoeller.



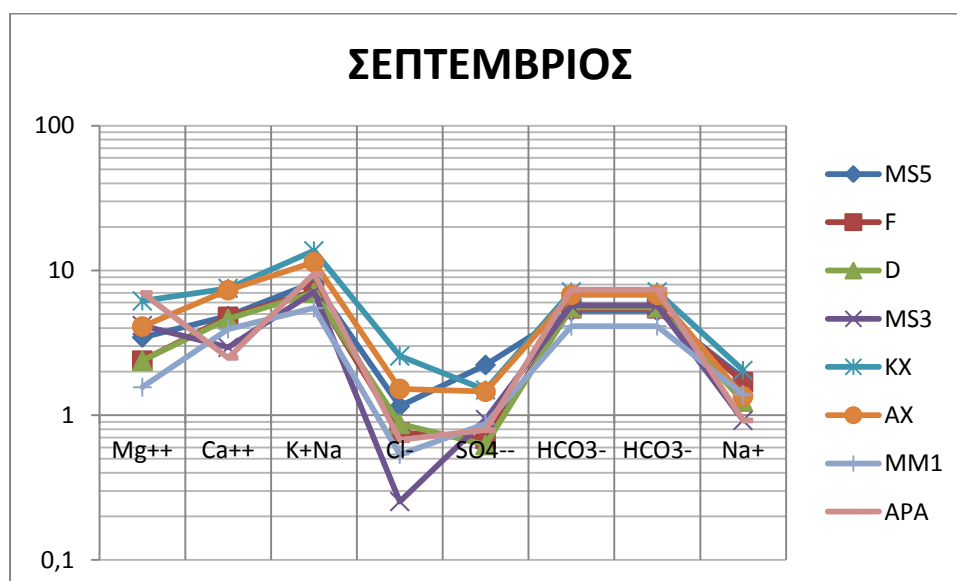
Διάγραμμα 23: Διάγραμμα Piper υγρής περιόδου 2013



Διάγραμμα 24: Διάγραμμα Piper ξηρής περιόδου 2013



Διάγραμμα 25: Διάγραμμα Schoeller γρήρης περιόδου 2013



Διάγραμμα 26: Διάγραμμα Schoeller ξηρής περιόδου 2013

Σύμφωνα με το διάγραμμα Piper προκύπτει ότι ο υδροχημικός χαρακτήρας του υπόγειου νερού ταξινομείται στους παρακάτω τύπους:

Ca-(Mg)-HCO₃

Ο τύπος αυτός μας δείχνει μια γρήγορη και ρηχή αλληλεπίδραση του νερού με τα ιζήματα της περιοχής. Πρόκειται για νερό μικρών και αβαθών υδρολογικών κατά μήκος τοπικών τεκτονικών δομών, επομένως θεωρείται φρέσκο νερό (Τριάντου Γ., 2011). Το κύριο κατιόν είναι το Ca και σε κάποιες περιπτώσεις το Mg. Κύριο ανιόν το HCO₃.

Ca-Mg-Na-HCO₃-SO₄

Τα κύρια ανιόντα του υδροχημικού τύπου είναι τα HCO₃, SO₄ ενώ δεν υπάρχει κάποιο κύριο κατιόν εκτός από την εναλλαγή των Ca, Na, Mg. Τα νερά με αυτό τον υδροχημικό τύπο είναι σε κάποιο βαθμό εμπλουτισμένα από θειικά ιόντα, ασβέστιο, νάτριο και μαγνήσιο.

Επίσης στο διάγραμμα Schoeller βλέπουμε ότι οι καμπύλες των δειγμάτων είναι με την κοίλη επιφάνεια προς τα πάνω, οπότε επιβεβαιώνεται ακόμη μία φορά το ότι τα νερά της περιοχής είναι γλυκά. Επιπλέον πρόκειται για τον ίδιο υδροφόρο ορίζοντα καθώς οι καμπύλες είναι μεταξύ τους παρόμοιες (SCHOELLER, H. 1955).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η λεκάνη απορροής των Βρωμολιμνών αποτελεί υπολεκάνη της ευρύτερης λεκάνης απορροής της Μυγδονίας. Έχει έκταση 206,31 km² και εντάσσεται στο 10^ο υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας.

Οι λίμνες πλέον είναι αποξηραμένες ωστόσο όταν οι βροχοπτώσεις είναι αυξημένες, τους χειμερινούς μήνες, παρατηρείται συγκέντρωση υδάτων στις εκτάσεις των πρώην λιμνών.

Γεωτεκτονικά ανήκει στη Σερβομακεδονική Ζώνη με χαρακτηριστικό το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο. Το υπόβαθρο αυτό αποτελείται από γνευσιακά πετρώματα με ορίζοντες μαρμάρων και αμφιβολίτες καλυπτόμενο από τα νεώτερα ιζήματα που δεσπόζουν στην περιοχή.

Από τις μετρήσεις στάθμης σε 26 γεωτρήσεις για την υγρή και ξηρή περίοδο παρατηρείται μέση πτώση στάθμης ίση με 2,24m με μεγαλύτερη τιμή τα 10,9 m στην έξοδο της λεκάνης μελέτης έξω από την Αρέθουσα. Μηδαμινή μεταβολή παρατηρείται στη γεώτρηση «ΜΑΛ 2» επίσης λίγο έξω από την Αρέθουσα η οποία βρίσκεται κοντά στο ρέμα του Αγίου Χριστοφόρου. Αυτό πιθανόν οφείλεται στο ρέμα το οποίο τροφοδοτεί τη συγκεκριμένη γεώτρηση ακόμα και τους θερινούς μήνες καθώς η μεταξύ τους απόσταση είναι μικρή.

Οι γραμμές ροής των ισοπιεζομετρικών χαρτών μαρτυρούν ότι η κίνηση του υπόγειου νερού ακολουθεί τη μορφολογία του εδάφους, δηλαδή προς τα χαμηλότερα υψόμετρα. Εξαίρεση αποτελεί το υδραυλικό ύψωμα στον Ξηροπόταμο το οποίο αποδίδεται είτε σε έλλειψη των μετρήσεων είτε στην ύπαρξη ενός γνευσιακού όγκου. Στην πρώτη περίπτωση θεωρείται πως δεν υπάρχει ύψωμα καθώς επιπλέον μετρήσεις ίσως αποδώσουν μια πιο ομαλή εικόνα των γραμμών ροής. Στη δεύτερη περίπτωση του γνευσιακού όγκου ίσως η γεώτρηση διατρυπά διαφορετικούς σχηματισμούς με αποτέλεσμα να συναντά διαφορετικά στρώματα με τις υπόλοιπες γεωτρήσεις.

Στην περιοχή εκδηλώνονται φαινόμενα αρτεσιανισμού, κατά την υγρή και μόνο περίοδο λίγο έξω από το Σκεπαστό.

Από τις χημικές αναλύσεις των κύριων ιόντων οι τιμές των νιτρικών κυμαίνονται από 20,2-121 mg/lit την υγρή περίοδο Απριλίου και μεταξύ 25-195 mg/lit κατά την ξηρή περίοδο του Σεπτεμβρίου αποτελώντας το σημαντικότερο ρύπο της περιοχής. Η προέλευσή τους είναι καθαρά αγροτική καθώς προέρχονται από τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

Σύμφωνα με τα διαγράμματα Piper και Schoeller τα νερά είναι γλυκά και χαρακτηρίζονται ως ασβεστο-μαγνησιούχα όξινα ανθρακικά δηλ. τύπου Ca-(Mg)-HCO₃.

Η ποιότητα των υδάτων είναι επιβαρυνμένη όσον αφορά στα νιτρικά, εξαιτίας της αγροτικής και κτηνοτροφικής δραστηριότητας. Για τη μείωση των νιτρικών γεωργικής προέλευσης οι κώδικες γεωργικής πρακτικής (ΚΥΑ 16190/1335/97, ΦΕΚ 519Β/25-6-1997) περιλαμβάνουν κανόνες σχετικά με τις χρονικές περιόδους κατά τις οποίες πρέπει να περιορίζεται η χρήση λιπασμάτων στο έδαφος, σε επικλινή ή κορεσμένα εδάφη και κοντά σε υδάτινα ρεύματα κλπ.

Οι ανάγκες για νερό είναι αυξημένες γι αυτό και ο αριθμός των γεωτρήσεων στη λεκάνη μελέτης είναι μεγάλος.

Τέλος, κατά τη διάρκεια των εργασιών υπαίθρου στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, παρατηρήθηκαν απώλειες νερού, καθώς τα περισσότερα δίκτυα είναι παλιά και με μεγάλες απώλειες.

Η συστηματική παρακολούθηση των υδατικών πόρων της περιοχής καθίσταται απαραίτητη ώστε να επιτευχθεί η βιώσιμη ανάπτυξη και να μην υπάρχουν προβλήματα στο μέλλον.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βουβαλίδης Κ., 2009. Σημειώσεις μαθήματος Φυσικής Γεωγραφίας, Τμήμα εκδόσεων Α.Π.Θ.

Βουδούρης Κ., 2009. Υδρογεωλογία περιβάλλοντος-Υπόγεια νερά & περιβάλλον, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ.

Ζαμπούρ Ι., 2010. Υδρογεωλογικές συνθήκες της λεκάνης απορροής της λίμνης Βόλβης, Μεταπτυχιακό δίπλωμα, Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών «Οικολογική ποιότητα και διαχείριση υδάτων σε επίπεδο λεκάνης απορροής»

Καλλέργης Γ., 1999. Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία, τόμος Α, Εκδόσεις Τ.Ε.Ε Αθήνα, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Λαμπράκης Ν., 2008. Εισαγωγή στην Υδροχημεία, Πανεπιστήμιο Πατρών

Μουντράκης Δ., 2010. Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας, University studio press, Θεσσαλονίκη.

Ξαφένιας Ν., 2007. Μελέτη του υδατικού ισοζυγίου του υπόγειου υδροφορέα της λίμνης Βόλβης, μεταπτυχιακή διατριβή, Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ, τμήμα αγρονόμων και τοπογράφων μηχανικών, Θεσσαλονίκη.

Παυλίδης Σ., Τσάπανος Θ., Κοραβός Γ., Μιχαηλίδου Αν., Χατζηπέτρος Αλ., 2010. Πρόδρομη έκθεση ειδική σεισμοτεκτονική μελέτη των ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής των μεταλλείων Κασσάνδρας, μελέτη για τον Ελληνικό Χρυσό, Θεσσαλονίκη.

Σούλιος Γ., 2006. Γενική Υδρογεωλογία, Τέταρτος τόμος, University studio press, Θεσσαλονίκη.

Σούλιος Γ., 2010. Γενική Υδρογεωλογία, Πρώτος τόμος, University studio press, δεύτερη έκδοση, Θεσσαλονίκη.

Φυτίκας Μ., Ανδρίτσος Ν., 2004. Γεωθερμία, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ.

Χατζηγώγος Ν., Μακεδών Θ., 2008. Η επίδραση της παρουσίας υπολειμματικών υλικών στην ευστάθεια πρανών σε μεταμορφωμένα πετρώματα με έντονη αποσάθρωση και καταπόνηση, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, 5-7 Νοεμβρίου, 2008, Άρθρο 1907

Soulis G., Dimopoulos G, 1984. Contribution a l'étude du Bilan hydrologique des bassins versants du pays hellénique d'après l'exemple du bassin des Vromolimnes. Geologia Applicata e Idrogeologia, v. XIX, 213-225

Πρακτικά της αριθ. 23/2011 συνεδριάσεως του Δημοτικού Συμβουλίου Δήμου
Βόλβης Ν. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

www.nemertes.lis.upatras.gr/

www.hnms.gr , Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία

www.geo.auth.gr , Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

www.minagric.gr , Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και τροφίμων

<http://lyk-limnis.eyv.sch.gr/waterelymnio/waterabout/infopappa.htm>

http://www.geoarch.gr/joomla/geo_3.pdf