

ΤΣΟΥΤΑΝΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ
ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΙΣ ΠΗΓΕΣ ΒΟΣΚΙΝΑ ΚΑΙ ΑΓΙΑΣΜΑ ΣΤΗ
ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2019-2020

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2021





ΤΣΟΥΤΑΝΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

Φοιτητής Γεωλογίας ΑΕΜ:5486

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ
ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΙΣ ΠΗΓΕΣ ΒΟΣΚΙΝΑ ΚΑΙ ΑΓΙΑΣΜΑ ΣΤΗ
ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2019-2020

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωλογίας

Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων

Κωνσταντίνος Βουδούρης, Καθηγητής

Επικουρία στην Επίβλεψη

Νεραντζής Καζάκης, Δρ. Υδρογεωλογίας





© Τσουτάνης Απόστολος, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωλογίας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΙΣ ΠΗΓΕΣ ΒΟΣΚΙΝΑ ΚΑΙ ΑΓΙΑΣΜΑ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2019-2020-*Προπτυχιακή Διπλωματική εργασία.*

© Tsoutanis Apostolos, School of Geology, Dept. of Geology, 2020

All rights reserved.

MEASUREMENTS AND ASSESMENT OF THE PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF THE VOSKINA AND AGIASMA SPRINGS IN ANTHEMOUNTAS BASIN FOR THE PERIOD 2019-2020-*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.

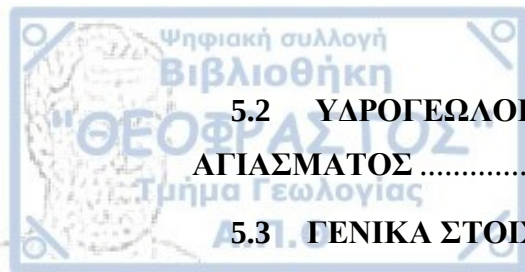
Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.





Περιεχόμενα

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.....	1
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1.1 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	5
1.2 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ	5
1.3 ΚΕΦΑΛΑΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ	6
2 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ	8
2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	9
2.2 ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	9
2.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	10
2.4 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	13
3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ	15
3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	15
3.2 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.....	15
3.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	19
3.4 3.4 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ-ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ	20
4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	28
4.1 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	28
4.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ	34
4.2.1 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ.....	34
4.2.2 ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ	35
4.2.3 ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ	39
4.2.4 ΣΥΝΤΑΞΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ	42
5 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	44
5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ.....	44

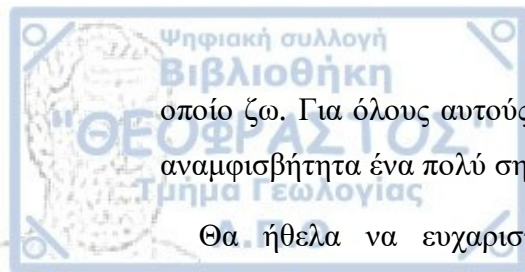


5.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΒΟΣΚΙΝΑΣ ΚΑΙ ΑΓΙΑΣΜΑΤΟΣ	47
5.3 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΟΧΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ	50
5.4 ΠΑΡΟΧΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ	51
5.5 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	54
5.5.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C).....	55
5.5.2 ΕΝΕΡΓΟΣ ΟΞΥΤΗΤΑ (pH).....	57
5.5.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (EC).....	59
5.6 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ	62
5.7 ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ	72
6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	73
6.1 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	75
7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	76

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το νερό είναι ένας φυσικός πόρος ζωτικής σημασίας στον πλανήτη μας. Μέσα από τα στάδια του υδρολογικού κύκλου το νερό πέφτει ως βροχή, ρέει επιφανειακά αποστραγγίζοντας τις λεκάνες απορροής ή κατεισδύει και κινείται ως υπόγειο νερό εμπλουτίζοντας τους υπόγειους υδροφορείς και αξιοποιείται από τον άνθρωπο. Έχει υπολογιστεί ότι το 30% των υδατικών αναγκών της χώρας μας καλύπτονται από το υπόγειο νερό. Οι πηγές συνδέονται και αυτές άμεσα με τον κύκλο του νερού, αποτελούν σημεία φυσικής εκροής του υπόγειου νερού και καθορίζονται από υδρογεωλογικά κριτήρια. Πιο συγκεκριμένα η παροχή των πηγών εξαρτάται από την ποσότητα της βροχής της περιοχής, από τη γεωλογική δομή και από τα υδραυλικά χαρακτηριστικά των υδροφορέων από τους οποίους εκφορτίζονται. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού (pH, θερμοκρασία, ηλεκτρική αγωγιμότητα) για τα οποία (όπως και για την παροχή) λαμβάνονταν τακτικά μετρήσεις στις πηγές έρευνας, αποτελούν βασικά στοιχεία για την μελέτη της ποιότητας του νερού των πηγών.

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τίτλο «Μετρήσεις και αξιολόγηση παροχής και φυσικοχημικών παραμέτρων στις πηγές Βοσκίνα και Αγίασμα στη λεκάνη του Ανθεμούντα κατά την περίοδο 2019-2020» αποτελεί τη βασική προϋπόθεση και το επιστέγασμα για την αποπεράτωση των προπτυχιακών μου σπουδών στον τομέα Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Βασικό κίνητρο για την επιλογή αυτής της διπλωματικής αποτέλεσε η γενικότερη αντίληψη της διαχείρισης του νερού ως θεμελιώδους παράγοντα για τη διατήρηση της ζωής και της αειφορίας στον πλανήτη μας. Οι πηγές ως σημεία φυσικής εκφόρτισης του υπόγειου νερού διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στα συνολικά παγκόσμια υδατικά αποθέματα διαμορφώνοντας παράλληλα σε ορισμένες περιπτώσεις αξιοσημείωτα οικοσυστήματα υδρόβιων οργανισμών. Η εμπειρία μου από τις εργασίες υπαίθρου αν και πρωτόγνωρη, ήταν για εμένα πολύ ευχάριστη, μου προσέφερε πολλά οφέλη στον επιστημονικό αλλά και στον προσωπικό τομέα αφού μου δίδαξε αρετές όπως η οργάνωση και η παρατήρηση. Επίσης με βοήθησε να κατανοήσω τη σημασία της συλλογής δεδομένων στην επιστήμη της υδρογεωλογίας και ταυτόχρονα με έφερε κοντά στο ξεχωριστό φυσικό περιβάλλον της περιοχής έρευνας. Οι υπαίθριες εργασίες πέρα από την επιστημονική τους σημασία αποτελούσαν ταυτόχρονα ευχάριστες αφορμές απόδρασης από το ανθρωπογενές περιβάλλον της πόλης στο



οποίο ζω. Για όλους αυτούς τους παραπάνω λόγους, η παρούσα εργασία αποτέλεσε αναμφισβήτητα ένα πολύ σημαντικό κεφάλαιο της ζωής μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Κωνσταντίνο Βουδούρη για την ανάθεση αυτής της εργασίας και την ευκαιρία που μου έδωσε να εμβαθύνω τις γνώσεις μου στο αντικείμενο της Υδρογεωλογίας. Επιπλέον θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Μεταδιδάκτορα Υδρογεωλογίας κύριο Νεραντζή Καζάκη για τη συνεχή καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές τόσο στο κομμάτι των εργασιών υπαίθρου, όσο και στο θεωρητικό καθώς και για την κατανόηση και τη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τη συνάδελφο Μαρίνα Καϊοπούλου για την παροχή των δεδομένων που συνέλλεξε η ίδια κατά το διάστημα 2/3/18 – 15/7/19 τα οποία συμπεριέλαβα στις χρονοσειρές παρατήρησης. Επιπρόσθετα θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ για την καθοριστική τους συμβολή καθώς και για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσαν για εμένα, τον διδάκτορα Γεωλογίας Πέτρο Νεοφώτιστο ο οποίος βοήθησε στο κομμάτι της γεωλογικής χαρτογράφησης και ιδιαίτερα την υποψήφια διδάκτορα Μαρία Μαργαρίτα Ντόνα για τις τεχνικές γνώσεις και συμβουλές που μου προσέφερε στο κομμάτι των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS), στη σύνταξη του υδρολογικού ισοζυγίου, καθώς και στη συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τους μετεωρολόγους του Ινστιτούτου Δασικών Ερευνών Γεώργιο Χαλυβόπουλο και Μαριάντζελα Φωτέλλη για την αποστολή των μετεωρολογικών δεδομένων του σταθμού «Ι.Δ.Ε – ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ». Ακόμη ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ στο σύνολο των Καθηγητών του τμήματος Γεωλογίας για την έμπνευση, τις γνώσεις και την εμπειρία που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στο τμήμα Γεωλογίας. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την συνολική και συνεχή υποστήριξη και πίστη που έδειχνε σε εμένα ώστε να μπορέσω να ολοκληρώσω επιτυχώς τις προπτυχιακές μου σπουδές.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με τον όρο πηγές ορίζονται τα σημεία φυσικής εκφόρτισης του υπόγειου νερού τα οποία καθορίζονται από υδρογεωλογικούς παράγοντες. Στην παρούσα διπλωματική εργασία ερευνήθηκε η πηγή «Αγίασμα» στην Αγία Παρασκευή και η πηγή «Βοσκίνα» στη Σουρωτή οι οποίες βρίσκονται στο νότιο και κεντρικό κομμάτι της λεκάνης του Ανθεμούντα και διοικητικά ανήκουν στη δημοτική ενότητα Θέρμης. Οι δύο αυτές πηγές βρίσκονται σε λοφώδες υψόμετρο και το κλίμα που επικρατεί σε αυτές είναι εύκρατο μεσογειακό με μέση ετήσια θερμοκρασία 15,6 °C και μέσο ετήσιο ύψος βροχής 478 mm. Σημαντικό ρόλο για την παροχή και την ποιότητα του νερού των πηγών διαδραματίζουν παράγοντες όπως: κλιματολογικά χαρακτηριστικά και μεταβολές τους στη διάρκεια του χρόνου, η στέρηση των πηγών με το χρόνο, η άντληση του υπόγειου νερού και η ανθρώπινη παρέμβαση (ύδρευση, άρδευση, χρήση λιπασμάτων στις καλλιέργειες, ρύπανση από βόθρους, υπεράντληση, τεχνητή αποστράγγιση για την κατασκευή τεχνικών έργων).

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της παροχής, της θερμοκρασίας, του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των πηγών Βοσκίνας και Αγιάσματος. Για τον υπολογισμό της παροχής χρησιμοποιήθηκαν ογκομετρημένα δοχεία, ενώ για τον προσδιορισμό των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού των πηγών χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό αγωγιμόμετρο του εργαστηρίου τεχνικής γεωλογίας και υδρογεωλογίας. Οι μετρήσεις αυτές συμβάλουν στην καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών, του χρόνου υστέρησής τους, καθώς και των διαδικασιών κατέισδυσης που παρουσιάζει η περιοχή.

Οι πηγές αναβλύζουν αναμεμειγμένο υπόγειο νερό του καρστικού υδροφορέα και υδροθερμικά ρευστά. Η μέγιστες τιμές της παροχής μετρήθηκαν ίσες με 18,75 m³ και 0,93 m³ για τη Βοσκίνα και το Αγίασμα αντίστοιχα, ενώ η μέση θερμοκρασία ίση με 20,88 και 19,82 °C αντίστοιχα. Επιπλέον η μέση τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας προέκυψε μεγαλύτερη από 2100 μS/cm ενώ το pH των πηγών χαρακτηρίζεται όξινο (pH < 7). Οι συστηματικές μετρήσεις όλων των παραπάνω μεγεθών (δύο φορές το μήνα), η παρατήρηση της περιοδικής τους διακύμανσης στη διάρκεια του χρόνου συμβάλει σημαντικά στην κατανόηση του μηχανισμού λειτουργίας της πηγής, ενώ μακροπρόθεσμα στην εκτίμηση των αποθεμάτων και την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων μιας περιοχής. Το πολύπλοκο υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής, καθιστά τις πηγές Βοσκίνα και Αγίασμα ενδιαφέρουσες για διαχρονική έρευνα.

ABSTRACT

Springs are natural discharge of groundwater to the surface. The spring flow is controlled by the hydrogeological regime of the site. The spring "Agiasma" in the village Agia Paraskeui and the spring "Voskina" in the Souroti village was studied within the framework of this undergraduate thesis. The springs are located in the Anthemountas River basin. The basin is characterized by Mediterranean climate with mean temperature and precipitation 15.5 °C and 478 mm, respectively. The qualitative and quantitative regime of the spring is determined by climatological, hydrogeological and hydrogeochemical factors. Nevertheless, human activities often influence springs discharge as well as their quality. For instance, overexploitation, intensive use of fertilizers, sewer leakage, dewatering for technical constructions are some of these activities.

For the implementation of this study the following field measurement was obtained twice per month: a) spring discharge, b) water temperature, c) pH and d) electric conductivity (EC) of the springs "Voskina" and "Agiasma". The measurement of the spring discharge and physicochemical parameters was obtained by using a volumetric barrel and a JENWAY field instrument, respectively. Such measurements contribute to the understanding and determination of the spring's mechanism, lag time and infiltration process.

The spring discharge is a mixed water between geothermal fluids and fresh karst groundwater. The maximum recorded discharge of Voskina was 18,75 m³ and for Agiasma was 0,93 m³. The mean water temperature of "Voskina" and Agiasma was 20,88 °C and 19,82 °C, respectively. In addition, the mean value of the electrical conductivity is over 2100 μS/cm, while the pH of the water is characterized as acidic (pH < 7).

The results of this research contribute to the integrated water resource management and the protection of groundwater reserves. Undoubtedly, the springs of Voskina and Agiasma are of utmost interest for scientific research due to the complex discharge mechanism.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

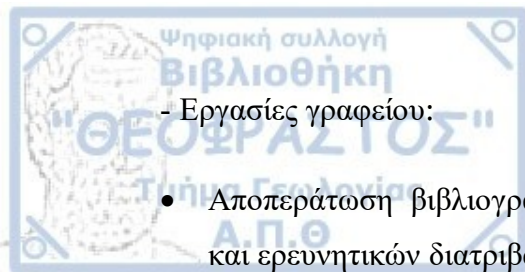
Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να συμβάλει στην κατανόηση του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών Βοσκίνα και Αγίασμα που βρίσκονται στην περιοχή μεταξύ των χωριών Σουρωτής-Αγίας Παρασκευής, του νότιου και κεντρικού μέρους της λεκάνης του Ανθεμούντα. Για την επίτευξη του στόχου αυτού πραγματοποιήθηκε παρακολούθηση της παροχής και των φυσικοχημικών παραμέτρων (pH, θερμοκρασία, ηλεκτρική αγωγιμότητα) των πηγών Βοσκίνα και Αγίασμα. Επιπλέον παρουσιάζεται η διακύμανση των παραπάνω παραμέτρων με το χρόνο, καθώς και ο συσχετισμός τους, ώστε να καταστεί δυνατή με βάση την περιοδικότητα και την αλληλεξάρτηση που αυτές εμφανίζουν η όσο το δυνατόν καλύτερη κατανόηση των υδρογεωλογικών συνθηκών που ελέγχουν τη λειτουργία των πηγών. Ο καθορισμός των ποσοτικών και των ποιοτικών χαρακτηριστικών των πηγαίων νερών και κατ' επέκταση των υπόγειων υδροφορέων προκύπτει με βάση τη μακροχρόνια παρακολούθηση. Με βάση αυτή μπορεί να οριστεί ο βαθμός επάρκειας και καταλληλότητας του νερού για τις διάφορες ανάγκες της κοινότητας (υδρευτικές, αρδευτικές, βιομηχανικές ή άλλες χρήσεις), με σκοπό την αειφόρο διαχείριση των πηγαίων υδάτων.

1.2 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

Απαραίτητο εργαλείο για τη μέτρηση της παροχής που ορίζεται ως ο όγκος νερού (V) προς το χρόνο (t), δηλαδή $Q=V/t$ είναι η χρήση ογκομετρημένων δοχείων, ενώ για τον προσδιορισμό των φυσικοχημικών παραμέτρων (pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα και θερμοκρασία) χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό αγωγιμόμετρο του εργαστηρίου τεχνικής γεωλογίας και υδρογεωλογίας του ΑΠΘ. Αναλυτικά για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες ενέργειες:

- Εργασίες υπαίθρου:

- Μέτρηση της παροχής και των φυσικοχημικών μεγεθών των πηγών δύο φορές το μήνα, (στα μέσα και στα τέλη κάθε μήνα) για την περίοδο Ιουλίου 2019-Σεπτεμβρίου 2020.
- Γεωλογική παρατήρηση και χαρτογράφηση των σχηματισμών γύρω από την περιοχή των πηγών με τη χρήση γεωλογικής πυξίδας.



- Εργασίες γραφείου:

- Αποπεράτωση βιβλιογραφικής ανασκόπησης μελετών, βιβλίων, δημοσιεύσεων και ερευνητικών διατριβών.
- Συλλογή μετεωρολογικών δεδομένων από τον σταθμό «ΛΟΥΤΡΑ» του Ινστιτούτου Δασολογικών Ερευνών» .
- Ψηφιοποίηση και σύνταξη θεματικών χαρτών (ΓΥΣ 1:5.000) (ΙΓΜΕ 1:50.000) με τη χρήση λογισμικού ArcGIS στο προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ87.
- Σύνταξη στερεοδιαγραμμάτων με το λογισμικό Stereonet.
- Σχεδιάση γεωλογικών τομών με τη χρήση των λογισμικών Microsoft Paint και CorelDRAW.
- Επεξεργασία και στατιστική ανάλυση των δεδομένων των μετρήσεων με τη χρήση λογιστικού φύλλου Microsoft Excel και του λογισμικού στατιστικής SPSS αντίστοιχα.

1.3 ΚΕΦΑΛΑΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί εισαγωγή της διπλωματικής εργασίας όπου αναλύονται οι στόχοι και οι διαδικασίες που διεκπεραιώθηκαν.

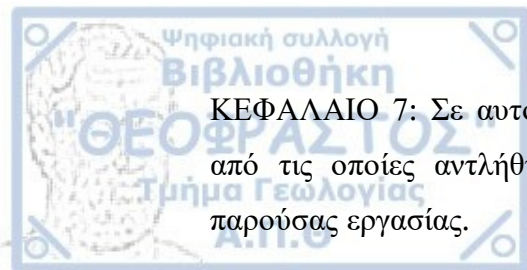
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Παρουσιάζονται τα πληθυσμιακά, γεωγραφικά και μορφολογικά στοιχεία της λεκάνης του Ανθεμούντα που αποτελεί περιοχή έρευνας, καθώς και ανάλογες πληροφορίες που εστιάζονται στην περιοχή των πηγών έρευνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Αφορά στα γεωλογικά και τεκτονικά στοιχεία της λεκάνης του Ανθεμούντα και της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος όπου βρίσκονται οι πηγές έρευνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Αφορά στα κλιματολογικά και μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης, καθώς και το υδρολογικό ισοζύγιο της περιοχής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα των μετρήσεων της παροχής και των φυσικοχημικών παραμέτρων των πηγών.

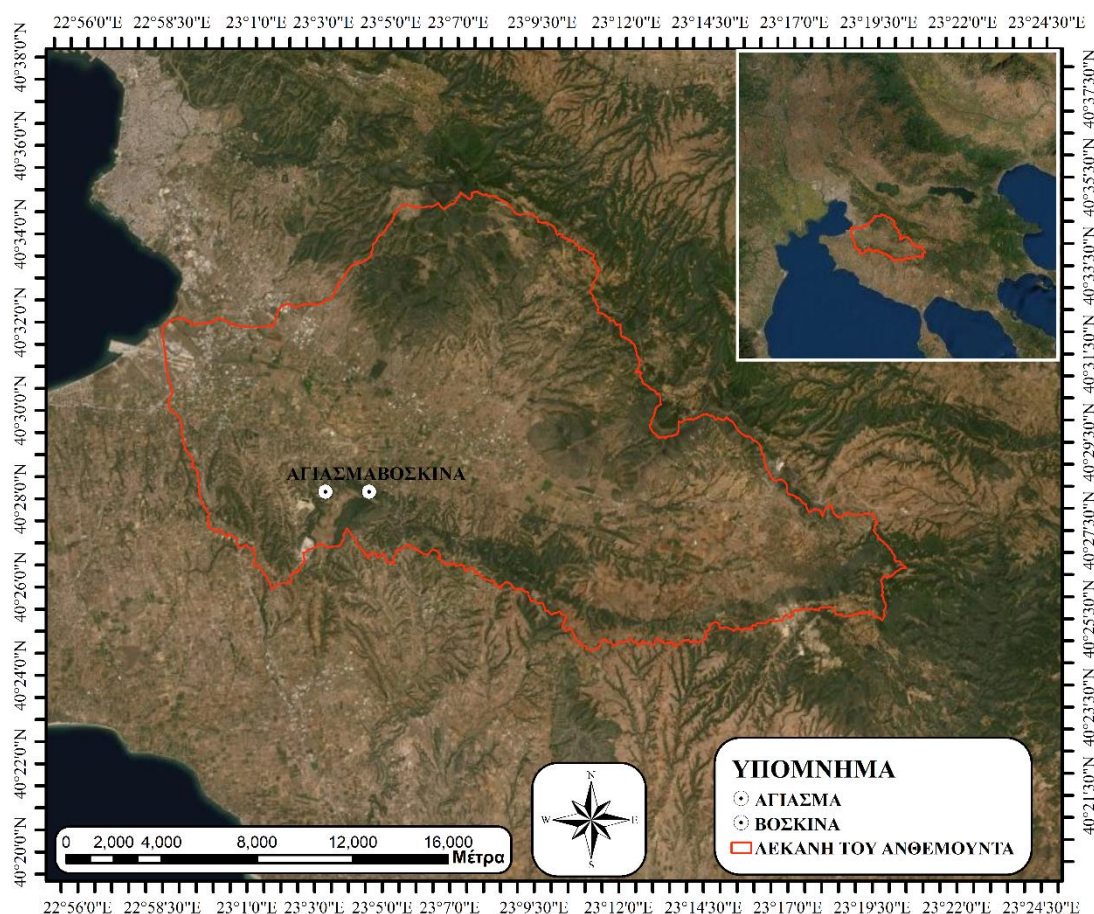
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βιβλιογραφικές πηγές από τις οποίες αντλήθηκαν πληροφορίες και συνέβαλαν στη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

2 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ

Η λεκάνη του Ανθεμούντα βρίσκεται στη βόρεια Ελλάδα, στην περιφέρεια κεντρικής Μακεδονίας σε απόσταση 15 χιλιομέτρων νότιοανατολικά από το πολεοδομικό συγκρότημα της πόλης της Θεσσαλονίκης (Σχήμα 2.1). Αυτή περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τα χωριά Γαλάτιστα, Βασιλικά, Σουρωτή, Θέρμη, Αγία Τριάδα και Περαία. Ο συνολικός πληθυσμός της είναι 85.190 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2011. Πρόκειται για λεκάνη επιμήκους σχήματος με διεύθυνση ΑΝΑ – ΔΒΔ και εκτείνεται από το χωριό Βάβδος στην κεντρική Χαλκιδική μέχρι τον Θερμαϊκό κόλπο. Το μέγιστο μήκος του άξονα της λεκάνης είναι ίσο με 42 km , ενώ το μέγιστο πλάτος της είναι ίσο με 18 km με διεύθυνση κατά άξονα Β – Ν. Όσον αφορά τη μορφολογία της περιοχής, αυτή ποικίλει από ορεινή στα βόρεια περιθώρια της λεκάνης έως πεδινή στο κεντρικό και παράκτιο τμήμα της.



Σχήμα 2.1 Δορυφορικός χάρτης της λεκάνης του Ανθεμούντα όπου ανήκουν οι πηγές Βοσκίνα και Αγίασμα.

2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η λεκάνη του Ανθεμούντα ανήκει διοικητικά στην περιφέρεια κεντρικής Μακεδονίας. Το ανατολικό της τμήμα εντάσσεται στην περιφερειακή ενότητα Χαλκιδικής, ενώ το κεντρικό και δυτικό της τμήμα υπάγεται στην περιφερειακή ενότητα Θεσσαλονίκης και συγκεκριμένα στο Δήμο Θέρμης και στο Δήμο Θερμαϊκού από ανατολικά προς δυτικά αντίστοιχα. Η έκταση που καταλαμβάνει είναι συνολικά 374,7 km². Το μέγιστο πλάτος της λεκάνης είναι 18,7 km με διεύθυνση Β-Ν και το μέγιστο μήκος της είναι ίσο με 42,5 km με διεύθυνση ΑΝΑ-ΔΒΔ. Η λεκάνη του Ανθεμούντα διατρέχεται από τον κύριο ποταμό Ανθεμούντα μήκους 38 km ο οποίος πηγάζει από την περιοχή της Γαλάτιστας και εκβάλλει στον Θερμαϊκό κόλπο με κατεύθυνση περίπου Α-Δ. Η περιοχή οριοθετείται στα βόρεια από τον ορεινό όγκο του Χορτιάτη και τις κορυφές του Χορτιάτη (1200m) και καλογερικού (985m) και στα νότια από τη λοφοσειρά Αγ.Παρασκευής – Σουρωτής – Μονοπήγαδου – Βαβδου από δυτικά προς ανατολικά και συγκεκριμένα από τις κορυφές Κορυφή (400 m), Μύτη (668 m).

2.2 ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η λεκάνη του Ανθεμούντα περιλαμβάνει τις δημοτικές ενότητες Πολυγύρου, Θέρμης και Θερμαϊκού και 19 συνολικά επί μέρους δημοτικές και τοπικές κοινότητες που διαμορφώθηκαν από το σχέδιο «Καλλικράτης 2010». Όπως παρουσιάζεται και στον Πίνακα 2.2, ο συνολικός μόνιμος πληθυσμός της περιοχής ενδιαφέροντος σύμφωνα με την απογραφή του 2011 είναι 85.190 άτομα και παρουσιάζει αύξηση σε σχέση με το έτος 2001 κατά 30 %.

Οι πηγές που εξετάζονται ανήκουν στη δημοτική ενότητα Θέρμης. Συγκεκριμένα η πηγή «Αγίασμα» βρίσκεται νότια και ανατολικά του χωριού Αγία Παρασκευή με μόνιμο πληθυσμό 2244 ατόμων και η πηγή «Βοσκίνα» βρίσκεται στη Σουρωτή η οποία έχει μόνιμο πληθυσμό 1560 ατόμων σύμφωνα με την απογραφή πληθυσμού του έτους 2011.

Πίνακας 2.2 Πληθυσμός των κοινοτήτων της περιοχής έρευνας (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ).

ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	2001	2011
Δ.Κ Θέρμης	11.360	16.004
Δ.Κ Νέου Ρυσίου	2.341	2.952
Τ.Κ Ν.Ραιδεστού	1.992	4.101
Τ.Κ Ταγαράδων	923	2.088
Δ.Κ Τριλόφου	3.581	7.405
Δ.Κ Πλαγιαρίου	3.370	5.392
Τ.Κ Καρδίας	1.437	3.394
Τ.Κ Κ.Σχολαρίου	1.639	1.954
Δ.Κ Βασιλικών	4.163	4.200
Τ.Κ Αγ. Παρασκευής	1.226	2.244
Τ.Κ Αγ. Αντωνίου	1.195	874
Τ.Κ Λιβαδιού	751	263
Τ.Κ Σουρωτής	947	1.560
Τ.Κ Περιστεράς	1.021	770
Τ.Κ Γαλάτιστας	2.947	2.537
Τ.Κ Γαλαρινού	299	332
Δ.Κ Περαιάς	13.321	18.564
Δ.Κ Νέων Επιβατών	3.920	5.984
Δ.Κ Αγίας Τριάδας	3.023	2.561
ΣΥΝΟΛΟ	59.456	85.190

2.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η μορφολογία μιας περιοχής εξαρτάται από τους γεωλογικούς σχηματισμούς που την απαρτίζουν, από την τεκτονική της εξέλιξη και από τις κλιματολογικές συνθήκες οι οποίες καθορίζουν τις διαδικασίες αποσάθρωσης που επικρατούν σε αυτήν. Η λεκάνη του Ανθεμούντα αποτελεί μία μορφολογικά στενή, επιμήκη κοιλάδα με προσανατολισμό ΑΒΑ-ΔΝΔ η οποία χαρακτηρίζεται στη βόρεια πλευρά της ως ορεινή-ημιορεινή και στη νότια λοφώδης (Σωτηριάδης, 1974). Ο κύριος ποταμός που αποστραγγίζει τη λεκάνη είναι ο Ανθεμούντας ο οποίος εκτείνεται με κατεύθυνση Α-Δ, με συνολικό μήκος 38 km. Το εμβαδό της λεκάνης είναι 374,69 km² και χαρακτηρίζεται ως πολύ μεγάλο, ενώ η μέση κλίση της είναι της τάξης του 20% (Καζάκης, 2013). Το μέγιστο υψόμετρο της περιοχής μελέτης είναι 1201 m. και συναντάται στην κορυφή του Χορτιάτη ενώ το μικρότερο υψόμετρο είναι 0 m και αποτελεί το παράκτιο τμήμα της λεκάνης. Ο δείκτης κυκλικότητας και επιμήκυνσης υπολογίζονται από τις παρακάτω Σχέσεις 2.1 και 2.2 αντίστοιχα:

$$E_c = E \times 4\pi / P^2 \quad (2.1),$$

όπου E_c = δείκτης κυκλικότητας, E = εμβαδό της λεκάνης, P = περίμετρος της λεκάνης.

$$E_L = 2R/L_{EW}$$

(2.2),

όπου E_L = ο δείκτης επιμήκυνσης της λεκάνης, R = η μέγιστη ακτίνα της λεκάνης,

L_{EW} = το μέγιστο μήκος της λεκάνης.

Αναλυτικά τα μορφολογικά στοιχεία της περιοχής παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3 (Καζάκης, 2013).

Πίνακας 2.3 Μορφολογικά στοιχεία της λεκάνης του Ανθεμούντα.

ΕΜΒΑΔΟΝ (E)	374,69 km ²
ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ (P)	127,43 km
ΜΕΓΙΣΤΟ ΜΗΚΟΣ (L_{EW})	42,57km
ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΛΑΤΟΣ (L_{NS})	18,7 km
ΜΕΓΙΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (H_{max})	1201m
ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (H_{min})	0 m
ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (H_{mean})	259,3 m
ΜΕΣΗ ΚΛΙΣΗ (S)	20 %
ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΟΤΗΤΑΣ (E_c)	0,29
ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΠΙΜΗΝΥΝΣΗΣ (E_L)	0,45

Σύμφωνα με την κατάταξη κατά Dikau (Πίνακας 2.4) η λεκάνη του Ανθεμούντα χαρακτηρίζεται ως πεδινή - λοφώδης, καθώς το 90% της έκτασής της έχει υψόμετρο <600 m.

Πίνακας 2.4 Ταξινόμηση της περιοχής σύμφωνα με το υψόμετρο (Dikau 1989).

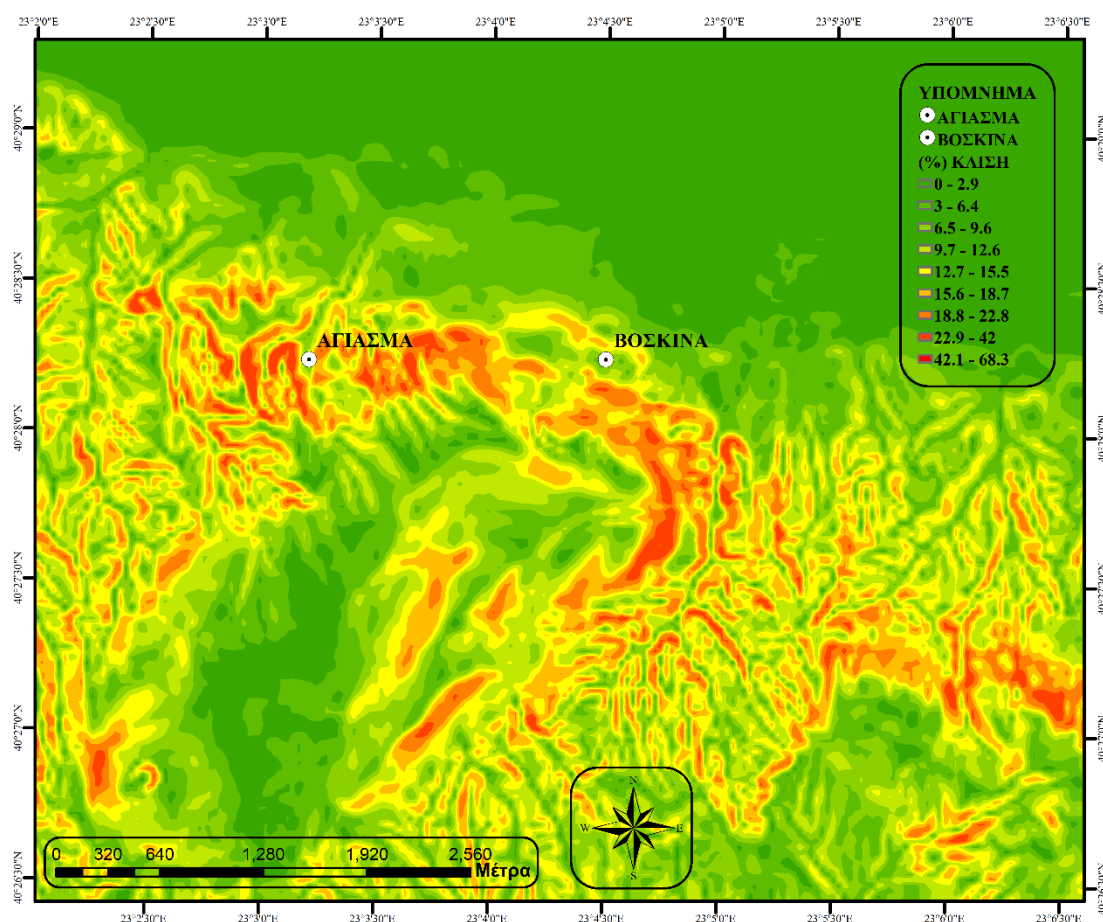
Τύπος αναγλύφου	Υψόμετρο (m)
Πεδινή περιοχή	<150
Λοφώδης περιοχή	150-600
Ημιορεινή περιοχή	600-900
Ορεινή περιοχή	600-900

Οι πηγές Βοσκίνα και Αγίασμα εντοπίζονται στο νότιο και κεντρικό κομμάτι της λεκάνης του Ανθεμούντα, στη λοφοσειρά Αγίας παρασκευής – Σουρωτής. Συγκεκριμένα η πηγή του Αγιάσματος βρίσκεται σε υψόμετρο 128 m και η πηγή της Βοσκίνας σε υψόμετρο 130 m. Οι δύο πηγές απέχουν 2,5 χιλιόμετρα σε ευθεία

απόσταση χωρίς αλλαγές στη μορφολογία. Η κλίση στην πηγή της Βοσκίνας υπολογίστηκε ίση με 5% και χαρακτηρίζεται ως ελαφρά κεκλιμένη, ενώ στην πηγή του Αγιάσματος η κλίση έχει τιμή 10% και χαρακτηρίζεται ως ισχυρά κεκλιμένη σύμφωνα με την ταξινόμηση Demek, 1972 που παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.5. Όλα τα παραπάνω στοιχεία υπολογίστηκαν με τη χρήση του λογισμικού των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ArcMap).

Πίνακας 2.5 Ταξινόμηση της περιοχής με βάση την κλίση.

Κλίση (%)	Χαρακτηρισμός
0-3,5	Επίπεδα
3,5-8,75	Ελαφρά κεκλιμένη
8,75-26,80	Ισχυρά κεκλιμένη
26,80-70	Απότομη
70-135	Απόκρημνη



Σχήμα 2.6 Χάρτης κλίσης της περιοχής των πηγών Βοσκίνα και Αγιάσμα.

2.4 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

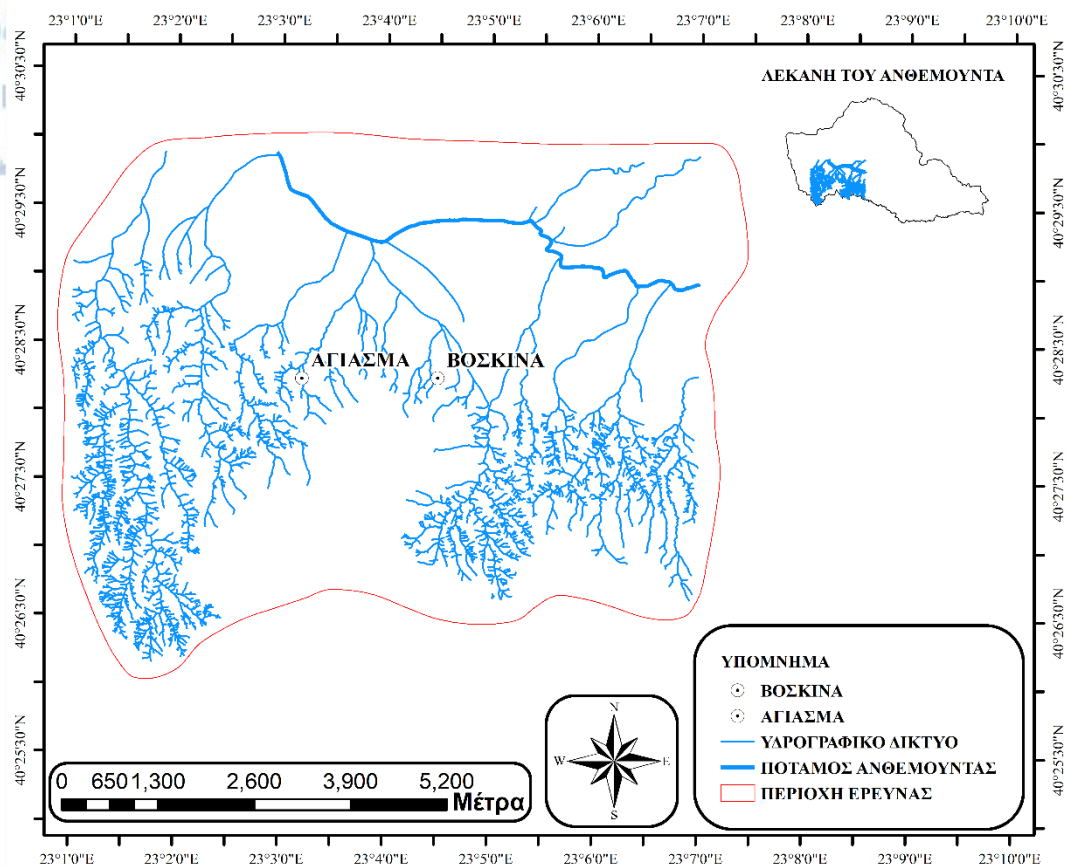
Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου μιας περιοχής εξαρτάται γενικά από το επιφανειακό της ανάγλυφο καθώς και από κλιματολογικούς και γεωλογικούς παράγοντες. Σε μια λεκάνη απορροής διαμορφώνεται ένα δίκτυο χειμάρρων, ρεμάτων, ρυακιών και ποταμών που αποστραγγίζουν τη λεκάνη.

Στην υδρολογική λεκάνη του Ανθεμούντα διαμορφώνεται ένα καλά ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο δενδριτικής μορφής το οποίο υποδηλώνει περιοχή γεωλογικά νέα και ομοιογενή λιθολογικά. Ο κύριος ποταμός είναι ο Ανθεμούντας, ο οποίος ταξινομείται ως κλάδος 6^{ης} τάξης κατά Strahler και έχει μήκος 38 km. Ο ποταμός Ανθεμούντας πηγάζει από τις υπώρειες του Βαβδου (ύψωμα Ζάγκα ράχη) και εκβάλλει στο Θερμαϊκό κόλπο με κατεύθυνση ροής ΑΝΑ-ΔΒΔ. Η λεκάνη του Ανθεμούντα διαχωρίζεται συνολικά σε 18 υπολεκάνες, οι κυριότερες εκ των οποίων είναι η υπολεκάνη της Γαλάτιστας και την υπολεκάνη των Βασιλικών με εμβαδό 70,5 km².

Οι πηγές έρευνας ανήκουν στην υπολεκάνη των Βασιλικών, στο νοτιο και κεντρικό τμήμα της λεκάνης του Ανθεμούντα. Στην περιοχή των πηγών αναπτύσσεται υδρογραφικό δίκτυο δενδριτικής μορφής και τα επί μέρους ρέματα καταλήγουν στον κύριο ποταμό Ανθεμούντα (Σχήμα 2.7). Αναλυτικά παρουσιάζονται τα στοιχεία του δικτύου των ρεμάτων στον Πίνακα 2.6 όπως αυτά προέκυψαν από την ψηφιοποίηση τους με βάση τους τοπογραφικούς χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ κλίμακα 1:5.000). Ο συντελεστής διακλάδωσης R_b (Bifurcation ratio, Gregory and Walling 1973) υπολογίζεται από τη σχέση: $R_b = N_u / N_{u+1}$ και βρέθηκε για την περιοχή ίσος με 4,51. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε περιοχή με καλά ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο στην οποία υπάρχει επίδραση της τεκτονικής δραστηριότητας.

Πίνακας 2.6 Ποσοτικά χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου.

U	N_u	R_b
1 ^{ης}	1670	4,34
2 ^{ης}	384	4,99
3 ^{ης}	77	4,05
4 ^{ης}	19	3,17
5 ^{ης}	6	6
6 ^{ης}	1	



Σχήμα 2.7 Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής έρευνας.

3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η λεκάνη του Ανθεμούντα είναι προέκταση της λεκάνης του Αξιού η οποία από το Πλειστόκαινο και έπειτα ακολούθησε ξεχωριστή τεκτονική εξέλιξη (Συρίδης, 1990) και αποτελεί κλασσικού τύπου τεκτονικό βύθισμα νέας ηλικίας. Τα πετρώματα που παρατηρούνται στην περιοχή ανήκουν και στις 3 γενετικές ομάδες (πυριγενή, ιζηματογενή, μεταμορφωμένα). Οι νεογενείς σχηματισμοί και τα τεταρτογενή ιζήματα καταλαμβάνουν τη μεγαλύτερη έκταση της λεκάνης, κατά βάση στο πεδινό και στο παράκτιο κομμάτι της, ενώ τα σκληρά πετρώματα Μεσοζωικής και Παλαιοζωικής ηλικίας τα οποία συνιστούν το υπόβαθρο της λεκάνης εμφανίζονται στα λοφώδη, ημιορεινά και ορεινά τοπογραφικά σημεία των περιθωρίων της λεκάνης και κατέχουν μικρότερη έκταση.

3.2 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ

Η λεκάνη του Ανθεμούντα ανήκει γεωτεκτονικά στο μεγαλύτερο μέρος της στην Περιοδοπική ζώνη και την υποζώνη Παιονίας των εσωτερικών ελληνίδων ζωνών, ενώ ένα μικρό μέρος της στα ΒΑ ανήκει στην Σερβομακεδονική μάζα η οποία τοποθετείται στην ελληνική ενδοχώρα (Σχήμα 3.1). Σύμφωνα με το Μουντράκη 2010 παρατίθενται τα παρακάτω γεωλογικά στοιχεία για τις επί μέρους γεωτεκτονικές ζώνες.

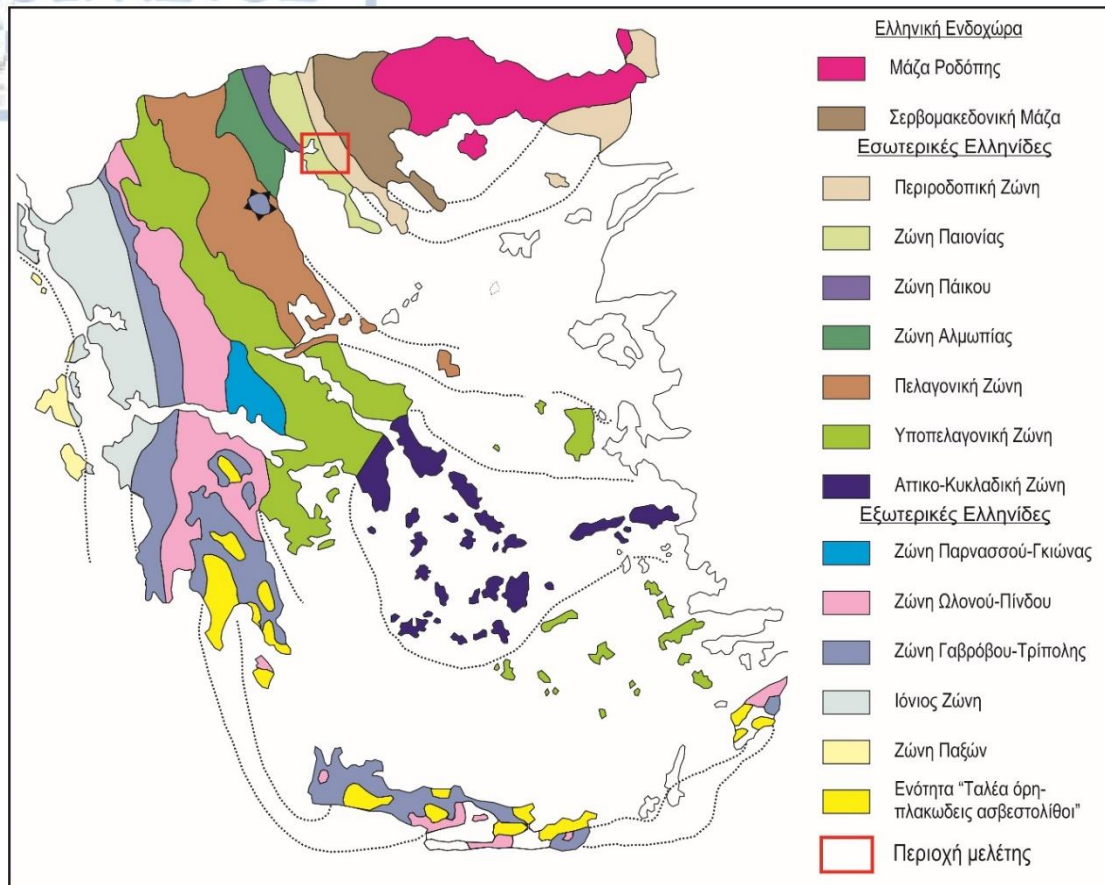
Η υποζώνη Παιονίας ανήκει στη ζώνη Αξιού και σήμερα πιστεύεται ότι αντιπροσωπεύει τα μεσοζωικά ιζηματογενή πετρώματα που αποτέθηκαν στην ανοιχτή θάλασσα. Βασικό της γνώρισμα είναι η λεπιοειδής τεκτονική ως αποτέλεσμα της συμπίεσης που έλαβε χώρα κατά την αλπική ορογένεση του Τριτογενούς και ως εκ τούτου τα πετρώματα της εμφανίζονται μεταμορφωμένα στην πρασινοσχιστολιθική φάση (Μουντράκης 2010). Επιπλέον τα πετρώματα της ζώνης Παιονίας καλύπτονται από Νεογενή ιζήματα και εμφανίζονται στα περιθώρια της λεκάνης. Στην λεκάνη του Ανθεμούντα η ζώνη αυτή αντιπροσωπεύεται από τις εμφανίσεις παχυστρωματωδών και μαζωδών ασβεστολίθων ηλικίας Άνω Ιουρασικού (ύψωμα Κορυφή στη Σουρωτή).

Η Περιοδοπική ζώνη σύμφωνα με τις τελευταίες απόψεις αποτέλεσε την ηπειρωτική κατωφέρεια της ελληνικής ενδοχώρας κατά το Ιουρασικό και ήταν η θέση υποβύθισης της ζώνης Αξιού κάτω από την ηπειρωτική πλάκα ενώ το όριο της με την υποζώνη της Παιονίας δεν είναι ως σήμερα γνωστό. Όλα τα πετρώματα αυτής της ζώνης είναι ιζηματογενή και εμφανίζονται ως χαμηλού βαθμού μεταμορφωμένα πρασινοσχιστολιθικής φάσης και έχουν ηλικία Πέρμιο – Τριαδικό έως Μέσο Ιουρασικό. Η Περιοδοπική ενότητα αποτελείται από τρεις λιθοστρωματογραφικές ενότητες από τα ανατολικά προς τα δυτικά:

- Ενότητα Ντεβέ Κοράν - Δουμπιά που περιλαμβάνει στρωματογραφικά από τη βάση προς την κορυφή μετακλαστικούς σχηματισμούς (μεταψαμμίτες, μετακροκαλοπαγή), ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμούς που υποδηλώνουν συνθήκες ηπειρωτικής διάρρηξης καθώς και νηριτικούς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους.
- Ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα που αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους και μετατουρβιδίτες (μεταψαμμίτες φυλλίτες, μετακροκαλοπαγή).
- Ενότητα Άσπρης βρύσης-Χορτιάτη. Σε αυτή την ενότητα οι κατώτεροι ορίζοντες αποτελούνται από ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμούς Περμοτριάδικής ηλικίας που υπόκεινται των ανακρυσταλλωμένων ασβεστολίθων όμοιων με την ενότητα Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά. Επάνω στους ασβεστόλιθους αποτίθενται ιζήματα βαθιάς θάλασσας στα οποία παρεμβάλλονται εμφανίσεις βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων καθώς και μεταμαγματικά πετρώματα που αντιπροσωπεύουν τους πράσινους επιγενέσιους της Θεσσαλονίκης (Μαγματική σειρά Χορτιάτη).

Η Σερβομακεδονική μάζα ανήκει γεωτεκτονικά στην ελληνική ενδοχώρα και αντιπροσωπεύει ηπειρωτικό φλοιό. Η ζώνη αυτή περιλαμβάνει κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα και διακρίνεται σε δύο ενότητες πετρωμάτων: 1) στην ενότητα Βερτίσκου που είναι νεότερη και 2) στη σειρά Κερδυλίων που αποτελεί την παλαιότερη ενότητα.

Στη λεκάνη του Ανθεμούντα απαντάται η σειρά Βερτίσκου στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης με εμφανίσεις γνευσίων και αντιπροσωπεύει το προαλπικό υπόβαθρο της λεκάνης.



Σχήμα 3.1 Χάρτης Γεωτεκτονικών ζωνών της Ελλάδας και περιοχή μελέτης (Μουντράκης, 1985).

Η λεκάνη του Ανθεμουντα καλύπτεται από εμφανίσεις Νεογενών σχηματισμών σημαντικού πάχους και έκτασης οι οποίοι καταλαμβάνουν το πεδινό – λοφώδες κομμάτι της λεκάνης και φανερώνουν το παλαιοπεριβάλλον και την παλαιογεωγραφική εξέλιξη της περιοχής. Η μελέτη των ιζηματογενών σχηματισμών οδήγησε στην παρακάτω στρωματογραφική ταξινόμηση ξεκινώντας από τον παλαιότερο προς τον νεότερο ηλικιακά σχηματισμό (Συρίδης, 1990).

1. *Σχηματισμός Αντωνίου* ο οποίος αποτελείται από χαλαρά κροκαλοπαγή και άμμους που αποτίθενται σε ποταμοχειμάρρειο περιβάλλον και έχουν ηλικία Κάτω-Μέσο Μειόκαινο.
2. *Σχηματισμός Τρίγλιας*, που περιλαμβάνει ερυθρές αργίλους χερσαίας φάσης και καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση στη λεκάνη. Η ηλικία του σχηματισμού προσδιορίστηκε στο Άνω Μειόκαινο όπως προέκυψε από τη βιοστρωματογραφική έρευνα των απολιθωμάτων σπονδυλωτών. Το ερυθρό

χρώμα των ιζημάτων φανερώνει οξειδωτικό περιβάλλον. Ο σχηματισμός αυτός χωρίζεται από τον υποκείμενο σχηματισμό Τριλόφου με επιφάνεια διάβρωσης.

3. *Σχηματισμός Τριλόφου*. Ο σχηματισμός αυτός συνιστάται από παράλληλους, λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους, άμμους και μάργες που αποτέθηκαν σε ήρεμο λιμναίο περιβάλλον απόθεσης. Τα απολιθώματα των ιζημάτων έδειξαν ηλικία Ανώτερο Μειόκαινο.
4. *Σχηματισμός Γωνιάς*. Πρόκειται για λιμναία – ποτάμια ιζήματα, μάργες, ψαμμίτες, αργίλους, χάλικες, καθώς και κροκάλες ανδευτικής σύστασης που μεταφέρθηκαν από την υποζώνη της Αλμωπίας της ζώνης Αξιού μέσω του δικτύου χειμάρρων κατά το Πλειόκαινο. Η ηλικία αυτού του σχηματισμού χρονολογήθηκε στο Πλειόκαινο
5. *Σχηματισμός Μουδανίων* ηλικίας Άνω Πλειόκαινο – Μέσο Πλειστόκαινο. Περιλαμβάνει χερσοποτάμια ιζήματα, ερυθροστρώματα, κροκάλες και άμμους με εναλλαγές.
6. *Σχηματισμός Ελαιοχωρίων* που αποτελείται από τραβερτίνες και τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθους. Η απόθεσή τους είναι αποτέλεσμα της δράσης των θερμών πηγών της περιοχής Αγίας Παρασκευής – Σουρωτής και έχουν ηλικία Άνω Πλειστόκαινο.

Στο πεδινό και στο παράκτιο μέρος της λεκάνης του Ανθεμούντα έχουν αποθεθεί ιζήματα πλειστοκαινικής και ολοκαινικής ηλικίας τα οποία αποτελούνται από τις εξείς ομάδες :

- Ριπίδια προσχώσεων.
- Ποτάμιες αναβαθμίδες οι οποίες περιέχουν αδρομερή υλικά (κροκάλες, ψηφίδες).
- Τραβερτίνης. Είναι μικρής έκτασης, η απόθεσή του προήλθε από τη δράση των θερμών πηγών στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής και Σουρωτής.
- Πλευρικά κορήματα που περιέχουν υλικά των πετρωμάτων του υποβάθρου
- Παράκτιες αποθέσεις από τη δράση της θαλάσσιας διάβρωσης καθώς και θίνες.
- Προσχώσεις κοιλάδων οι οποίες απαντώνται στο κεντρικό κομμάτι της λεκάνης.
- Αλλουβιακές αποθέσεις μικρής έκτασης αποτελούμενες από άμμους, κροκάλες, ψηφίδες.

3.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η λεκάνη του Ανθεμούντα έχει διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και δημιουργήθηκε από το σύγχρονο εφελκυστικού πεδίου τάσεων και τη δημιουργία νεοτεκτονικών, μεταπτωτικών ρηγμάτων που έδρασαν κατά το Κάτω-Μέσο Πλειστόκαινο. Οι κύριες διευθύνσεις των ρηγμάτων είναι ΒΔ-ΝΑ, ΒΑ-ΝΔ, Α-Δ, ΒΒΔ-ΝΝΑ (Tranos et al. 2004) και το μεγαλύτερο ρήγμα είναι αυτό του Ανθεμούντα με μήκος 32km, διεύθυνσης Α-Δ. Το κύριο ρήγμα έχει βύθιση προς Βορρά με κλίση που ποικίλει από 87° έως 110°, αποτελεί το όριο των νεογενών σχηματισμών από τις τεταρτογενείς αποθέσεις και διαμορφώνει την κοίτη του κύριου ποταμού Ανθεμούντα.

Το ίχνος του ρήγματος στο μεγαλύτερο μέρος του δεν παρατηρείται επιφανειακά λόγω της κάλυψής του από τα σημαντικού πάχους Νεογενή ιζήματα και τεταρτογενείς αποθέσεις. Το ρήγμα γίνεται εμφανές από δορυφορικές εικόνες, γεωφυσικές διασκοπήσεις (Βαργεμέζης και Φίκος, 2010) και από τις τεκτονικές αναβαθμίδες που παρατηρούνται στις περιοχές Μεγάλο Έμβολο – Περαιά - Αγία Τριάδα. Το κύριο ρήγμα του Ανθεμούντα χωρίζεται σύμφωνα με τη Ζερβοπούλου 2004 σε τρία τμήματα (Σχήμα 3.2). Η διάκριση αυτή γίνεται με βάση τη διεύθυνση του στα επί μέρους τμήματα, καθώς και την υποθετική προέκτασή του στη θάλασσα του θερμαϊκού κόλπου. Το πρώτο τμήμα εκτείνεται από το Γαλαρινό έως το Νέο Ρύσιο με διεύθυνση κλίσης Β110° και μήκος 17 χμ. Το δεύτερο τμήμα εκτείνεται από το Νέο Ρύσιο μέχρι την τοποθεσία Μεγάλο Έμβολο (Αγγελοχώρι), έχει διεύθυνση κλίσης Β90° και συνολικό μήκος 11 χμ. Το τρίτο τμήμα του ρήγματος του Ανθεμούντα απλώνεται από το Μεγάλο Έμβολο στη θάλασσα με διεύθυνση κλίσης Β87°.

Το ρήγμα επηρεάζει τα επίσης τα πλειστοκαινικά ιζήματα και τις πιο πρόσφατες ολοκαινικές αποθέσεις και είναι προσανατολισμένο κάθετα στο σύγχρονο πεδίο τάσεων. Επιπλέον ο καταγεγραμμένος σεισμός των Βασιλικών το έτος 1677 μεγέθους $M=6.2$ οφείλεται πιθανώς στη δράση του ρήγματος του Ανθεμούντα. Επίσης ο μορφοτεκτονικός δείκτης της ασυμμετρίας της λεκάνης AF (Asymetry Factor) ο οποίος για τη λεκάνη του Ανθεμούντα βρέθηκε ίσος με 60 ($AF=60$), υποδεικνύει περιστροφή της λεκάνης (tilting) προς το νότιο τμήμα της. Όλα τα παραπάνω στοιχεία καθιστούν το ρήγμα του Ανθεμούντα ενεργό.

Στη δράση της εφελκυστικής τεκτονικής και της δημιουργίας κανονικών ρηγμάτων οφείλεται και η έναρξη της δράσης των πηγών Βοσκίνας και Αγιάσματος (Ψιλοβίκος, 1977). Ο τραβερτίνης πλειστοκαινικής ηλικίας που εμφανίζεται στην

περιοχή των πηγών έχει περιορισμένη έκταση και συνδέεται με τη δράση των θερμών πηγών Βοσκίνας και Αγιάσματος. Ο τραβερτίνης της Σουρωτής εμφανίζεται ελαφρά κεκλιμένος με γωνία κλίσης έως 20° και παρατηρούνται σε αυτόν δύο κύρια συστήματα διακλάσεων διεύθυνσης ABA-ΔΝΔ και BBA-NNA ($60-70^\circ$) και δύο δευτερεύοντα συστήματα διεύθυνσης B-N και ANA-ΔΒΔ (100°) (Ναγκούλης, 2009). Η τεκτονική δράση και οι διαρρήξεις στα σκληρά αρχικά αδιαπέρατα πετρώματα της λεκάνης έχει δημιουργήσει σε αυτά δευτερογενείς πορώδες με αποτέλεσμα την εμφάνιση υδροφορίας κατά μήκος των διερρηγμένων ζωνών. Επιπλέον η δράση της τεκτονικής έχει επιταχύνει τη διαδικασία της καρστικοποίησης των ανθρακικών πετρωμάτων της περιοχής των πηγών. Έχει παρατηρηθεί ότι η κύρια υδροφορία στους καρστικούς σχηματισμούς λαμβάνει χώρα κατά μήκος των μεγάλων ρηγμάτων και των συστημάτων διακλάσεων (Bakalowicz, 2005).



Εικόνα 3.2 Τμηματοποίηση του ρήγματος του Ανθεμούντα (Ζερβοπούλου, 2004).

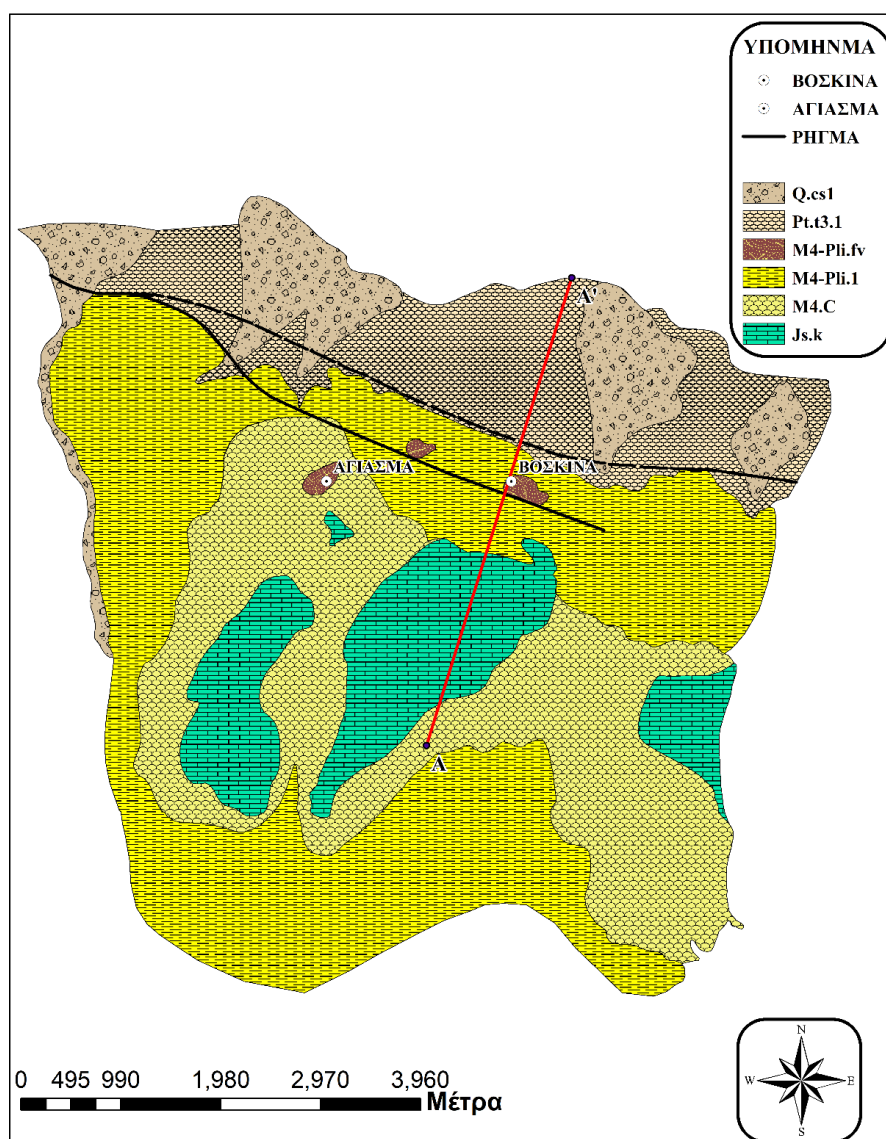
3.4 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ-ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ

Οι σχηματισμοί που παρατηρήθηκαν στην περιοχή των πηγών Βοσκίνας και Αγιάσματος από το νεότερο προς τον παλαιότερο είναι οι εξής:

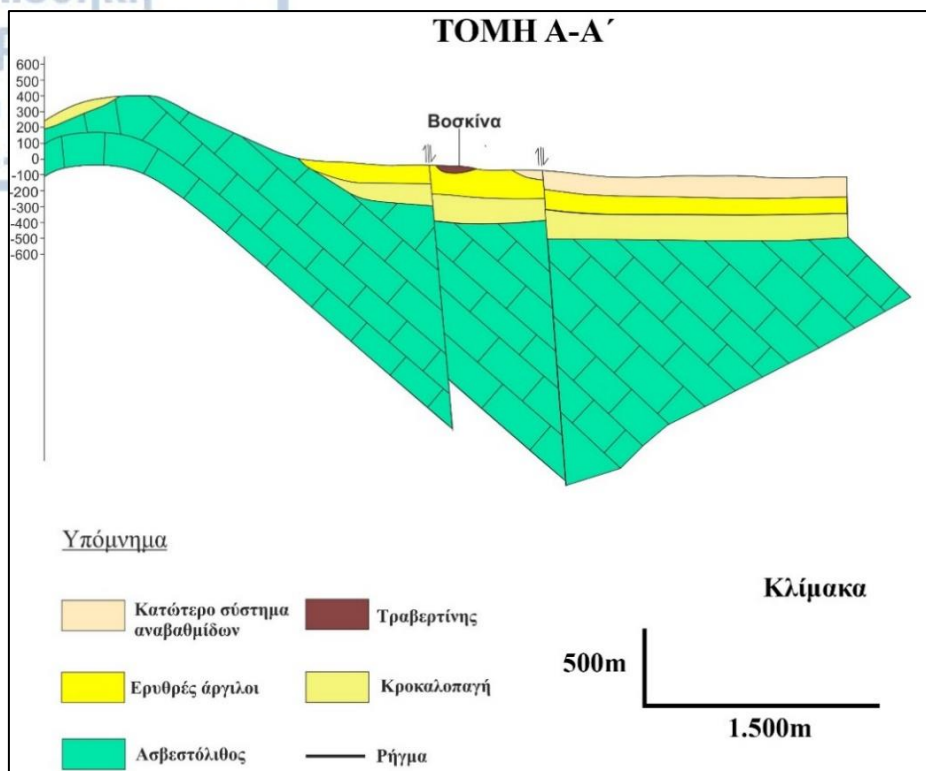
- Τραβερτίνες ηλικίας Πλειστοκαίνου. Πρόκειται για χημικούς ιζηματογενείς σχηματισμούς οι οποίοι εξ' αιτίας της διάβρωσης της περιοχής εμφανίζονται με τη μορφή καλυμμάτων πάνω στους νεογενείς σχηματισμούς (κροκαλοπαγή, ερυθρές άργιλοι). Έχουν χαρακτηριστική κοκκώδη υφή, καστανόλευκο χρώμα και λεπτή στρώση με μικρή γωνία κλίσης.
- Κροκαλοπαγή και άμμοι νεογενούς ηλικίας, με χαλαρή δομή που μεταβαίνουν πλευρικά στη σειρά ερυθρών αργίλων. Οι κροκάλες έχουν αποσπαστεί από τα πετρώματα του υποβάθρου και έχουν ποικίλη πετρογραφική σύσταση, ενώ το σχήμα, η διάταξη των κροκαλών και η διασταυρούμενη στρώση φανερώνουν ποταμοχειμάρια προέλευση.

- Σειρά ερυθρών αργίλων αποτελούμενη από στρώσεις και φακοειδείς εμφανίσεις μαργών, χαλαρών κροκαλών και άμμων καστανέρυθρου χρώματος.
- Ασβεστόλιθοι μαζώδεις, κατά θέσεις παχυστρωματώδεις, τεφροί-γκριζωποί οι οποίοι εμφανίζονται στα υψηλότερα τοπογραφικά σημεία. Επίσης είναι μερικώς ανακρυσταλλωμένοι, ενώ κατά θέσεις εμφανίζουν συστήματα διακλάσεων.

Ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής των πηγών της λεκάνης του Ανθεμούντα παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.2 και αντίστοιχα στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζεται η λιθολογική περιγραφή των σχηματισμών της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 3.2 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής των πηγών τροποποιημένος από το φύλλο Βασιλικών του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000.



Σχήμα 3.3 Γεωλογική τομή της περιοχής έρευνας

Πίνακας 3.3 Περιγραφή των σχηματισμών/πετρωμάτων της περιοχής έρευνας με σειρά από τον νεότερο στον παλαιότερο.

ΗΛΙΚΙΑ	ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)
Πλειστόκαινο	Ριπίδια προσχώσεων	Q.cs1	4,435
	Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων	Pt.t3.1	6,13
	Τραβερτίνης	M4-Pli.fv	0,20
Νεογενές	Σειρά ερυθρών αργίλων	M4-Pli.1	10,79
	Βασική σειρά κροκαλοπαγών	M4.C	6,99
Μεσοζωικό	Ασβεστόλιθοι	Js.k	3,65

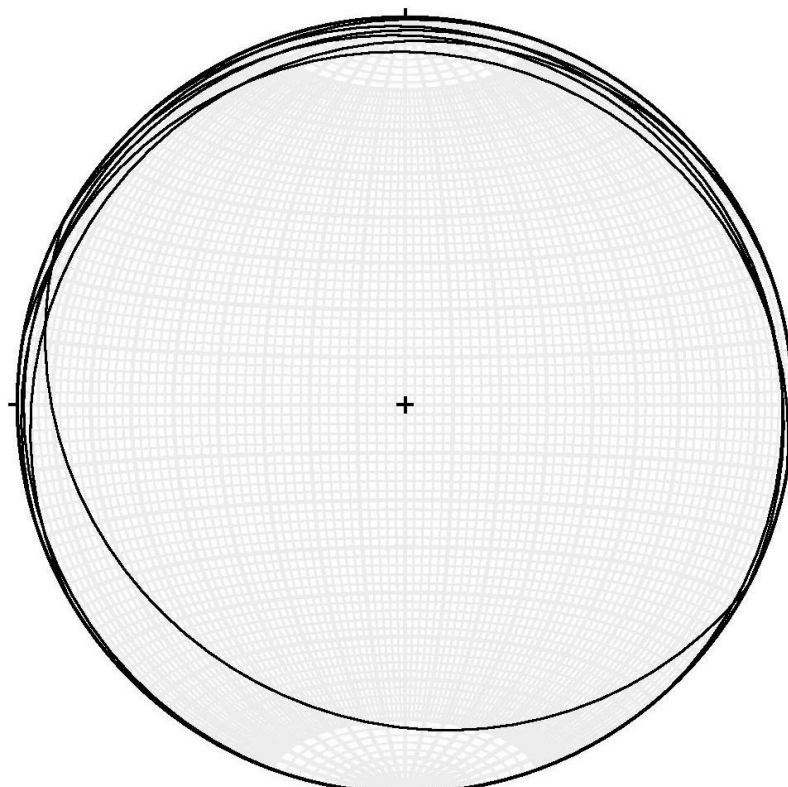
Στην περιοχή έρευνας πραγματοποιήθηκε μικρής κλίμακας χαρτογράφηση των σχηματισμών που εμφανίζονται στην περιοχή των πηγών Βοσκίνας και Αγιάσματος μεταξύ των χωριών Αγίας Παρασκευής και Σουρωτής.

Ειδικότερα μετρήθηκαν με γεωλογική πυξίδα τύπου CLAR τα γεωμετρικά στοιχεία των σχηματισμών, κλίση και διεύθυνση κλίσης της στρώσης των σχηματισμών, καθώς και τα εξής τεκτονικά στοιχεία: διακλάσεις, ρήγματα σε θέσεις που ήταν ορατά, όπως και τα όρια μεταξύ των σχηματισμών. Επιπλέον σχεδιάστηκαν αντιπροσωπευτικές γεωλογικές τομές στο πεδίο (Σχήμα 3.5), με όλα τα παραπάνω στοιχεία παρατήρησης. Όπως φαίνεται για τον τραβερτίνη (Σχήμα 3.2),

αυτός εμφανίζει μικρή – υποπαράλληλη γωνία κλίσης με εύρος 2° έως 20° (Πίνακας 3.4) και κλίνει με κατεύθυνση ΒΒΔ, ΒΒΑ και ΝΝΔ, δηλαδή προς την κατεύθυνση που κλίνει το ρήγμα του Ανθεμούντα. Επιπλέον η γωνία κλίσης της στρώσης των ασβεστολίθων όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.4 παρατηρείται παρακατακόρυφη (έως 86°), εμφανίζεται πτυχωμένος με σύστημα διακλάσεων ως αποτέλεσμα της αλπικής ορογένεσης. Όλα τα παραπάνω στοιχεία απεικονίζονται σε στεροδιαγράμματα με τη χρήση του λογισμικού stereonet.

Πίνακας 3.4 Γεωμετρικά στοιχεία της επιφάνειας κλίσης του τραβερτίνη.

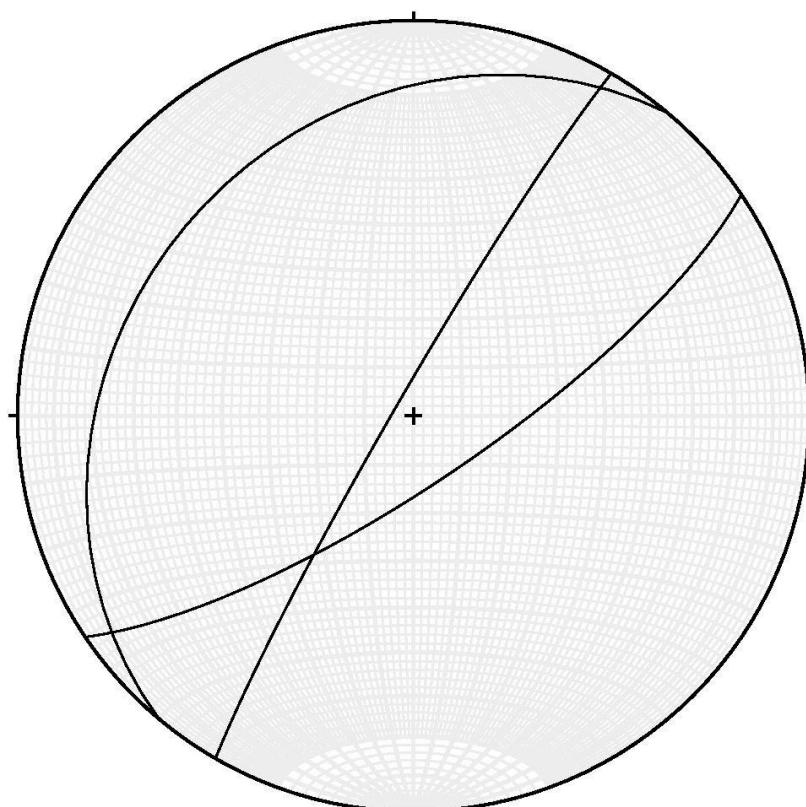
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ ($^\circ$)	ΚΛΙΣΗ ($^\circ$)
S_0	290	2
S_0	342	4
S_0	28	6
S_0	208	20
S_0	330	8
S_0	10	10
S_0	48	4



Σχήμα 3.2 Στεροδιαγραμματική απεικόνιση των γεωμετρικών στοιχείων της επιφάνειας στρώσης (S_0) του τραβερτίνη της περιοχής έρευνας.

Πίνακας 3.5 Γεωμετρικά στοιχεία της επιφάνειας κλίσης (S_0) και του συστήματος διακλάσεων (J_1) του ασβεστολίθου.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ (°)	ΚΛΙΣΗ (°)
S_0	300	86
S_0	310	26
J_1	146	76



Σχήμα 3.4 Στερεοδιαγραμματική απεικόνιση των γεωμετρικών στοιχείων της επιφάνειας στρώσης (S_0) και επιφάνειας δικλάσεων (J_1) του ασβεστολίθου της περιοχής μελέτης.



Φωτογραφία 3.1 Τραβερίνης στην πηγή «Αγίασμα» στην Αγία Παρασκευή.



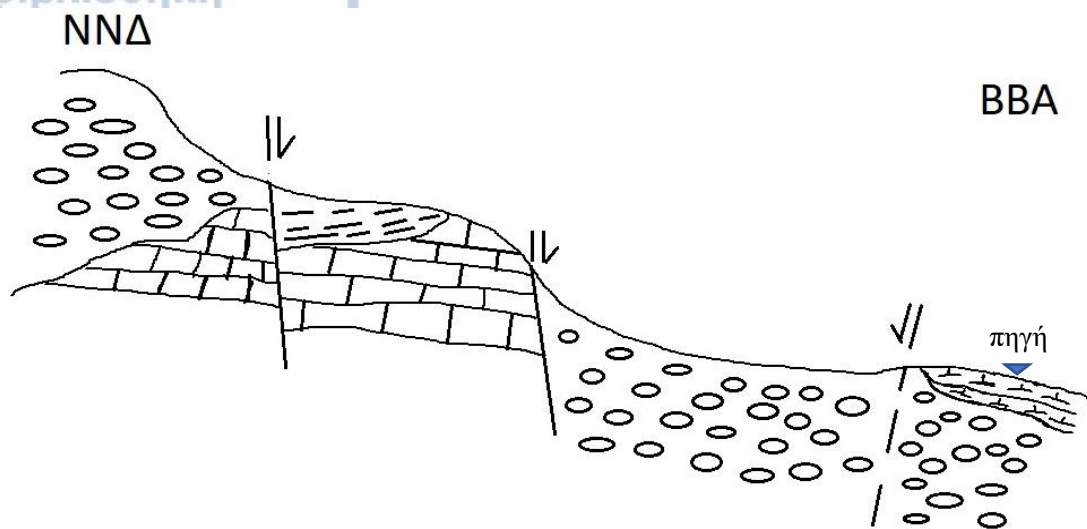
Φωτογραφία 3.2 Όριο τραβερίνη (υπερκείμενος) και κροκαλοπαγών (υποκείμενα) ΝΑ της πηγής «Βοσκίνα» στη Σουρωτή.



Φωτογραφία 3.3 Επαφή Ασβετολίθων – Σειράς Ερυθρών Αργίλων στο ύψωμα «Κορυφή» στη Σουρωτή.



Φωτογραφία 3.4 Ασβεστόλιθοι παχυστρωματώδεις, τεφροί έως γκριζωποί. Εμφανίζονται ελαφρά πτυχωμένοι και με διακλάσεις.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ	
—	ΡΗΓΜΑ
- - -	ΠΙΘΑΝΟ ΡΗΓΜΑ
⊥ ⊥ ⊥	ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ
- - -	ΣΕΙΡΑ ΕΡΥΘΡΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ
○ ○ ○	ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΗ ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΥ
⊥ ⊥ ⊥	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ

Σχήμα 3.5 Σκαριφηματική γεωλογική τομή της περιοχής των πηγών.

4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

4.1 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το κλίμα μιας περιοχής αποτελεί το σύνολο των καιρικών συνθηκών που επικρατούν σε αυτήν όπως αυτό διαμορφώνεται από τις μακροχρόνιες παρατηρήσεις των μετεωρολογικών της παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, το ύψος βροχής, η ταχύτητα του ανέμου, η σχετική υγρασία κλπ. Οι παράγοντες που κατά κανόνα καθορίζουν το κλίμα μιας περιοχής είναι οι ακόλουθοι:

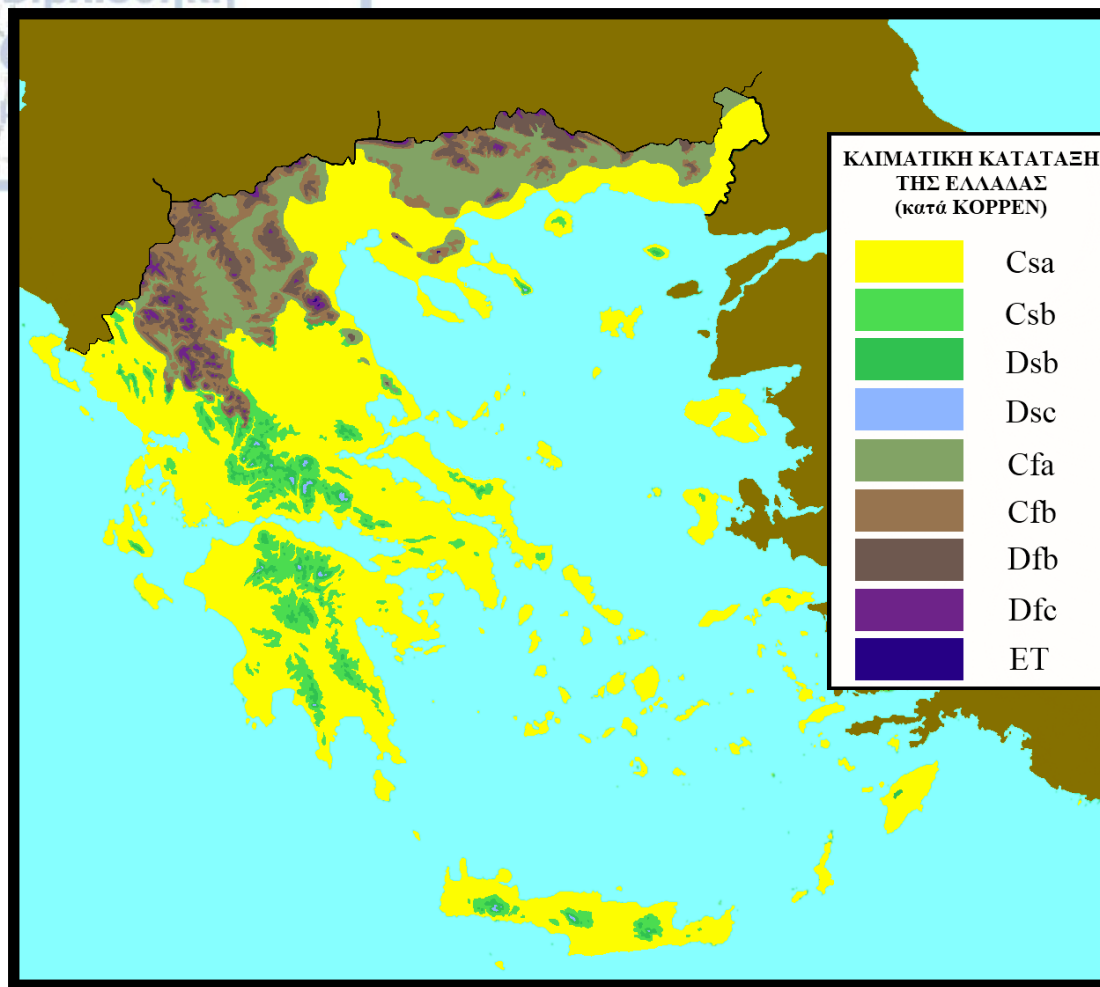
- το γεωγραφικό πλάτος
- η αναλογία ξηράς/θάλασσας
- το ανάγλυφο (υψόμετρο)

Η περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται από εύκρατο μεσογειακό κλίμα με ήπιους χειμώνες και θερμά ξηρά καλοκαίρια. Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με τον Köppen η κλιματική κατάταξη της λεκάνης του Ανθεμούντα είναι της μορφής Csa όπου:

C: δηλώνει θαλάσσιο κλίμα με μέση θερμοκρασία αέρα του θερμότερου μήνα μεγαλύτερη από 10 °C ($T_{\theta} > 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$) και μέση θερμοκρασία αέρα του ψυχρότερου μήνα μεγαλύτερη από 0 °C ($T_{\psi} > 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

s: δηλώνει θαλάσσιο ή ηπειρωτικό κλίμα με ξηρούς θερινούς μήνες όπου το ύψος βροχόπτωσης του θερμότερου μήνα του έτους είναι μικρότερο από 30mm ($P_{\theta} < 30\text{mm}$).

a: δηλώνει πολύ θερμά καλοκαίρια με μέση θερμοκρασία αέρα του θερμότερου μήνα του έτους μεγαλύτερη από 22 °C ($T_{\theta} > 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$).



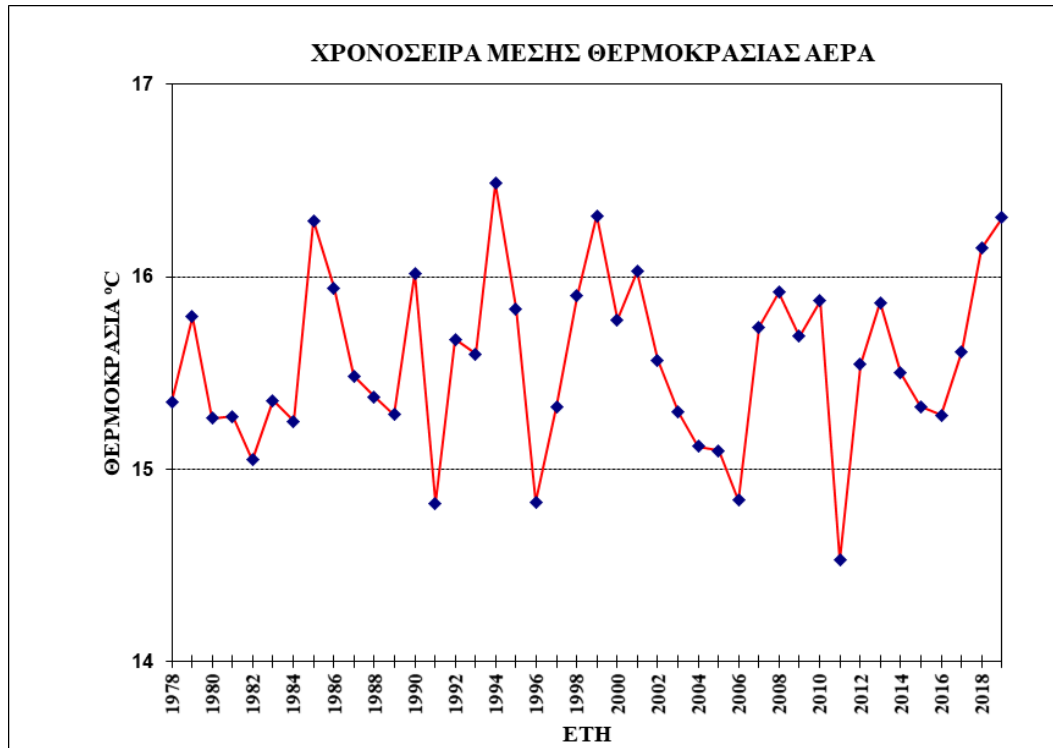
Σχήμα 4.0 Κλιματικός χάρτης της Ελλάδας κατά Köppen (πηγή: meteoclub.gr).

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα θερμοκρασιακά και βροχομετρικά δεδομένα που διαμορφώνουν το κλίμα της περιοχής έρευνας όπως αυτά παρατηρήθηκαν και αναλύθηκαν στο μετεωρολογικό σταθμό «ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ» του Ινστιτούτου Δασικών Ερευνών για την περίοδο των ετών 1978 – 2019.

Όσον αφορά στη θερμοκρασία, όπως φαίνεται στα Σχήματα 4.2 και 4.3, προκύπτει για την περιοχή έρευνας ότι το θερμότερο έτος ήταν το 1994 με μέση θερμοκρασία αέρα 16,5 °C, ενώ το πιο ψυχρό έτος προέκυψε το 2011 με μέση ετήσια θερμοκρασία 14,5 °C. Η μέση τιμή της ετήσιας θερμοκρασίας αέρα για το σύνολο των ετών παρατήρησης υπολογίστηκε ίση με 15,6 °C (Πίνακας 4.1). Επιπλέον ο πιο ψυχρός μήνας αποδεικνύεται ο Ιανουάριος με μέση θερμοκρασία 5.2 °C και ο πιο θερμός ο Ιούλιος με μέση θερμοκρασία 26,6 °C. Η μέση μέγιστη θερμοκρασία υπολογίστηκε ίση με 21,3 °C, ενώ η μέση ελάχιστη βρέθηκε ίση με 9,3 °C.

Σχετικά με το ύψος βροχής για την ίδια περίοδο (1978 – 2019), όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.6 το πιο υγρό έτος αναδείχτηκε το 2014 με συνολικό ύψος βροχόπτωσης 849 mm, ενώ το πιο ξηρό έτος βρέθηκε το 1993 με συνολικό ύψος βροχής 225 mm. Η μέση τιμή του ύψους βροχής για την περιοχή υπολογίστηκε ίση με 475 mm. (Πίνακας

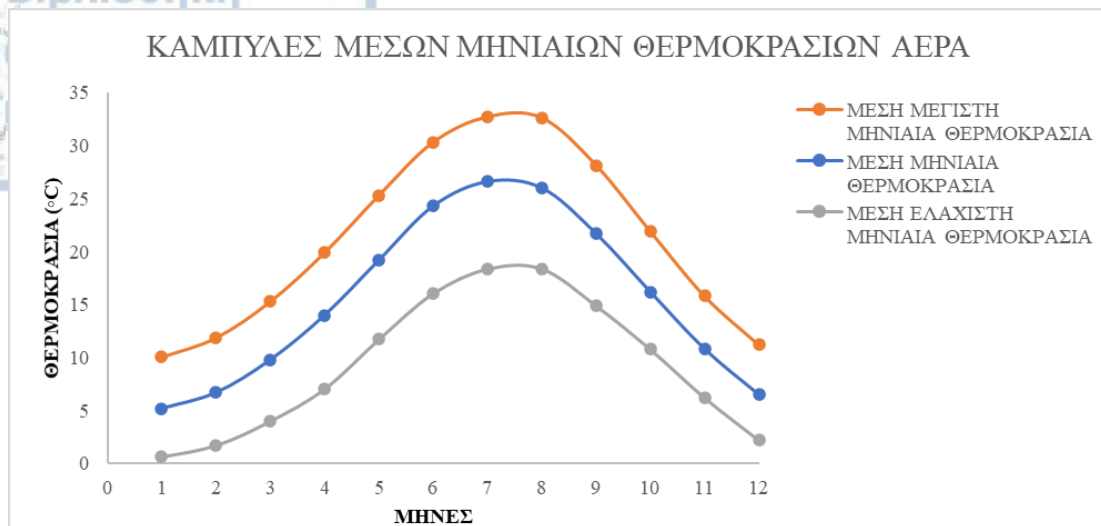
4.2). Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.5, ο πιο υγρός μήνας του έτους παρατηρείται ο Νοέμβριος με μέσο ύψος βροχής 55 mm. , ενώ ο πιο ξηρός βρέθηκε ο Αύγουστος με μέσο ύψος βροχής 24 mm. Επίσης διαπιστώνεται ότι το ύψος βροχής για τη χρονοσειρά παρατήρησης παρουσιάζει αυξητική τάση (Σχήμα 4.6).



Σχήμα 4.1 Μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα των ετών παρατήρησης 1978-2019.

Πίνακας 4.1 Στατιστικά στοιχεία της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας για την περίοδο 1978-2019.

ΕΤΗ	1978-2019
ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΤΗΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	16,5
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΤΗΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ(°C)	14,5
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	15,6
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (°C)	0,45



Σχήμα 4.2 Μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα για την χρονοσειρά παρατήρησης των ετών 1978 - 2019.

Πίνακας 4.2 Τιμές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας των ετών 1978 – 2019.

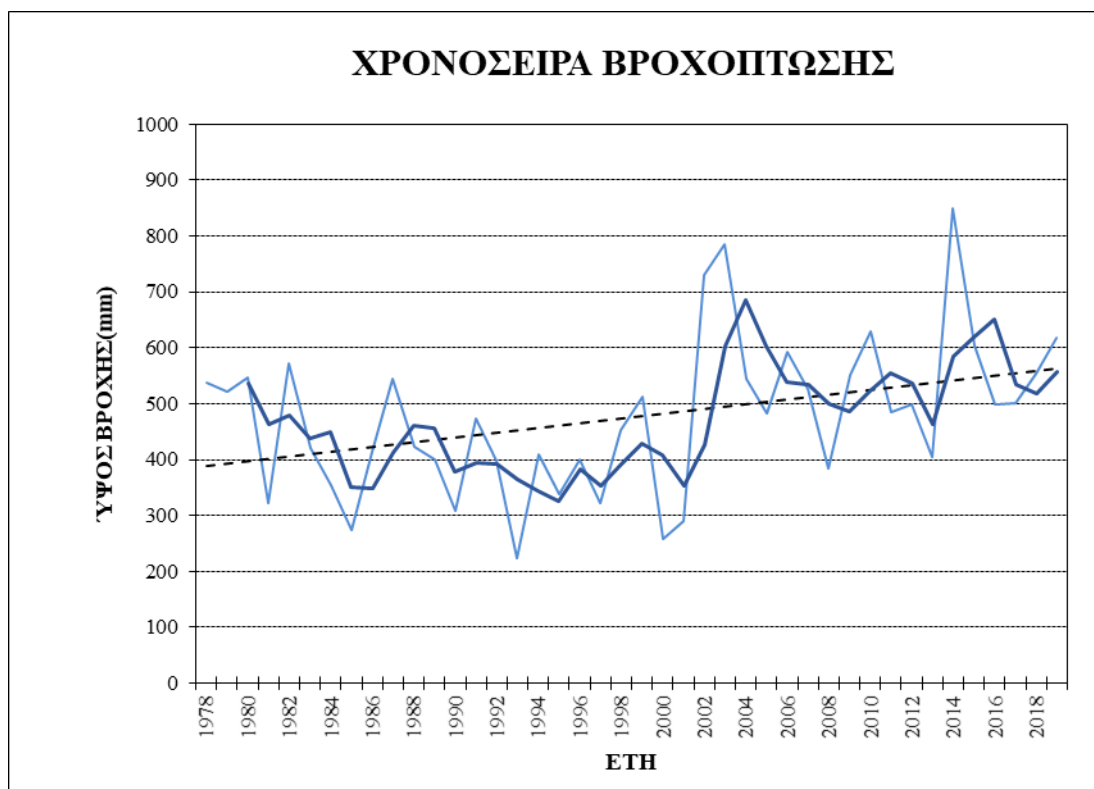
ΜΗΝΑΣ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Μ.Ο
ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	5.2	6.7	9.8	14	19.2	24.3	26.6	26	21.7	16.2	10.8	6.5	15.6
ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	10.1	11.9	15.3	19.9	25.3	30.3	32.7	32.6	28.14	21.9	15.8	11.2	21.3
ΜΕΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	0.6	1.7	4.0	7.0	11.7	16.0	18.3	18.4	14.9	10.8	6.2	2.2	9.3



Σχήμα 4.3 Μέσο μηνιαίο ύψος βροχής για τα έτη παρατήρησης 1978-2019.

Πίνακας 4.3 Μέσες μηνιαίες τιμές βροχοπτώσεων των ετών 1978-2019.

ΜΗΝΑΣ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Μέση τιμή ύψους βροχής (mm)	32	37	38	39	46	39	31	24	39	44	55	53



Σχήμα 4.4 Χρονοσειρά ετήσιου ύψους βροχής του σταθμού «ΛΟΥΤΡΑ» για το διάστημα 1978-2019. Με διακεκομμένη γραμμή απεικονίζεται η γραμμική τάση και η γραμμή με σκούρο μπλε χρώμα αντιστοιχεί στον κινούμενο μέσο όρο 3 ετών.

Πίνακας 4.4 Στατιστικά στοιχεία της ετήσιας βροχόπτωσης για τα έτη 1978-2019.

ΕΤΗ	1978-2019
ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)	849
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)	225
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	475
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (mm)	136

Λαμβάνοντας υπ' όψη τα παραπάνω κλιματολογικά δεδομένα είναι δυνατό για την περιοχή έρευνας να υπολογιστεί ο δείκτης ξηρότητας de Martone ο οποίος έχει τοπικό χαρακτήρα και ορίζεται από τη Σχέση 4.1 :

$$I = \frac{P}{T+10} \quad (\text{Σχέση 4.1})$$

Όπου: P = μέσο ετήσιο ύψος βροχής

T = μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα (°C)

Με βάση την τιμή του δείκτη I προκύπτει η παρακάτω ταξινόμηση (Πίνακας 4.5):

Πίνακας 4.5 Κλιματική ταξινόμηση κατά de Martone.

Τύπος κλίματος	Τιμές του I	Τιμές του P (mm)
Ξηρό ή ερημικό	$I < 10$	$P < 200$
Ημίξηρο	$10 \leq I \leq 20$	$200 \leq P < 400$
Μεσογειακό	$20 \leq I \leq 24$	$400 \leq P < 500$
Ημίυγρο	$24 \leq I \leq 28$	$500 \leq P < 600$
Υγρό	$28 \leq I \leq 35$	$600 \leq P < 700$
Πολύ υγρό	α. $I > 55$ β. $35 \leq I \leq 55$	$700 \leq P < 800$ β. $P > 800$

Ο δείκτης I για την περιοχή έρευνας κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1978 – 2019 υπολογίστηκε ίσος με 18,5 και αντιστοιχεί σε ημίξηρο κλίμα, ενώ σύμφωνα με το μέσο ετήσιο ύψος βροχής (P = 475 mm) το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται μεσογειακού τύπου.



Εικόνα 4.5 Μετεωρολογικός σταθμός «ΕΛΓΟ - ΔΗΜΗΤΡΑ» του Ινστιτούτου Δασολογικών Ερευνών.

4.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Το υδρολογικό ισοζύγιο μιας λεκάνης απορροής αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για το σχεδιασμό των υδρομαστευτικών έργων και της συνολικής στρατηγικής διαχείρισης των υδατικών πόρων της λεκάνης. Εκφράζει τις φυσικές διαδικασίες της κυκλοφορίας του νερού από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της γης και αντίστροφα σύμφωνα με την μαθηματική εξίσωση:

$$P = E + R + I$$

- **P**= ο συνολικός υετός (Precipitation)
- **E**= η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (Evapotranspiration)
- **R**= η επιφανειακή απορροή (Runoff)
- **I**= η κατείσδυση (Infiltration)

Οι συνθήκες από τις οποίες εξαρτάται το υδρολογικό ισοζύγιο μιας λεκάνης απορροής είναι: α) κλιματικές (βροχόπτωση, θερμοκρασία), β) γεωλογικές (είδη πετρωμάτων, τεκτονική), γ) γεωμορφολογικές (κλίση, ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου), δ) είδος βλάστησης, ε) ανθρώπινη δραστηριότητα (αποψίλωση δασικών εκτάσεων, αντλήσεις).

Για την περιοχή των πηγών το υδρολογικό ισοζύγιο υπολογίστηκε σύμφωνα με τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού Ινστιτούτου Δασικών ερευνών «Ι.Δ.Ε. – ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ» συνεχόμενα για την περίοδο των ετών 2018, 2019 και 2020. Για την περιοχή των πηγών έρευνας επιλέχτηκε η μέθοδος ισοζυγίου Thornthwaite-Mather. Η μέθοδος αυτή είναι έγκυρη για υγρές περιοχές με βλάστηση και χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν για τη λεκάνη του Ανθεμούντα προσφέροντας ικανοποιητικά αποτελέσματα (Ναγκούλης, 2009; Καζάκης, 2013).

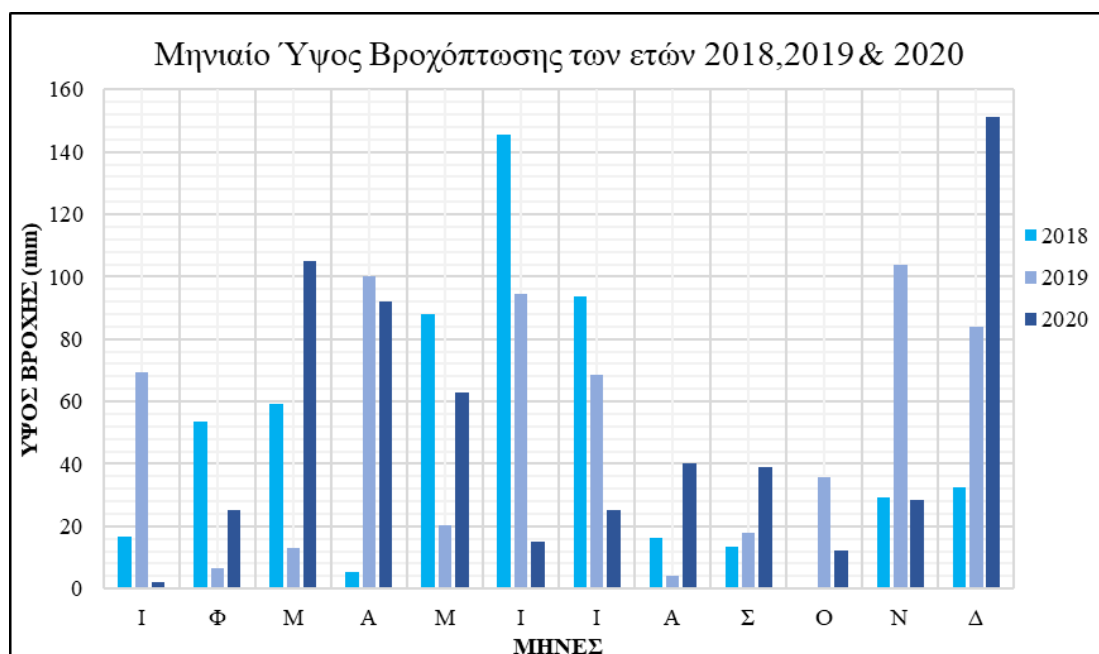
4.2.1 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ

Η παράμετρος των κατακρημνισμάτων (precipitation) υπολογίστηκε για τα έτη 2018, 2019 και 2020. Σχετικά με το έτος 2018 το συνολικό ύψος βροχής που σημειώθηκε ήταν 554 mm. Ο πιο υγρός μήνας παρατηρήθηκε ο Ιούνιος με ύψος βροχής ίσο με 145 mm, ενώ ο ξηρότερος μήνας προκύπτει ο Οκτώβριος κατά τον οποίο δεν σημειώθηκαν βροχοπτώσεις. Επίσης το 2018 ήταν συγκριτικά το ξηρότερο έτος. Για το έτος 2019 το συνολικό ετήσιο ύψος βροχής μετρήθηκε ίσο με 618 mm και ήταν πιο υγρό σε σχέση με τα άλλα δύο εξεταζόμενα έτη. Ο υγρότερος μήνας για

το έτος 2019 παρατηρήθηκε ο Νοέμβριος με ύψος βροχής ίσο με 104 mm και ο ξηρότερος μήνας για αυτό το έτος σημειώθηκε ο Αύγουστος με ύψος βροχής 4 mm. Τέλος όσον αφορά στη βροχόπτωση κατά το έτος 2020, το συνολικό ετήσιο ύψος βροχής μετρήθηκε ίσο με 599 mm. Ο υγρότερος μήνας αναδείχτηκε ο Δεκέμβριος κατά τον οποίο σημειώθηκαν 151 mm βροχής, ενώ ο ξηρότερος μήνας με ελάχιστες βροχοπτώσεις ήταν ο Ιανουάριος με αθροιστικό ύψος βροχής 2 mm. Τα μηνιαία βροχομετρικά δεδομένα για τα έτη 2019 και 2020 παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.7 και στο Σχήμα 4.8.

Πίνακας 4.6 Μηνιαίο ύψος βροχής των υδρολογικών ετών 2019 - 2020.

ΕΤΟΣ/ΜΗΝΑΣ	ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm)											
	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
2017	17	54	59	5	88	145	94	16	13	0	29	32
2019	69	6	13	100	20	94	69	4	18	36	104	84
2020	2	25	105	92	63	15	25	40	39	12	29	151



Σχήμα 4.8 Διακύμανση του μηνιαίου ύψους βροχής για τα έτη 2018,2019 και 2020.

4.2.2 ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration) είναι το φαινόμενο κατά το οποίο εξ' αιτίας της ηλιακής ενέργειας προκαλείται μετατροπή της φυσικής κατάστασης του νερού από την υγρή στην αέρια μορφή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το νερό να επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισης από τα υδάτινα περιβάλλοντα (λίμνες, ποτάμια, θάλασσα) και από την επιφάνεια του εδάφους, καθώς και μέσω της διαπνοής από τα φυλλώματα των φυτών. Σημειώνεται ότι το χρώμα και

η ικανότητα ανάκλασης (φωταύγεια ή albedo) του εδάφους επηρεάζει το δυναμικό της εξάτμισης ενώ έχει παρατηρηθεί ότι η εξάτμιση είναι μεγαλύτερη στα εδάφη που είναι εκτεθειμένα στον ήλιο σε σχέση με τα σκιασμένα εδάφη. Δυνητική εξατμισοδιαπνοή ονομάζεται η ποσότητα του νερού που αναμένεται να εξατμιστεί εφ' όσον υπάρχουν διαθέσιμες ποσότητες και εξαρτάται από μετεωρολογικούς παράγοντες με κυρίαρχο τη θερμοκρασία. Άλλοι παράγοντες είναι ο άνεμος και η τάση υδρατμών. Για την περιοχή μελέτης όπως αναφέρθηκε, επιλέχθηκε η μέθοδος Thornthwaite, σύμφωνα με την οποία υπολογίζεται η μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm (E_{Δ}) σύμφωνα με τη Σχέση (4.2):

$$E_{\Delta} = 16 \cdot \left(\frac{10T}{I} \right)^{\alpha} \times n \quad (\text{Σχέση 4.2})$$

όπου:

$$I = \sum_{i=n}^{n=12} \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

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

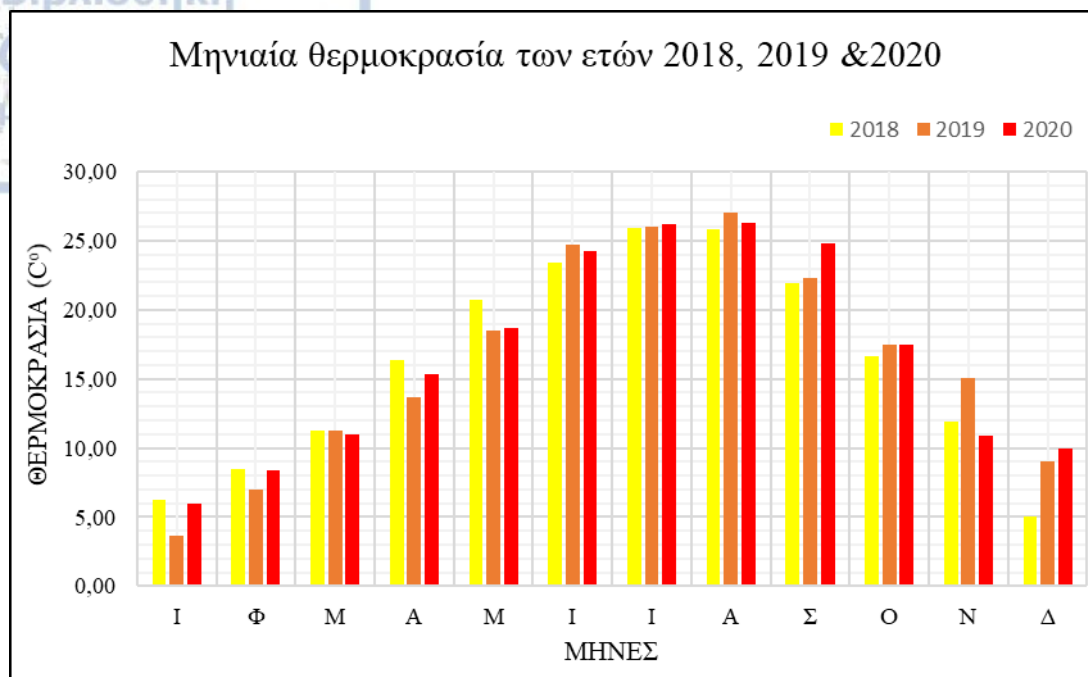
- T = μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα σε $^{\circ}\text{C}$
- I = ετήσιος θερμικός δείκτης
- α = συντελεστής
- n = συντελεστής διόρθωσης γεωγραφικού πλάτους

Σύμφωνα με τα δεδομένα θερμοκρασίας του σταθμού για το έτος 2018 ο ετήσιος θερμικός δείκτης I και ο συντελεστής α υπολογίστηκαν ίσοι με 76,41 και 1,71 αντίστοιχα, ενώ για το έτος 2019 ο θερμικός δείκτης βρέθηκε ίσος με 77,86 και ο συντελεστής α ίσος με 1,74. Αναφορικά με το 2020, ο ετήσιος θερμικός δείκτης προέκυψε ίσος με 79,86 και ο δείκτης α ίσος με 1,76. Για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης εδαφικής υγρασίας (Δ.Ε.Υ) ή μέγιστη υδατοϊκανότητα του εδάφους για κάθε μήνα του έτους. Ο δείκτης αυτός αντιπροσωπεύει την ικανότητα του εδάφους να δεσμεύει ποσότητα νερού η οποία αυξάνει το ποσό της εξατμισοδιαπνοής για τους μήνες εκείνους όπου η βροχόπτωση είναι μικρότερη από τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή ($P < E_{\Delta}$). Για την περιοχή ενδιαφέροντος, η τιμή του δείκτη εδαφικής υγρασίας ορίστηκε ίσος με 79 mm. Αυτή η τιμή προέκυψε από την εμφάνιση νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών της περιοχής, καθώς και από τη βιβλιογραφία (Καζάκης, 2013). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ορίζεται ότι από την αρχή κάθε έτους το έδαφος έχει ικανοποιήσει τις ανάγκες

του σε νερό ($\Delta.E.Y. = \Delta.E.Y.max$) (Βουδούρης, 2009). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι στο τέλος κάθε έτους η κατακράτηση υγρασίας του εδάφους θα πρέπει να είναι η μέγιστη. Όσον αφορά στο έτος 2018 η τιμή του $\Delta.E.Y.$ του Δεκεμβρίου ήταν ίση με 27,52 (βλ. Πίνακα 4.7), επομένως έλειπαν 51,5 mm ώστε το έδαφος να κορεστεί σε υγρασία. Το γεγονός αυτό δημιουργεί πλεόνασμα στο ισοζύγιο του ίδιου έτους και έλλειμμα στο ισοζύγιο του έτους 2019. Για το λόγο αυτόν επιλέχθηκε η τιμή αυτή (51,5 mm) να αφαιρεθεί από την πραγματική εξατμισοδιαπνοή του 2018 και να προστεθεί στην ετήσια ολική απορροή του έτους 2019, ώστε τα ισοζύγια των δύο αυτών ετών να είναι ισορροπημένα. Όπως φαίνεται για το έτος 2018 οι μέγιστες μηνιαίες βροχοπτώσεις σημειώθηκαν κατά τους θερινούς μήνες Ιούνιο και Ιούλιο (145 mm και 94 mm αντίστοιχα) που μαζί αντιστοιχούν στο 43% της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης. Στο γεγονός αυτό οφείλεται το υψηλό ποσοστό εξατμισοδιαπνοής, ίσο με 86,9% και το επακόλουθο χαμηλό ποσοστό της ολικής απορροής, ίσο με 13,1% της ετήσιας βροχόπτωσης. Όσον αφορά στο έτος 2019, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ήταν ίση με 470,87 mm η οποία αντιστοιχεί σε ποσοστό 76,2% της ετήσιας βροχόπτωσης. Τέλος για το έτος 2020 η πραγματική εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε ίση με 424,58 mm όπου αντιστοιχεί στο 71,2% της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης. Η τιμή αυτή είναι η μικρότερη συγκριτικά με τα υπόλοιπα έτη σε ποσοστό και mm βροχής, και αυτό συμβαίνει επειδή οι υψηλότερες μηνιαίες βροχοπτώσεις σημειώθηκαν κατά τους χειμερινούς και εαρινούς μήνες, όπου η δυνητική εξατμισοδιαπνοή έχει χαμηλές τιμές και το έδαφος έχει κορεσθεί σε υγρασία. Ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής για τα έτη 2018, 2019 και 2020 παρουσιάζεται στους Πίνακες 4.8, 4.9 και 4.10 αντίστοιχα. Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του αέρα για τα έτη 2018, 2019 και 2020 παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.7 και στο Σχήμα 4.8.

Πίνακας 4.7 Μέση μηνιαία θερμοκρασία των ετών 2018, 2019 και 2020

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ/ΜΗΝΑΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)												
	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Μ.Ο
2018	6,25	8,47	11,22	16,40	20,75	23,44	25,91	25,82	21,91	16,64	11,87	5,09	16,1
2019	3,62	7,04	11,25	13,66	18,47	24,76	26,03	27,04	22,34	17,49	15,05	9,00	16,3
2020	5,95	8,35	11,00	15,35	18,70	24,30	26,20	26,30	24,80	17,50	10,90	10,00	16,6



Σχήμα 4.8 Διακύμανση μηνιαίας θερμοκρασίας υδρολογικών ετών 2018-2019 και 2019-2020

Πίνακας 4.8 Υπολογισμός της μηνιαίας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Thornthwaite & Mather στο σταθμό του Ι.Δ.Ε. ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ για το έτος 2018.

	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Σύνολο
P	16,60	53,60	59,40	5,40	88,20	145,40	93,80	16,40	13,40	0,00	29,40	32,40	554,00
T	6,25	8,47	11,22	16,40	20,75	23,44	25,91	25,82	21,91	16,64	11,87	5,09	
n	0,84	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,80	
i	1,40	2,22	3,40	6,04	8,62	10,37	12,07	12,01	9,37	6,17	3,70	1,03	
E _λ	9,53	15,84	31,81	65,66	110,68	137,49	164,54	153,23	101,10	58,25	27,90	6,38	882,41
E _π	9,53	15,84	31,81	65,66	106,94	137,49	101,71	16,40	13,40	0,00	27,90	6,38	481,60
ΔΕΥ	79,00	79,00	79,00	18,74	0,00	7,91	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	27,52	
Q	7,04	37,78	27,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,56

Πίνακας 4.9 Υπολογισμός της μηνιαίας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Thornthwaite & Mather στο σταθμό του Ι.Δ.Ε. ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ για το έτος 2019.

	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Σύνολο
P	69,20	6,40	13,00	100,20	20,40	94,40	68,60	4,00	18,00	35,60	104,00	84,00	618,0
T	3,62	7,04	11,25	13,66	18,47	24,76	26,03	27,04	22,34	17,49	15,05	9,00	
n	0,84	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,80	
i	0,61	1,68	3,41	4,58	7,23	11,27	12,16	12,88	9,64	6,66	5,30	2,43	
E _λ	3,55	11,14	31,26	47,21	89,79	150,76	165,76	165,91	104,03	62,74	41,25	16,47	889,85
E _π	3,55	11,14	31,26	47,21	89,79	104,01	68,60	4,00	18,00	35,60	41,25	16,47	470,87
ΔΕΥ	79,00	74,26	55,99	79,00	9,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62,75	79,00	
Q	14,17	0,00	0,00	29,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	51,29	146,9

Πίνακας 4.10 Υπολογισμός της μηνιαίας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Thornthwaite & Mather στο σταθμό του Ι.Δ.Ε. ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ για το έτος 2020.

	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	Σύνολο
P	2,00	25,00	105,00	92,20	63,00	15,00	25,00	40,00	39,00	12,20	26,80	151,40	596,60
T	5,95	8,35	11,00	15,35	18,70	24,30	26,20	26,30	24,80	17,50	10,90	10,00	
n	0,84	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,80	
i	1,30	2,17	3,30	5,46	7,37	10,95	12,28	12,35	11,30	6,66	3,25	2,86	
E _α	8,10	14,56	29,39	57,01	90,95	145,55	167,54	158,05	124,53	62,14	23,02	19,29	900,13
E _π	8,10	14,56	29,39	90,95	66,05	25,00	40,00	47,52	39,00	12,20	23,02	19,29	424,58
ΔΕΥ	72,90	79,00	79,00	79,00	51,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,78	79,00	
Q	0,00	4,33	75,61	35,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,89	172,02

Με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών υπολογίστηκε το εμβαδόν της περιοχής, ίσο με 32,2 km² και κατόπιν ο συνολικός όγκος της βροχόπτωσης, της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, καθώς και της ολικής απορροής για τα έτη 2018, 2019 και 2020, καθώς και για τα υδρολογικά έτη 2018 – 2019 και 2019 – 2020 όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.11 και 4.12.

Πίνακας 4.11 Βροχόπτωση, εξατμισοδιαπνοή και ολική απορροή σε m³ για τα έτη 2018, 2019 και 2020.

Έτος	P (10 ⁶ × m ³)	E _π (10 ⁶ × m ³)	Q (10 ⁶ × m ³)
2018	17,84	15,51	2,33
2019	19,89	15,16	4,73
2020	19,21	13,67	5,54
Σύνολο	56,94	44,34	12,6

Πίνακας 4.12 Βροχόπτωση, εξατμισοδιαπνοή και ολική απορροή σε m³ για τα υδρολογικά έτη 2018 - 2019 και 2019 - 2020.

Υδρολογικό έτος	P (10 ⁶ × m ³)	E _π (10 ⁶ × m ³)	Q (10 ⁶ × m ³)
2018 - 2019	14,68	13,26	1,42
2019 - 2020	20,28	14,92	5,36

4.2.3 ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ

Κατείσδυση ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία το μετεωρικό νερό υπό την επίδραση της βαρύτητας και των τριχοειδών δυνάμεων εισέρχεται από τα κενά των κόκκων των σχηματισμών και των αποθέσεων στους υπόγειους υδροφορείς εμπλουτίζοντας τους και ανανεώνοντας τα υδατικά τους αποθέματα.

Η ικανότητα της κατείσδυσης σε μια περιοχή εξαρτάται από γεωγραφικούς παράγοντες όπως η κλίση της γήινης επιφάνειας, η γεωλογία της περιοχής (λιθολογία,

τεκτονική της περιοχής κ.λπ.) και από μετεωρολογικούς παράγοντες όπως η διάρκεια και η ένταση των βροχοπτώσεων. Ισχύει ότι οι μεγάλες κλίσεις ευνοούν περισσότερο την επιφανειακή απορροή σε σχέση με την κατείσδυση. Στα αδρόκοκκα εδάφη διευκολύνεται η κατείσδυση σε αντίθεση με τα λεπτόκοκκα, ενώ επίσης το δυναμικό κατείσδυσης μειώνεται με το χρόνο όταν η βροχόπτωση είναι σταθερής έντασης (Horton, 1937). Τα διάφορα είδη πετρωμάτων και σχηματισμών εμφανίζουν διαφορετικό συντελεστή κατείσδυσης ο οποίος προσδιορίζεται γενικά σύμφωνα με τη σχέση (4.3), όπου:

$$I (\%) = I / P \times 100$$

Όπου: I= ετήσια κατείσδυση,

P= ετήσια βροχόπτωση.

Σε μια υδρολογική λεκάνη, η οποία καλύπτεται από ένα σύνολο σχηματισμών υπολογίζεται ο μέσος συντελεστής κατείσδυσης σύμφωνα με τη σχέση (4.4):

$$I_{\mu} = (I_1 E_1 + I_2 E_2 + \dots + I_n E_n) / E_{\text{ολ}}$$

όπου I_{μ} = ο μέσος συντελεστής κατείσδυσης της λεκάνης απορροής, I_1 , I_2 , I_n = οι συντελεστές κατείσδυσης των αντίστοιχων σχηματισμών, E_1 , E_2 , E_n = το εμβαδό των αντίστοιχων σχηματισμών.

Η συνολική έκταση της περιοχής των πηγών που λήφθηκε υπ' όψη για τη σύνταξη του υδρολογικού ισοζυγίου υπολογίστηκε με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και είναι όπως αναφέρθηκε ίση με 32,2 km². Για το σύνολο των σχηματισμών της περιοχής των πηγών παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή κατείσδυσης (Καζάκης 2013), καθώς και η έκτασή τους η οποία υπολογίστηκε με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.13. Οι ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν το μεγαλύτερο συντελεστή κατείσδυσης με τιμή 0,55, ενώ το χαμηλότερο συντελεστή κατείσδυσης εμφανίζει η σειρά ερυθρών αργίλων με τιμή 0,12.

Πίνακας 4.13 Χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή κατείσδυσης των σχηματισμών της περιοχής των πηγών (από τον Καζάκη 2013) και το εμβαδό του καθενός σχηματισμού.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ	Εμβαδό (km ²)
Ριπίδια προσχώσεων	0,15	4,435
Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων	0,15	6,13
Τραβερτίνης	0,2	0,20
Σειρά ερυθρών αργίλων	0,12	10,79
Βασική σειρά κροκαλοπαγών	0,2	6,99
Ασβεστόλιθοι	0,55	3,65

Η επιφανειακή απορροή αντιπροσωπεύει την ποσότητα του νερού η οποία συγκεντρώνεται στο υδρογραφικό δίκτυο (ρέματα, χείμαρροι, ποταμοί) αποστραγγίζοντας την περιοχή και οδηγείται προς τη θάλασσα. Εξαρτάται από παράγοντες όπως:

- *Κλιματικοί παράγοντες* που αφορούν την ποσότητα και το είδος των κατακρημνισμάτων (βροχή, χιόνι, χαλάζι) καθώς και από την ένταση της βροχής. Σημειώνεται ότι όσο αυξάνεται ο ρυθμός ενός επεισοδίου βροχής, αυξάνεται και η απορροή.
- *Γεωμορφολογικοί παράγοντες* όπως η κλίση και το σχήμα της λεκάνης απορροής. Στα περιθώρια των λεκανών όπου οι κλίσεις είναι μεγαλύτερες σε σχέση με το εσωτερικό τους καταγράφονται μεγαλύτερες τιμές απορροής. Επίσης σε λεκάνες μακρόστενου σχήματος (όπως η λεκάνη του Ανθεμούντα) η απορροή διανύει συγκριτικά μεγαλύτερη απόσταση σε σχέση με τις λεκάνες κυκλικού σχήματος.
- *Γεωλογικοί παράγοντες που αναφέρονται στη λιθολογία των πετρωμάτων των λεκανών.* Λεκάνες όπου εντοπίζονται υδατοστεγανά πετρώματα (φλύσχης, φυλλίτης, αργιλικός σχιστόλθος, κ.ά.) η απορροή είναι μεγαλύτερη σε σχέση με λεκάνες όπου εμφανίζονται υδροπερατοί σχηματισμοί (ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες κ.α.) στις οποίες κατεisdύουν μεγαλύτερες ποσότητες νερού. Η μέγιστη υδατοϊκανότητα του εδάφους που αναφέρθηκε παραπάνω επηρεάζει την ποσότητα του νερού που απορρέει αφού το έδαφος πρέπει κατά συνθήκη να ικανοποιήσει πρώτα τις ανάγκες του σε νερό ώστε να λάβει χώρα η απορροή
- *Βλάστηση και χρήσεις γης.* Έχει παρατηρηθεί ότι στις περιοχές με πυκνή φυτοκάλυψη κατακρατούν αυξημένη ποσότητα νερού οι ρίζες των φυτών.

Επιπλέον η ανθρώπινη δραστηριότητα (καλλιέργειες, τεχνικές κατασκευές) έχει επίδραση στην απορροή.

Η επιφανειακή απορροή υπολογίζεται με τη χρήση μυλίσκων, ηλεκτρικών οργάνων (flowtrackers), με την εγκατάσταση σταθμηγράφων, καθώς και με τη χρήση χημικών ουσιών (tracers). Στην περιοχή έρευνας η παράμετρος αυτή παρουσιάζει περιοδική εμφάνιση ανάλογα με τα διαθέσιμα κατακρημνίσματα καθώς και με την εποχή. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας η παράμετρος αυτή υπολογίστηκε από την εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου με γνωστές τις υπόλοιπες παραμέτρους. Επιπλέον, υπολογίστηκε και η ολική απορροή η οποία αποτελεί το άθροισμα μεταξύ κατείσδυσης και επιφανειακής απορροής.

4.2.4 ΣΥΝΤΑΞΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

Το υδρολογικό ισοζύγιο συντάχθηκε με συνεχή τρόπο για τα έτη 2018 – 2020, καθώς και για τα υδρολογικά έτη 2018 – 2019 και 2019 – 2020. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.14, 4.15 και 4.16 και προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Το ποσοστό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής υπολογίστηκε ίσο με 80,78% συνολικά για τα έτη 2018 – 2020, γεγονός που οφείλεται στο μεγάλο ποσοστό εξατμισοδιαπνοής του έτους 2018.
- Για το υδρολογικό έτος 2018 – 2019 το ποσοστό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής υπολογίστηκε ίσο με 90,32%. Το μεγάλο αυτό ποσοστό οφείλεται στη μικρή βροχόπτωση κατά τους χειμερινούς και φθινοπωρινούς μήνες, καθώς και κατά το μήνα Μάρτιο. Κατά συνέπεια προέκυψε αυξημένη η εξατμισοδιαπνοή σε βάρος της ολικής απορροής.
- Δεν παρατηρείται απορροή (υπόγεια και επιφανειακή) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους παρά μόνο κατά την υγρή περίοδο (Οκτώβριος – Μάιος), οπότε το έδαφος κατακρατά τη μέγιστη ποσότητα υγρασίας ενώ ταυτόχρονα η εξατμισοδιαπνοή ως αποτέλεσμα της χαμηλής θερμοκρασίας παρατηρείται μικρότερη.
- Κατά τους θερινούς μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, το σύνολο των κατακρημνισμάτων χάνονται από τις διαδικασίες της εξατμισοδιαπνοής. Το ίδιο

ισχύει και για τους μήνες του Φθινοπώρου όπου το βρόχινο νερό είτε εξατμίζεται είτε δεσμεύεται από το έδαφος ως νερό κατακράτησης.

- Για την εγκυρότερη σύνταξη του υδρολογικού ισοζυγίου απαιτείται η εγκατάσταση μετεωρολογικών σταθμών σε διαφορετικά υψόμετρα στην περιοχή των πηγών (π.χ. ανά 100 μέτρα), ώστε να είναι δυνατή η εύρεση της εξίσωσης βροχοβαθμίδας.

Πίνακας 4.14 Υδρολογικό ισοζύγιο των ετών 2018 – 2020.

	P	E _Π	Q
mm	1768,4	1428,5	339,9
10 ⁶ ×m ³	56,94	46,00	10,94
%	100	80,78	19,22

Πίνακας 4.15 Υδρολογικό ισοζύγιο του υδρολογικού έτους 2019 – 2020.

	P	E _Π	Q
mm	629,8	463,38	166,43
10 ⁶ ×m ³	20,28	14,92	5,36
%	100,00	73,58	24,42

Πίνακας 4.16 Υδρολογικό ισοζύγιο του υδρολογικού έτους 2018 – 2019.

	P	E _Π	Q
mm	456,00	411,84	44,16
10 ⁶ ×m ³	14,68	13,26	1,42
%	100	90,32	9,68

5 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ

Το μετεωρικό νερό αφού περάσει την επιφάνεια του εδάφους και την ζώνη αερισμού, ή ακόρεστη ζώνη εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς οι οποίοι είναι σχηματισμοί κορεσμένοι σε νερό, ικανοί να τροφοδοτήσουν με ικανές οικονομικά ποσότητες γεωτρήσεις και πηγές. Το νερό στους υδροφορείς κινείται σύμφωνα με τους νόμους της βαρύτητας και χαρακτηρίζεται ως βαρυτικό νερό. Βασικά στοιχεία με βάση τα οποία μελετούνται οι προσχωματικοί υδροφορείς είναι οι υδραυλικές τους παράμετροι οι οποίες είναι οι εξής:

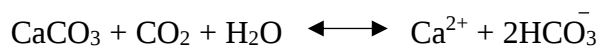
- Η υδραυλική αγωγιμότητα ή υδροπερατότητα (k) η οποία έχει διαστάσεις ταχύτητας και εκφράζει την ευκολία με την οποία κινείται το υπόγειο νερό στον υδροφορέα.
- Ο συντελεστής αποθηκευτικότητας του υδροφορέα (S) ο οποίος εκφράζει τον όγκο του νερού που μπορεί να αποθηκευτεί από μια κατακόρυφη μοναδιαία επιφάνεια του υδροφορέα στη μονάδα μεταβολής του υδραυλικού του φορτίου και υπολογίζεται από τη σχέση: $S = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta h}$, όπου ΔV η μεταβολή του όγκου του νερού που αφαιρείται ή προστίθεται στη μοναδιαία επιφάνεια A με τη μεταβολή του υδραυλικού φορτίου Δh .
- Η μεταβιβαστικότητα του υδροφορέα (T) η οποία εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο μεταφέρεται το νερό στη μονάδα επιφάνειας του υδροφορέα με επικράτηση του κινηματικού ιξώδους. Υπολογίζεται από τη σχέση: $T = k \times D$ όπου k η υδραυλική αγωγιμότητα και D το πάχος του υδροφορέα.
- Η υδραυλική κλίση του υδροφορέα (i) η οποία εκφράζει τη μεταβολή του υδραυλικού φορτίου στη μονάδα του μήκους του υδροφορέα και δίνεται από την εξίσωση: $i = \frac{dh}{dl}$ όπου dh η μεταβολή του υδραυλικού φορτίου και dl η απόσταση μεταξύ δύο σημείων.

Σύμφωνα με τη λιθολογία τους οι υδροφορείς κατηγοριοποιούνται στα παρακάτω είδη:

- Στους πορώδεις υδροφορείς οι οποίοι αποτελούν ιζηματογενή κοκκώδη μέσα όπου το νερό κινείται μέσα σε αυτά γεμίζοντας τα κενά μεταξύ των κόκκων των

σχηματισμών. Συγκεκριμένα υδροφορείς εντοπίζονται σε τεταρτογενείς χαλαρές αποθέσεις, κυρίως σε αδρομερή κλαστικά υλικά όπου υπάρχει αυξημένη περατότητα και ενεργό πορώδες όπως άμμοι, χάλικες και κροκάλες. Σε αυτούς ανήκουν και οι αλλουβιακοί υδροφορείς οι οποίοι συνδέονται υδραυλικά με το υδρογραφικό δίκτυο μιας περιοχής και εμφανίζουν σημαντική υδροφορία η οποία εξαρτάται και από το πάχος τους. Σε αυτήν την κατηγορία κατατάσσονται και οι νεογενείς ιζηματογενείς σχηματισμοί όπως μάργες, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες στους οποίους η υδροφορία είναι συνάρτηση του μεγέθους των κόκκων των σχηματισμών, του πάχους, του βαθμού διαγένεσης και του μητρικού πετρώματος από το οποίο προέρχονται. Επίσης η δράση της τεκτονικής και των διαδικασιών αποσάθρωσης δημιουργούν δευτερογενές πορώδες το οποίο αυξάνει την υδροφορία τους.

- Στους υδροφορείς διερρηγμένων πετρωμάτων που εμφανίζονται σε πυριγενή ή μεταμορφωμένα πετρώματα. Αυτός ο τύπος υδροφορέων αναπτύσσεται σε αρχικά στεγανά πετρώματα τα οποία όμως εμφανίζουν δευτερογενές πορώδες λόγω της τεκτονικής δράσης και παρατηρείται υδροφορία κατά μήκος ασυνεχειών του πετρώματος όπως ρήγματα και διατμητικές ζώνες. Σημαντικό ρόλο για των εντοπισμό της υδροφορίας σε διερρηγμένα πετρώματα διαδραματίζει η λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση, καθώς και η γεωφυσική έρευνα. Σημειώνεται ότι οι διερρηγμένοι υδροφορείς εκφορτίζονται από πηγές οι οποίες αναβλύζουν μέσα από τις τεκτονικές ασυνέχειες των πετρωμάτων.
- Στους καρστικούς υδροφορείς οι οποίοι αναπτύσσονται στα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες, μάρμαρα). Σε αυτά τα πετρώματα λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της καρστικοποίησης κατά το οποίο το αρχικά στεγανό πέτρωμα διαλυτοποιείται από το πλούσιο σε CO₂ μετεωρικό νερό, καθώς το αδιαπέρατο ανθρακικό ασβέστιο που είναι η κύρια ένωση από την οποία αποτελούνται τα ανθρακικά πετρώματα, μεταπίπτει σε υδροπερατή όξινη ανθρακική ρίζα σύμφωνα με την χημική αντίδραση (Βουδούρης, 2009):



Όσο η διαδικασία αυτή προχωράει σε βάθος, το νερό δημιουργεί έγκοιλα (κενά) και σπήλαια μέσα σε αυτά τα πετρώματα και έχει την ιδιότητα να διευρύνει τις προϋπάρχουσες ασυνέχειες (διαρρήξεις, ρωγμές) των ανθρακικών πετρωμάτων. Με τον τρόπο αυτό αναπτύσσεται το καρστικό σύστημα στο οποίο διαμορφώνεται υπόγεια ροή με τη μορφή αγωγών και υπόγειων ποταμών μεγάλου μήκους και

πλάτους οι οποίοι εκφορτίζονται μέσω των πηγών. Όσον αφορά στα υδραυλικά τους χαρακτηριστικά οι καρστικοί υδροφορείς εμφανίζουν μεγάλη υδραυλική αγωγιμότητα (k) και ως εκ τούτου μεγάλη μεταβιβαστικότητα (T), ενώ έχουν μικρό συντελεστή αποθηκευτικότητας (S) και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την γρήγορη αποστράγγισή τους, τη μεγάλη εποχική διακύμανση των υδατικών τους αποθεμάτων, καθώς και τη γρήγορη απόκριση στις έντονες βροχοπτώσεις. Σύμφωνα με τον Bakalovicz, το καρστ της Μεσογείου έχει διαμορφωθεί από μια σειρά γεωλογικών γεγονότων και κλιματικών μεταβολών, στοιχεία που το κάνουν να μελετάται ξεχωριστά από τα υπόλοιπα καρστικά συστήματα που υπάρχουν στον κόσμο. Το μεσογειακό καρστ διαχωρίζεται με βάση τη γεωλογική εξέλιξη και την γεωμορφολογία στα παρακάτω τρία είδη (Bakalovicz, 2005):

- Ορεινά καρστικά συστήματα που συναντώνται σε μεγάλα υψόμετρα στην αλπική ζώνη όπου η τεκτονική δράση έχει δημιουργήσει πολλαπλά συστήματα ασυνεχειών στα ανθρακικά πετρώματα όπως επωθήσεις, ρήγματα και διακλάσεις τα οποία δημιουργούν στο πέτρωμα δευτερογενές πορώδες ευνοώντας την υπόγεια υδροφορία. Η υπόγεια ροή συμβαίνει όπως και σε όλα τα καρστικά συστήματα μέσω αγωγών και είναι καθορισμένη. Τα βαθύτερα συστήματα αγωγών φιλοξενούν το σύνολο της υδροφορίας, ενώ τα επιφανειακά αποτελούν μέρος της ακόρεστης ζώνης. Ένα άλλο χαρακτηριστικό στοιχείο αυτής της κατηγορίας είναι η κάλυψη των καρστικών πετρωμάτων από πλευρικά κορήματα μεγάλου πάχους μέσα στα οποία το μετεωρικό νερό φιλτράρεται και εμπλουτίζει με αργό ρυθμό τους καρστικούς υδροφορείς.
- Παράκτια καρστικά συστήματα τα οποία έχουν υδραυλική επικοινωνία με τη θάλασσα. Οι υπόγειοι υδροφορείς τους είναι πληρωμένοι με θαλασσινό νερό και εκφορτίζονται μέσω πηγών είτε παράκτια είτε ακόμα και μέσα στη θάλασσα, γεγονός που τις καθιστά ακατάλληλες για εκμετάλλευση, αφού το νερό που εκφορτίζεται είναι υφάλμυρο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του τύπου αποτελεί η καρστική πηγή του Αλμυρού στο Ηράκλειο της Κρήτης η οποία εμπλουτίζεται από θαλασσινό νερό από βάθος 600 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας.
- Καρστικά συστήματα συνδεδεμένα με τη δημιουργία τεκτονικών λεκανών. Η δημιουργία αυτών των συστημάτων είναι αποτέλεσμα της εφελκυστικής νεοτεκτονικής δράσης που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τεκτονικών λεκανών προσανατολισμένων στη διεύθυνση των κανονικών ρηγμάτων. Ως

αποτέλεσμα, οι λεκάνες αυτές αποστραγγίζονται επιφανειακά από καλά ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο και πληρώνονται από σημαντικού πάχους νεογενείς και τεταρτογενείς ιζηματογενείς αποθέσεις που έχουν μικρή υδροπερατότητα. Ως εκ τούτου η κύρια διαδικασία της καρστικοποίησης των ανθρακικών πετρωμάτων στις τεκτονικές λεκάνες λαμβάνει χώρα από τα πλούσια σε CO₂ υδροθερμικά ρευστά τα οποία έχουν μεγάλη διαλυτική ικανότητα, δημιουργούν υπόγειους αγωγούς και ανέρχονται δια μέσου των βαθιών κανονικών ρηγμάτων. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει ο καρστικός υδροφορέας της περιοχής των πηγών ενδιαφέροντος Βοσκίνα και Αγίασμα.

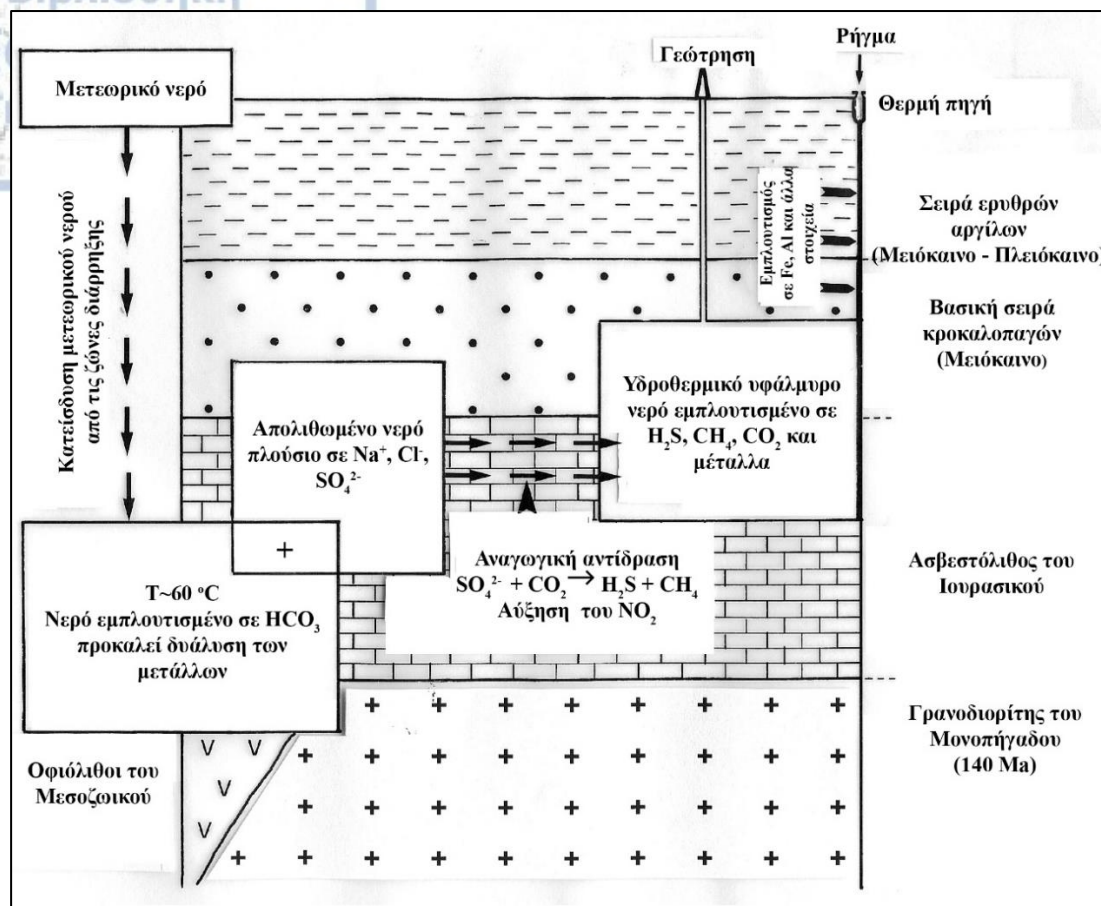
5.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΒΟΣΚΙΝΑΣ ΚΑΙ ΑΓΙΑΣΜΑΤΟΣ

Οι πηγές Βοσκίνα και Αγίασμα βρίσκονται στο νότιο και κεντρικό κομμάτι της λεκάνης του Ανθεμούντα στην περιοχή Αγίας Παρασκευής και Σουρωτής. Η συγκεκριμένη περιοχή εκφορτίζεται από καρστικές πηγές που εμφανίζονται στους ασβεστόλιθους Ιουρασικής ηλικίας. Οι ασβεστόλιθοι είναι υποκείμενοι νεογενών ιζηματογενών σχηματισμών (κροκαλοπαγή, ερυθρή άργιλος), οι οποίοι δεν παρουσιάζουν αξιόλογη υδροφορία. Επίσης στην περιοχή παρατηρούνται κανονικά ρήγματα τα οποία είναι φορείς θερμών ρευστών τα οποία ανέρχονται και σχηματίζουν ρηματογενείς πηγές. Το θερμό νερό που τροφοδοτεί τις πηγές έρευνας έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε άλατα και μέταλλα και ανέρχεται από το ρήγμα του Ανθεμούντα κατά μήκος της ζώνης Ταγαράδων – Αγίας Παρασκευής – Σουρωτής σε διεύθυνση Α – Δ. Το νερό εμπλουτίζεται λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας σε άλατα και αέρια βαθυγενούς προέλευσης. Τα δύο αυτά συστήματα αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάβλυση νερού ανάμειξης από τις πηγές.

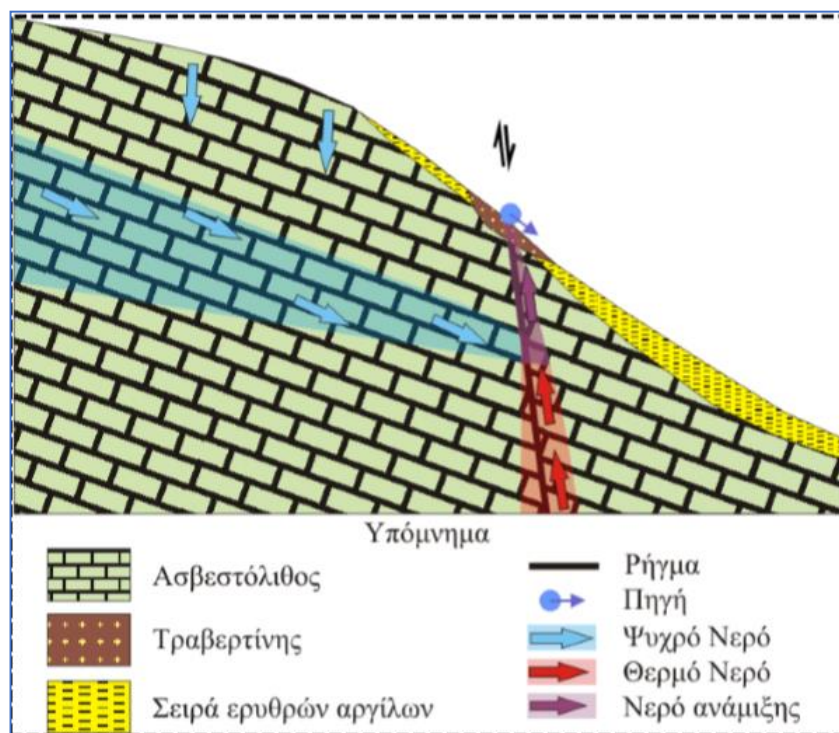
Η πηγή της Βοσκίνας βρίσκεται μεταξύ των χωριών Αγίας Παρασκευής και Σουρωτής και έχει αποδειχτεί από παλαιότερες έρευνες ότι εκφορτίζει υπόγειο νερό από τον καρστικό υδροφορέα της περιοχής, καθώς και υδροθερμικό ρευστό που ανέρχεται διά μέσου του ρήματος με το οποίο συμπίπτει η εμφάνισή της (Σχήμα 5.1). Αναλυτικότερα το μετεωρικό νερό κατεισδύει στους καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους του Άνω Ιουρασικού και κινείται υπόγεια. Σε ορισμένο βάθος το νερό αυτό έρχεται σε επαφή με θερμό νερό βαθιάς προέλευσης που ανέρχεται από το κανονικό ρήγμα της περιοχής (Καζάκης, 2013). Σύμφωνα με τους Nimforopoulos et al.

2002 (Σχήμα 5.0), το νερό που κατεισδύει στο διερρηγμένο υπόβαθρο, θερμαίνεται λόγω της θετικής γεωθερμικής ανωμαλίας που έχει παρατηρηθεί, από την επαφή του ασβεστολίθου με τον υποκείμενο γρανοδιορίτη του Μονοπήγαδου από όπου εκλύεται θερμότητα ως αποτέλεσμα των διασπάσεων των ραδιενεργών στοιχείων του. Σύμφωνα με την ίδια έρευνα, τα δείγματα νερού που αναλύθηκαν από την πηγή και από τη γεώτρηση μεγάλου βάθους (>500 m.) που πραγματοποιήθηκε από το ΙΓΜΕ, έδειξαν πράγματι ότι το νερό της γεώτρησης αντιπροσωπεύει το γεωθερμικό ρευστό το οποίο έχει υψηλότερη θερμοκρασία (έως 38°) σε σχέση με το πηγαίο νερό (έως 28°). Σύμφωνα με το γεωθερμικό μοντέλο της περιοχής, το μετεωρικό νερό κατεισδύει σε μεγάλο βάθος, θερμαίνεται έως 60 °C και καθώς αποκτά μεγάλη διαλυτική ικανότητα αυξάνει την περιεκτικότητά του σε μέταλλα. Το θερμό νερό επίσης αναμιγνύεται με απολιθωμένο, αλμυρό νερό εντός του καρστικοποιημένου ασβεστολίθου και σε αναγωγικό περιβάλλον εμπλουτίζεται σε γεωθερμικά αέρια με παράλληλη απόθεση μεταλλικών ορυκτών. Τη βαθιά προέλευση του νερού της πηγής καταδεικνύει επίσης και η μεγάλη περιεκτικότητα σε As (Καζάκης, 2016). Επιπρόσθετα το νερό της πηγής εμπλουτίζεται σε στοιχεία όπως Fe, Al καθώς έρχεται σε επαφή κατά την άνοδο του με τους υπερκείμενους νεογενείς κλαστικούς σχηματισμούς (κροκαλοπαγή, ερυθρές άργιλοι). Το νερό που εκφορτίζεται από την πηγή στη συνέχεια κατεισδύει και εμπλουτίζει τον πορώδη υδροφορέα που διατρέχει το κεντρικό τμήμα της λεκάνης του Ανθεμούντα (Καζάκης, 2013).

Η πηγή Αγίασμα στην Αγία Παρασκευή χαρακτηρίζεται ως ρηματογενής ανερχόμενη πηγή, η οποία εκφορτίζει γεωθερμικό ρευστό βαθιάς προέλευσης. Πρόκειται για το γεωθερμικό σύστημα χαμηλής ενθαλπίας που αναφέρθηκε παραπάνω όπου το νερό ρέει υπόγεια εντός του καρστικού ταμιευτήρα, ενώ ο υποκείμενος από τον ασβεστόλιθο γρανοδιορίτης αποτελεί στεγανό υπόβαθρο. Για το λόγο αυτό η πηγή Αγίασμα εμφανίζει υψηλότερη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε σχέση με το νερό της πηγής της Βοσκίνας το οποίο είναι νερό ανάμειξης. Επιπλέον, η υψηλή περιεκτικότητα σε νιτρικά που έχει παρατηρηθεί υποδεικνύει την συμβολή των επιφανειακών υδάτων στο νερό της πηγής, τα οποία κατεισδύουν στον καρστικό υδροφορέα από τις ζώνες εμπλουτισμού. (Καζάκης, 2013). Το νερό της πηγής περιέχει επίσης αιωρήματα από σίδηρο ως προϊόν οξείδωσης. Επιπλέον το νερό έχει χαρακτηριστική οσμή που προέρχεται από το διαλυμένο στο νερό, γεωθερμικό αέριο υδρόθειο (H₂S). Τέλος, το αναβλύζον νερό της πηγής του Αγιάσματος συμβάλει στο δίκτυο ρεμάτων της περιοχής.



Σχήμα 5.0 Γεωθερμικό μοντέλο της λεκάνης του Ανθεμώντα (πηγή: Nimforoulos et al. 2002 με τροποποιήσεις).



Σχήμα 5.1 Υδρογεωλογικό μοντέλο της πηγής Βοσκίνα (πηγή: Καζάκης, 2013).

5.3 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΟΧΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ

Η παροχή (Q) εκφράζει τον όγκο του υπόγειου νερού που εκφορτίζεται σημειακά από την πηγή στη μονάδα του χρόνου και υπολογίζεται μαθηματικά από τον τύπο: $Q=V/t$, όπου V = ο όγκος του απολήψιμου νερού, t = ο μετρούμενος χρόνος. Η παροχή αποδίδεται συνήθως σε μονάδες m^3/h (κυβικά νερού ανά ώρα) ή σε lit/h (λίτρα νερού ανά ώρα) αναλόγως με το δυναμικό της εκάστοτε πηγής.

Η παροχή των πηγών εξαρτάται από υδρογεωλογικούς παράγοντες όπως η κατείσδυση και οι διαστάσεις της ζώνης τροφοδοσίας της και από τις ποσότητες των κατακρημνισμάτων (μετεωρολογικοί παράγοντες). Τα μέγιστα υδατικά αποθέματα των πηγών για τον Ελληνικό χώρο παρατηρούνται στα τέλη της υγρής περιόδου του υδρολογικού έτους (Απρίλιος – Μάιος), ενώ τα ελάχιστα αποθέματα καταγράφονται στα τέλη της ξηρής περιόδου (Σεπτέμβριος – Οκτώβριος).

Σημαντική παράμετρος είναι η ετήσια διακύμανση της παροχής της πηγής που ορίζεται ως ο λόγος Q_{max} / Q_{min} , όπου Q_{max} η μέγιστη ετήσια παροχή και Q_{min} η ελάχιστη ετήσια παροχή. Όταν ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος από 5 τότε η πηγή έχει μεταβαλλόμενη παροχή, ενώ σε αντίθετη περίπτωση η πηγή χαρακτηρίζεται ως σταθερής παροχής (Βουδούρης, 2013). Μια άλλη σημαντική παράμετρος της παροχής είναι η μεταβλητότητα (variability) που εμφανίζει. Για την αξιοπιστία αυτής της παραμέτρου απαιτείται χρονοσειρά μετρήσεων τουλάχιστον για δύο υδρολογικά έτη (Βουδούρης, 2013) και ορίζεται με την εξίσωση:

$$V = \frac{Q_{max} - Q_{min}}{Q_{median}} \cdot 100$$

όπου V = η μεταβλητότητα (%), Q_{max} η μέγιστη παροχή, Q_{min} η ελάχιστη παροχή, Q_{median} = η διάμεσος τιμή της παροχής.

Για τον ακριβή υπολογισμό της παροχής της πηγής στο πεδίο απαιτούνται ογκομετρημένα δοχεία τα οποία να συγκεντρώνουν ολόκληρη την ποσότητα του νερού της πηγής καθώς και ένα χρονόμετρο που καταγράφει το χρονικό διάστημα από την αρχή της διαδικασίας της μέτρησης μέχρι γεμίσει το δοχείο με νερό. Σημειώνεται ότι με την αύξηση του μεγέθους των παροχών των πηγών επιλέγονται δοχεία μεγαλύτερου όγκου ώστε το σφάλμα που προκύπτει από τη διαδικασία να θεωρείται αμελητέο. Επίσης η μέτρηση της παροχής για την πηγή θα πρέπει να επαναλαμβάνεται τουλάχιστον τρεις φορές ώστε να είναι αξιόπιστη.

5.4 ΠΑΡΟΧΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των παροχών των πηγών έρευνας Βοσκίνας και Αγιάσματος. Η μέτρηση της παροχής λάμβανε χώρα δύο φορές κάθε μήνα, μία στα μέσα και μία στα τέλη. Σημειώνεται ότι κατά το διάστημα τέλη Μαρτίου – τέλη Απριλίου δεν λήφθηκαν μετρήσεις της παροχής και των φυσικοχημικών παραμέτρων των πηγών λόγω των επιβεβλημένων απαγορεύσεων των μετακινήσεων στα πλαίσια της πανδημίας του SARS-CoV 2. Για τις δύο πηγές παρουσιάζονται αντίστοιχα τα δύο υδρογραφήματα που αναπαριστούν γραφικά τη διακύμανση των παροχών των πηγών συναρτήσει του χρόνου καθώς και επί μέρους στατιστικά στοιχεία που προκύπτουν από την επεξεργασία των δεδομένων των παροχών.

Στην πηγή Αγίασμα για τη μέτρηση της παροχής στην πηγή αυτή για την περίοδο Μαρτίου 2018 - Δεκεμβρίου 2020 χρησιμοποιήθηκε ένα πλαστικό δοχείο 1,5 λίτρων και ένα χρονόμετρο. Το υδρογράφημα της πηγής παρουσιάζεται στο παρακάτω γράφημα (Σχήμα 5.2). Όπως προκύπτει από τη στατιστική ανάλυση, η διακύμανση για αυτή την περίοδο είναι ίση με 4 και αντιστοιχεί σε πηγή σταθερής παροχής, ενώ η μεταβλητότητα (V) είναι ίση με 50 %. Η μέγιστη τιμή της παροχής καταγράφηκε στις 14/6/2020 και είχε τιμή 0,93 m³/h, ενώ η ελάχιστη τιμή της παροχής μετρήθηκε στις 5/2/2019, ίση με 0,23 m³/h. Επομένως η πηγή χαρακτηρίζεται ως σταθερής παροχής. Τα στοιχεία που προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.0

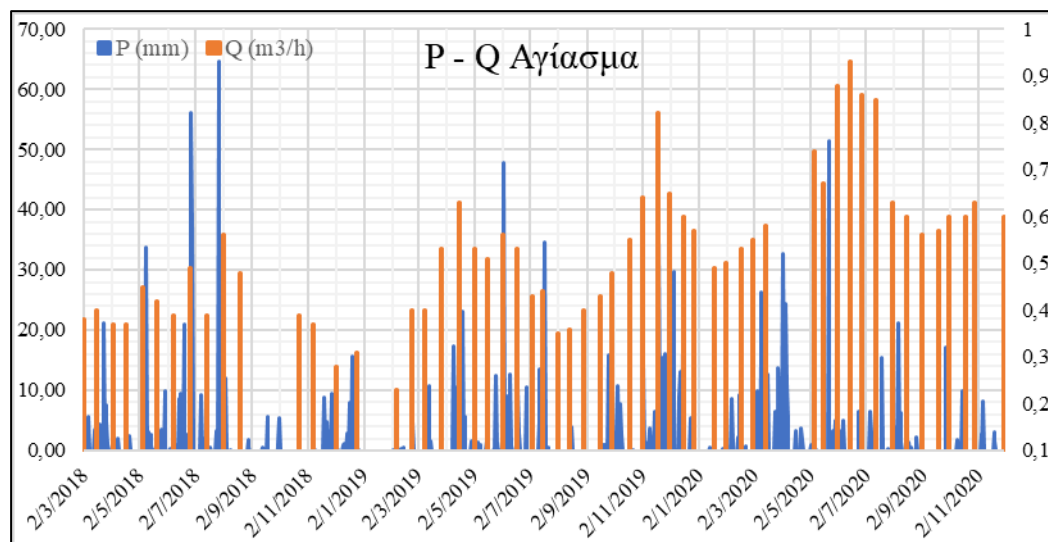
Πίνακας 5.0 Στατιστικά στοιχεία της παροχής του νερού της πηγής Αγίασμα.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ/ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	2/3/2018 – 13/12/2020
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ (N)	57
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΠΑΡΟΧΗΣ (m ³ /h)	0,93
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΠΑΡΟΧΗΣ (m ³ /h)	0,23
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	0,53
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (m ³ /h)	0,15
ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ	4
ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ (%)	50



Σχήμα 5.2 Υδρογράφημα της πηγής Αγίασμα 2/3/2018 – 13/12/2020.

Για την πηγή Αγίασμα έχει αναφερθεί από προηγούμενες έρευνες (Καζάκης 2013, Καϊοπούλου 2019) ότι η παροχή της πηγής επηρεάζεται άμεσα από την ποσότητα των κατακρημνισμάτων, καθώς στη συνολική παροχή της συμβάλει υπόγειο νερό από ρηχούς υδροφορείς. Στο Σχήμα 5.2.1 όπου παρουσιάζεται η μεταβολή της παροχής σε σχέση με την ημερήσια βροχόπτωση για την περίοδο 2/3/2018 – 13/12/2020, φαίνεται η παροχή να αυξάνεται κατά τις περιόδους όπου σημειώνονται σημαντικά ύψη βροχόπτωσης ενώ αντίθετα κατά τις περιόδους ανομβρίας παρατηρούνται οι χαμηλότερες τιμές της παροχής.



Σχήμα 5.2.1 Διακύμανση παροχής και Βροχόπτωσης για την περίοδο 2/3/2018 – 13/12/2020.

Στην πηγή Βοσκίνα η μέτρηση της παροχής πραγματοποιούνταν με τη χρήση πλαστικού μπουκαλιού όγκου 1,5 lt και ενός βαρελιού όγκου 35 lt, ανάλογα με το μέγεθος της τιμής της παροχής. Η χρονοσειρά των παρατηρήσεων της παροχής της πηγής αυτής παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.3. Όπως παρατηρείται στο γράφημα (Σχήμα 5.3), η τιμή της παροχής αυξάνεται αιφνίδια το διάστημα μεταξύ 14/3/2020 - 16/5/2020 από τα 0,93 m³/h στα 18,52 m³/h , καταγράφοντας συνολική αύξηση της παροχής κατά 17,59 m³/h. Η αύξηση αυτή οφείλεται είτε στη συνεισφορά του γεωθερμικού συστήματος είτε στα αυξημένα ποσά βροχόπτωσης. Ο Συνδυασμός των δύο αυτών περιπτώσεων είναι επίσης πιθανός και το φαινόμενο αυτό θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο. Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.1, η διακύμανση της παροχής της πηγής για την περίοδο των μετρήσεων είναι ίση με 23 και αντιστοιχεί σε πηγή μεταβαλλόμενης παροχής. Η μεταβλητότητα (V) της παροχής υπολογίστηκε ίση με 640%.

Πίνακας 5.1 Στατιστικά στοιχεία της παροχής του νερού της πηγής Βοσκίνα.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ/ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	2/3/2018 – 13/12/2020
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ (N)	57
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΠΑΡΟΧΗΣ (m ³ /h)	0,80
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΠΑΡΟΧΗΣ (m ³ /h)	18,52
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	5,54
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (m ³ /h)	5,09
ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ	23
ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ (%)	640



Σχήμα 5.3 Υδρογράφημα της πηγής Βοσκίνα 2/3/2018 –13/12/2020.

5.5 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Βασικές παράμετροι του υπόγειου νερού είναι οι φυσικές (θερμοκρασία, οσμή, χρώμα, θολερότητα, ραδιενέργεια) και οι χημικές (pH, αγωγιμότητα, σκληρότητα, δυναμικό οξειδοαναγωγής, αλκαλικότητα). Από παλαιότερες έρευνες έχει διαπιστωθεί ότι το νερό των υπό μελέτη πηγών παρουσιάζει υψηλές τιμές αγωγιμότητας (έως 15 mS/cm), όξινο pH (5,9 – 6,7) και μεγάλη σκληρότητα (77 – 160 °F). Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα των μετρήσεων της θερμοκρασίας (T σε °C), της ενεργού οξύτητας (pH) καθώς και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC σε μονάδες μS/cm) του νερού των πηγών Βοσκίνας και Αγιάσματος. Η μέτρηση των τριών αυτών μεγεθών ομοίως με την μέτρηση της παροχής (Q) λάμβανε χώρα δύο φορές κάθε μήνα, στα μέσα και στα τέλη του αντίστοιχα με τη χρήση ειδικού ηλεκτρονικού αγωγιμόμετρου του εργαστηρίου τεχνικής γεωλογίας και υδρογεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

5.5.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)

Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού, σε αντίθεση με το επιφανειακό δεν επηρεάζεται άμεσα από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, αλλά από τα πετρώματα και τους σχηματισμούς με τους οποίους έρχεται σε επαφή. Ως εκ τούτου, η θερμοκρασία του υπόγειου νερού δεν εμφανίζει μεγάλες μεταβολές, ενώ το βάθος της στάθμης του παίζει ρόλο στην τιμή της θερμοκρασίας. Έχει παρατηρηθεί από δεδομένα γεωτρήσεων ότι η θερμοκρασία του υπόγειου νερού αυξάνεται με το βάθος. Η θερμοκρασία του εδάφους μπορεί επίσης να επηρεάσει τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού όταν ο υδροφορέας έχει μικρό βάθος και εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες: εδαφική υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, αντανάκλαση του εδάφους (albedo το οποίο αυξάνεται όσο πιο ανοιχτόχρωμα είναι τα εδάφη), συστατικά του εδάφους.

Οι γεωθερμικές ανωμαλίες αποτελούν έναν ακόμη σημαντικό παράγοντα ο οποίος επιδρά στη θερμοκρασία του υπόγειου νερού και καθορίζει σε σημαντικό βαθμό τη θερμοκρασία του νερού των υπό έρευνα πηγών. Αναλυτικότερα, η γεωθερμική βαθμίδα εκφράζει το ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας της γης με το βάθος και η μέση τιμή της αύξησης αυτής έχει βρεθεί ίση με $1^{\circ}\text{C}/30\text{ m}$. Η γεωθερμική βαθμίδα εξαρτάται από γεωτεκτονικούς παράγοντες και σε ορισμένες περιοχές όπως ζώνες υποβύθισης είναι πιο μεγάλη από τη μέση γήινη με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του υπόγειου νερού να αυξάνεται σημαντικά με το βάθος. Οι πηγές ενδιαφέροντος όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο επηρεάζονται από το γεωθερμικό πεδίο της λεκάνης του Ανθεμούνα. Ο υδροφορέας που τροφοδοτεί την πηγή Αγίασμα βρίσκεται σε βάθος 70 m ενώ ο θερμός υδροφορέας για στην πηγή Βοσκίνας είναι σε βάθος 240 – 280 m (Καζάκης, 2013).

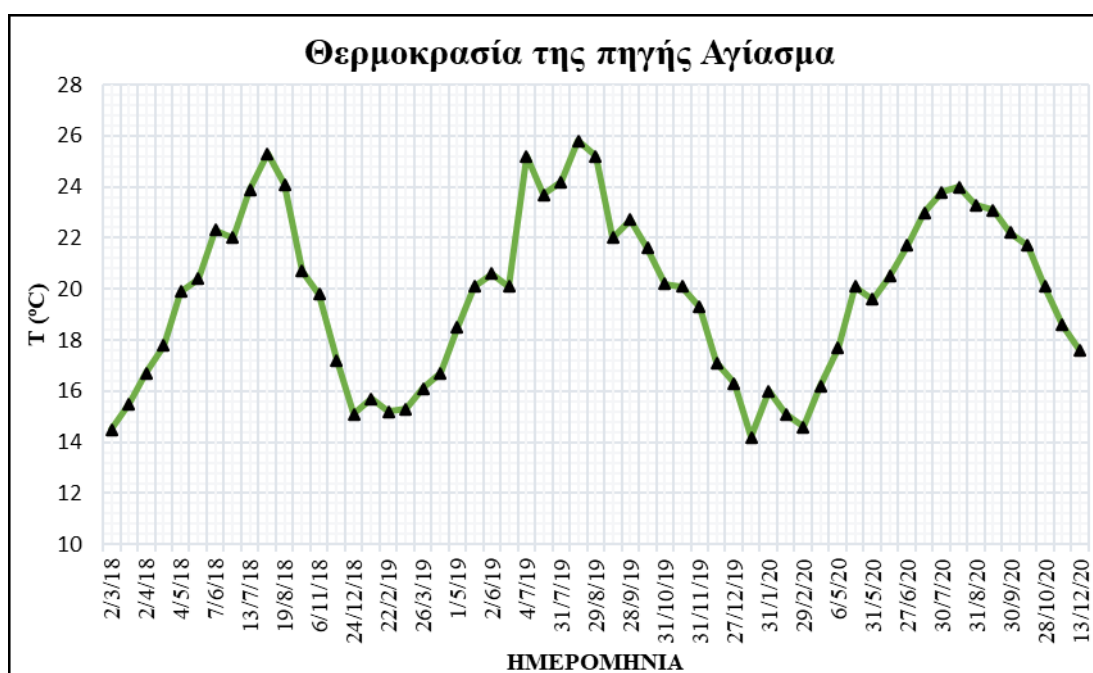
Η διακύμανση της τιμής της θερμοκρασίας του νερού της πηγής «Αγίασμα» παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.4. Η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας στο χρονικό διάστημα των μετρήσεων σημειώθηκε στις 13/8/2019 και έχει τιμή $25,8^{\circ}\text{C}$, ενώ η ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας παρατηρήθηκε στις 31/1/2020 με τιμή $14,2^{\circ}\text{C}$. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας βρέθηκε ίση με $19,8^{\circ}\text{C}$ (Πίνακας 5.2).

Από το γράφημα φαίνεται ότι για το συνολικό διάστημα των μετρήσεων παρατηρείται εποχιακή διακύμανση, καθώς η θερμοκρασία εμφανίζει τις μικρότερες τιμές της τους χειμερινούς μήνες Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου, κατά τους επόμενους μήνες καταγράφεται συνεχής αύξηση της θερμοκρασίας με κάποιες μικρές διακυμάνσεις έως τους θερινούς Ιουλίου και Αυγούστου οπότε και καταγράφονται οι μέγιστες τιμές

της θερμοκρασίας. Από αυτό το διάστημα και έπειτα καταγράφεται μείωση της θερμοκρασίας με κλιμακούμενο ρυθμό μέχρι την χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου. Το γεγονός αυτό πιθανώς οφείλεται στο μικρό βάθος του υδροφορέα και στην επίδραση της θερμοκρασίας του εδάφους. Σύμφωνα με τον Καζάκη 2013 η πηγή εκφορτίζει και επιφανειακά νερά κυρίως κατά την υγρή περίοδο όπου τα αποθέματα σε νερό είναι μεγαλύτερα, τα οποία αναμιγνύονται με το υδροθερμικό ρευστό. Το γεγονός αυτό επιδρά στη θερμοκρασία του νερού της πηγής.

Πίνακας 5.2 Στατιστικά στοιχεία της θερμοκρασίας του νερού της πηγής Αγίασμα.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ/ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	2/3/2018 – 13/12/2020
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ (N)	57
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (°C)	25,8
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (°C)	14,2
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	19,82
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (°C)	3,31



Σχήμα 5.4 Διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού της πηγής «Αγίασμα» κατά την περίοδο 2/3/2018 – 30/9/2020.

Η διακύμανση της τιμής της θερμοκρασίας της πηγής «Βοσκίνα» με το χρόνο παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.5. Η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας παρατηρήθηκε στις 13/8/2019 και είναι ίση με 23,5 °C , ενώ η ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας βρέθηκε στις 26/3/2019 και είναι ίση με 17,6 °C. Σε αντίθεση με την πηγή του Αγιάσματος η συγκεκριμένη πηγή δεν εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις όσον αφορά στη

θερμοκρασία, γεγονός που φανερώνεται από τη μικρότερη τιμή της τυπικής απόκλισης. Η πηγή Βοσκίνα εκφορτίζει ψυχρό νερό από τον καρστικό υδροφορέα της περιοχής, καθώς και από υδροθερμικά ρευστά που ανέρχονται μέσω ρηγμάτων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η θερμοκρασία να εξαρτάται από το βαθμό συμμετοχής των δύο αυτών συστημάτων στη συνολική παροχή της πηγής. Τα στατιστικά στοιχεία της θερμοκρασίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3 Στατιστικά στοιχεία της θερμοκρασίας του νερού της πηγής Βοσκίνα.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ/ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	2/3/2018 – 13/12/2020
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ (N)	57
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (°C)	23,50 °C
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (°C)	17,60 °C
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	20,38
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (°C)	1,30



Σχήμα 5.5 Διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού της πηγής Βοσκίνα κατά την περίοδο 2/3/2018 – 13/12/2020.

5.5.2 ΕΝΕΡΓΟΣ ΟΞΥΤΗΤΑ (pH)

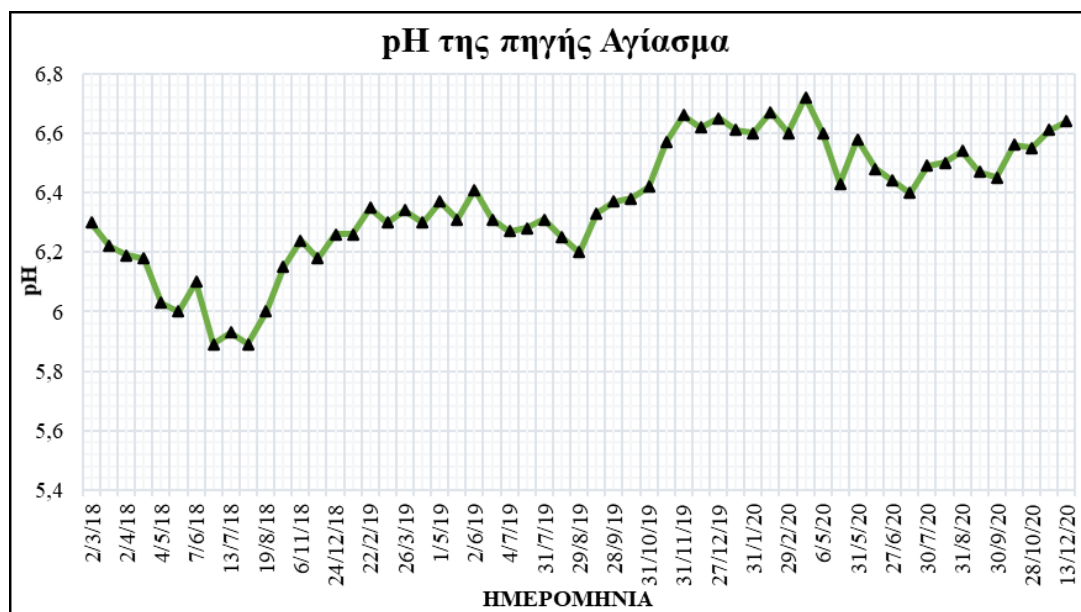
Η ενεργός οξύτητα (pH) είναι το μέγεθος που εκφράζει τη συγκέντρωση του υδροξωνίου (H_3O) σε ένα υδατικό διάλυμα. Το νερό καλείται ουδέτερο για $pH=7$, όξινο για $pH<7$ και αλκαλικό για $pH>7$. Το pH του υπόγειου νερού εξαρτάται από τα περιβάλλοντα πετρώματα και από τις χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε αυτά. Το όξινο pH καθιστά το νερό διαβρωτικό και έχει την ιδιότητα να διαλύει

έντονα τα πετρώματα με τα οποία έρχεται σε επαφή και να εμπλουτίζεται ιόντα και μέταλλα. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν το pH είναι αναγωγικό και για τιμές μεγαλύτερες από 7,5 το νερό αποκτά την ικανότητα απόθεσης αλάτων (κυρίως CaCO_3 , MgCO_3). Έχει παρατηρηθεί ότι το pH του υπόγειου νερού σε ανθρακικούς σχηματισμούς (ασβεστόλιθοι, δολομίτες, μάρμαρα) είναι όξινο, ενώ σε οφιολιθικά πετρώματα είναι αλκαλικό (Σούλιος, 2006). Επιπρόσθετα, το υπόγειο νερό τείνει με το πέρασμα του γεωλογικού χρόνου να γίνεται πιο όξινο ως αποτέλεσμα της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης (Βουδούρης, 2009). Το pH του νερού των πηγών έρευνας κυμαίνεται από 5,89 έως 6,72 και χαρακτηρίζεται ως όξινο.

Η μεταβολή του pH με το χρόνο για την πηγή Αγίασμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.6. Η χαμηλότερη τιμή του pH, ίση με 5,89 καταγράφηκε στις 26/6/2018 και στις 1/8/2018. Η υψηλότερη τιμή του pH μετρήθηκε στις 14/3/2020 ίση με 6,72. Τα στατιστικά στοιχεία του pH δίνονται στον Πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4 Στατιστικά στοιχεία του pH της πηγής Αγίασμα.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ/ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	2/3/2018 – 13/12/2020
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ (N)	57
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ pH	6,72
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ pH	5,89
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	6,36
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	0,20

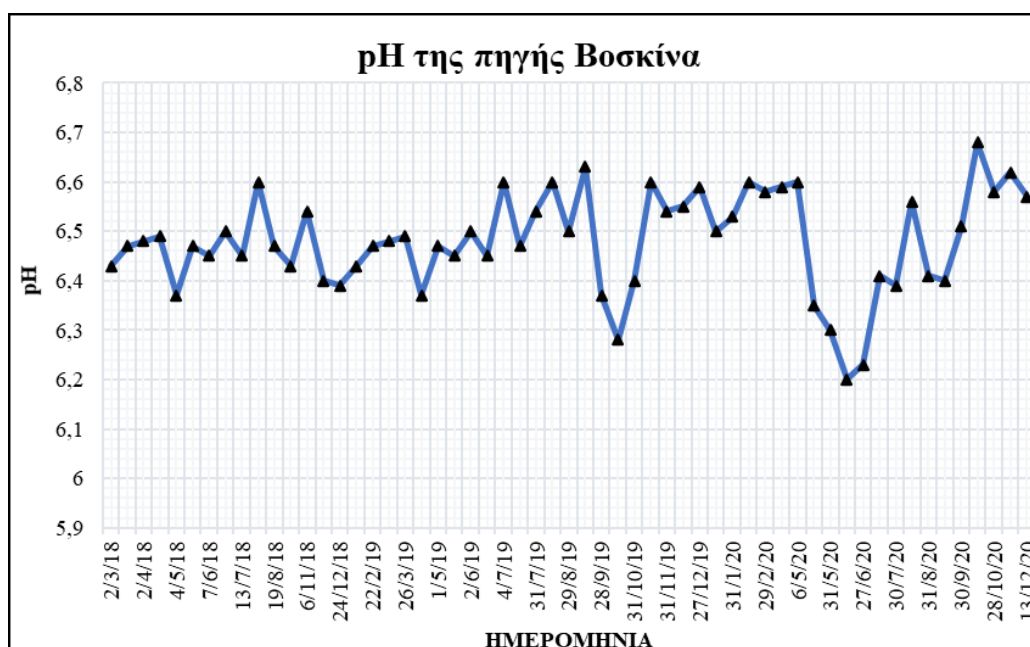


Σχήμα 5.6 Διακύμανση του pH του νερού της πηγής Αγίασμα κατά την περίοδο 2/3/2018 – 13/12/20.

Η χρονοσειρά των μετρήσεων του pH του νερού της πηγής Βοσκίνα παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.7. Η μέγιστη τιμή του pH καταγράφηκε στις 15/9/2019 ίση με 6,63, ενώ η ελάχιστη τιμή ίση με 6,2 καταγράφηκε στις 14/4/2020. Τα στατιστικά στοιχεία που υπολογίστηκαν για το pH της πηγής Βοσκίνα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.5.

Πίνακας 5.5 Στατιστικά στοιχεία του pH της πηγής Βοσκίνα.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ/ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	2/3/2018 – 13/12/2020
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ (N)	57
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ pH	6,68
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ pH	6,20
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	6,47
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	0,10



Σχήμα 5.7 Διακύμανση του pH του νερού της πηγής Βοσκίνα κατά την περίοδο 2/3/2018 – 13/12/2020.

5.5.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (EC)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα σχετίζεται με την περιεκτικότητα του νερού σε διαλυμένα άλατα και ιόντα καθώς και με τη θερμοκρασία. Το ανώτατο επιτρεπτό όριο της τιμής της αγωγιμότητας για οικιακή χρήση αντιστοιχεί σε 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (98/83/ΕΚ). Η αλατότητα του υπόγειου νερού αυξάνεται με το βάθος και είναι μεγαλύτερη σε σχέση με το επιφανειακό ως αποτέλεσμα της διάλυσης των σχηματισμών με τους οποίους έρχεται σε επαφή (Βουδούρης, 2009). Οι πηγές έρευνας εμφανίζουν μεγάλες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας οι οποίες κυμαίνονται

από 2000 μέχρι 3790 $\mu\text{S}/\text{cm}$ για την περίοδο 2/3/2020 – 30/9/2020. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην επίδραση υδροθερμικών ρευστών τα οποία λόγω της υψηλής τους θερμοκρασίας έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα.

Η χρονοσειρά των παρατηρήσεων της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) για την πηγή Αγίασμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.8. Η μέγιστη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ίση με 3790 $\mu\text{S}/\text{cm}$ καταγράφηκε στις 13/7/2018 ενώ η ελάχιστη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας βρέθηκε ίση με 2002 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στις 30/7/2020. Τα στατιστικά στοιχεία της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του Αγιάσματος δίνονται στον Πίνακα 5.6.

Πίνακας 5.6 Στατιστικά δεδομένα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) της πηγής Αγίασμα.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ/ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	2/3/2018 – 13/12/2020
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ (N)	57
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	3790
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2002
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	2576
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	459



Σχήμα 5.8 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας της πηγής Αγίασμα 2/3/2018 – 13/12/2020.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού της πηγής Βοσκίνα για την ίδια περίοδο παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.9. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο η πηγή της Βοσκίνας εκφορτίζει νερό ανάμειξης, καθώς στα αποθέματά του συμβάλει το νερό που προέρχεται από το καρστικό σύστημα της περιοχής το θερμό νερό που ανέρχεται από το ρήγμα. Σε αυτή

την περίπτωση η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC_{mix}) καθορίζεται από το ποσοστό συμμετοχής των δύο αυτών συστημάτων στη συνολική παροχή του νερού και υπολογίζεται από τον τύπο : $EC_{mix} = EC1 \cdot x + EC2 \cdot (1 - x)$, όπου EC_{mix} = η ηλεκτρική αγωγιμότητα του αναμεμειγμένου νερού, $EC1$, $EC2$ = οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας των νερών που αναμείχθηκαν, x το ποσοστό συμμετοχής του νερού της μιας ζώνης τροφοδοσίας (Βουδούρης 2009).

Από παλαιότερη μελέτη στην περιοχή μετρήθηκε η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού γεώτρησης ίση με 10.500 $\mu S/cm$, σημαντικά υψηλότερη από αυτήν του νερού της πηγής (Nimforoulos et al., 2002). Με βάση αυτό το στοιχείο προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι υψηλές τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που παρατηρούνται στο γράφημα οφείλονται είτε σε υψηλό ποσοστό εμπλουτισμού του νερού της πηγής σε θερμό νερό, είτε στην ελάττωση των υδατικών αποθεμάτων του ψυχρού καρστικού υδροφορέα. Η υψηλότερη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην πηγή Βοσκίνα, ίση με 2580 $\mu S/cm$ καταγράφηκε στις 31/5/2020, ενώ η χαμηλότερη τιμή σημειώθηκε στις 1/8/2018 ίση με 2070 $\mu S/cm$. Τα στατιστικά δεδομένα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για την πηγή Βοσκίνα δίνονται στον Πίνακα 5.7.

Πίνακας 5.7 Στατιστικά δεδομένα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) της πηγής Βοσκίνα.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ/ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	2/3/2018 – 13/12/2020
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ (N)	57
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ EC ($\mu S/cm$)	2580
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ EC ($\mu S/cm$)	2070
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (mean)	2160
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ($\mu S/cm$)	103



Σχήμα 5.9 Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας της πηγής Βοσκίνα 2/3/2018 – 13/12/2020.

5.6 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται συσχετισμός μεταξύ της παροχής και των φυσικοχημικών μεγεθών (pH, θερμοκρασία, ηλεκτρική αγωγιμότητα) για την κάθε πηγή ώστε να διαπιστωθεί ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλονται μεταξύ τους. Είναι γνωστό ότι η τιμή της παροχής επηρεάζει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού των πηγών (Βουδούρης, 2013). Κρίνεται σκόπιμο για την παρούσα διπλωματική εργασία να γίνει ο συσχετισμός αυτός για τις πηγές έρευνας με σκοπό να προσδιοριστεί η σχέση των μεγεθών μεταξύ τους. Υπολογίστηκε ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης r μεταξύ των παραμέτρων ο οποίος παίρνει τιμές από -1 ως 1 και ισχύουν οι περιπτώσεις:

- $0 < r < 1$ οι μεταβλητές έχουν θετική γραμμική συσχέτιση.
- $-1 \leq r < 0$ οι μεταβλητές έχουν αρνητική γραμμική συσχέτιση.
- $r = 0$ οι τιμές δεν έχουν καμία συσχέτιση.

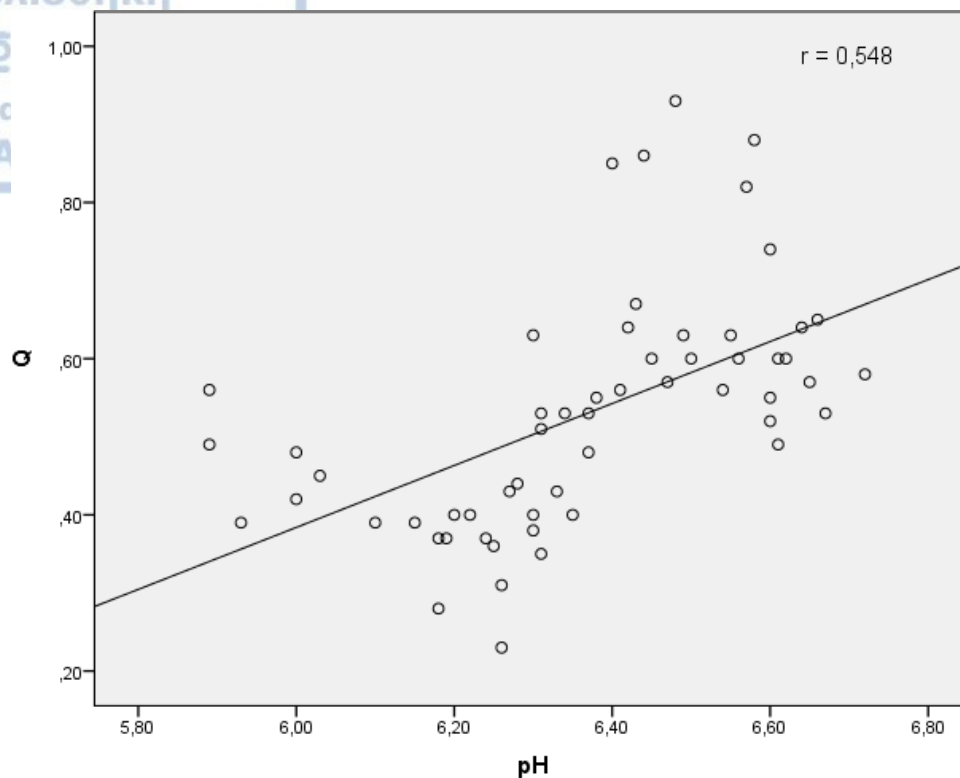
Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής σε απόλυτη τιμή (δηλαδή όσο πιο κοντά στο 1), τόσο καλύτερη είναι η μεταξύ τους συσχέτιση. Επιπλέον παρουσιάζονται διαγράμματα διασποράς για τη γραφική απεικόνιση της συσχέτισης των παραμέτρων.

Όπως διαπιστώνεται για την πηγή Αγίασμα (Σχήμα 5.10), η παροχή εμφανίζει σημαντική θετική συσχέτιση με το pH ($r = 0,548$) και αρνητική συσχέτιση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα ($r = -0,511$) (Σχήμα 5.11). Το γεγονός αυτό πιθανώς οφείλεται στις χημικές ιδιότητες του θερμού νερού. Όταν η τιμή της παροχής είναι μεγάλη τότε η συγκέντρωση του CO₂ και άλλων ενώσεων που μειώνουν το pH στο νερό είναι χαμηλή. Το ίδιο ισχύει και για τη συγκέντρωση των αλάτων που καθορίζουν την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

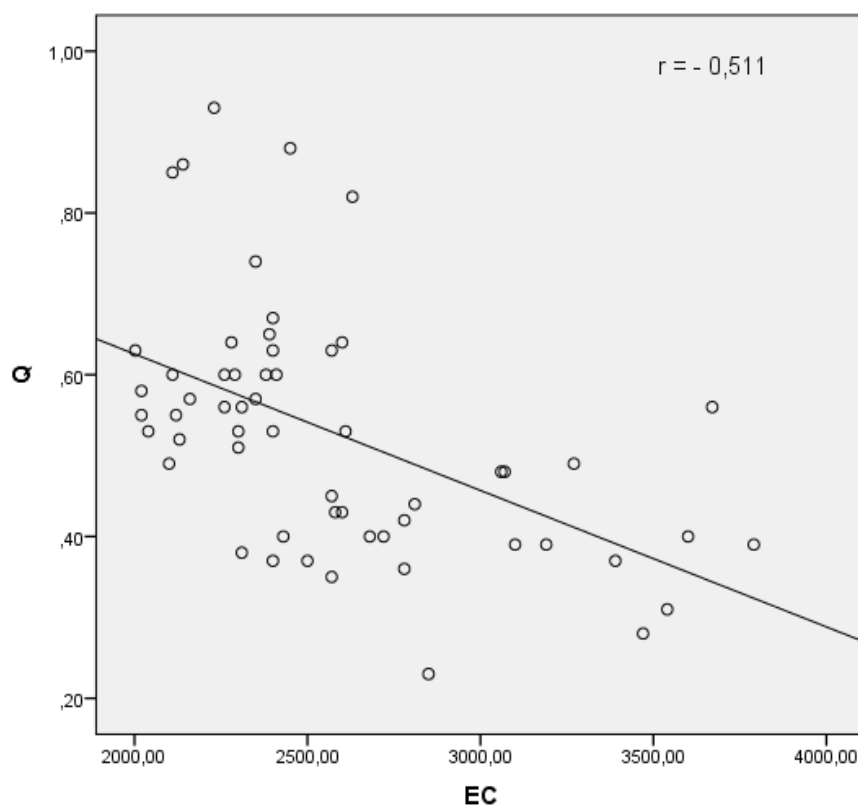
Η ισχυρή αρνητική συσχέτιση μεταξύ pH και αγωγιμότητας που φαίνεται στο Σχήμα 5.12 ($r = -0,744$) επιβεβαιώνει την παραπάνω θεώρηση, ομοίως και το γεγονός ότι η θερμοκρασία παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με το pH ($r = -0,346$) και θετική συσχέτιση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα ($r = 0,285$). Επίσης η συσχέτιση της θερμοκρασίας με την παροχή υπολογίστηκε θετική. ($r = 0,119$). Οι μικρές τιμές συσχέτισης της θερμοκρασίας με τις υπόλοιπες μεταβλητές οφείλονται ενδεχομένως στο μικρό βάθος του υδροφορέα (70 m) και της επιδεκτικότητας του στις εποχιακές μεταβολές της θερμοκρασίας λόγω της κατείσδυσης επιφανειακών υδάτων.

Πίνακας 5.8 Συντελεστής συσχέτισης (r) μεταξύ των φυσικοχημικών παραμέτρων και της παροχής για την πηγή Αγίασμα.

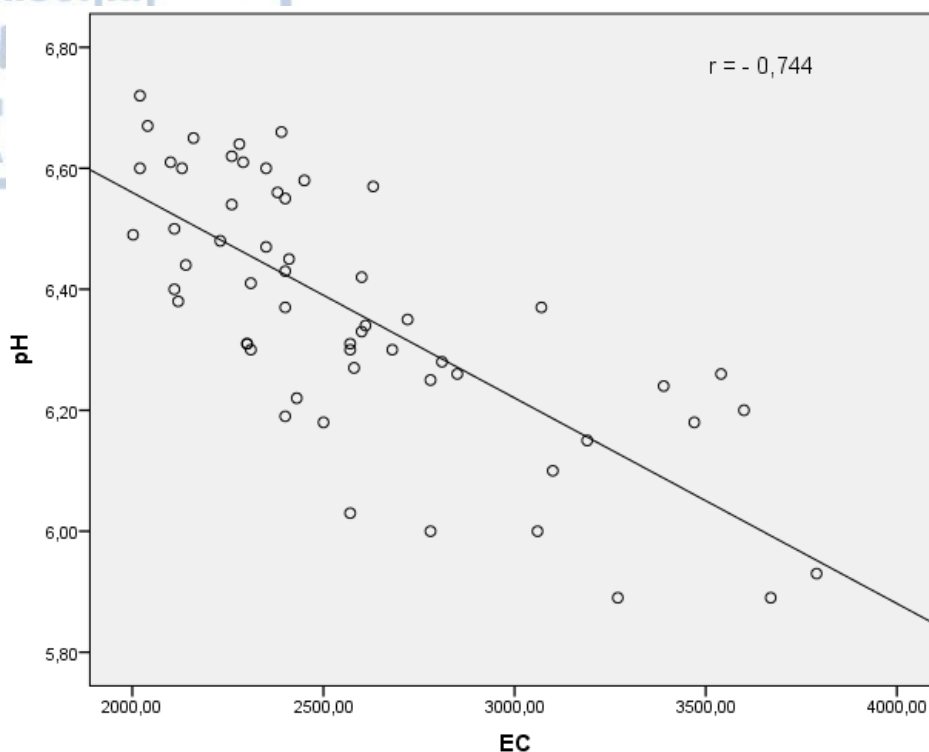
	Q	T	pH	EC
Q	1			
T	0,110	1		
pH	0,548	-0,341	1	
EC	-0,511	0,287	-0,744	1



Σχήμα 5.10 Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων παροχής (Q) και pH στην πηγή Αγίασμα.



Σχήμα 5.11 Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων παροχής (Q) και ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) στην πηγή Αγίασμα.



Σχήμα 5.12 Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και pH στην πηγή Αγίασμα.

Στην πηγή Βοσκίνα, σε αντίθεση με την πηγή Αγίασμα προέκυψε για την παροχή αρνητική συσχέτιση με το pH ($r = -0,344$) και θετική, ισχυρή συσχέτιση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα ($r = 0,682$). Η συσχέτιση του pH με την αγωγιμότητα είναι αρνητική ($r = -0,521$) όπως και στο Αγίασμα. Από τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει το πιθανό συμπέρασμα πως η αύξηση της παροχής οφείλεται στην επίδραση του υδροθερμικού ρευστού το οποίο τροφοδοτεί την πηγή.

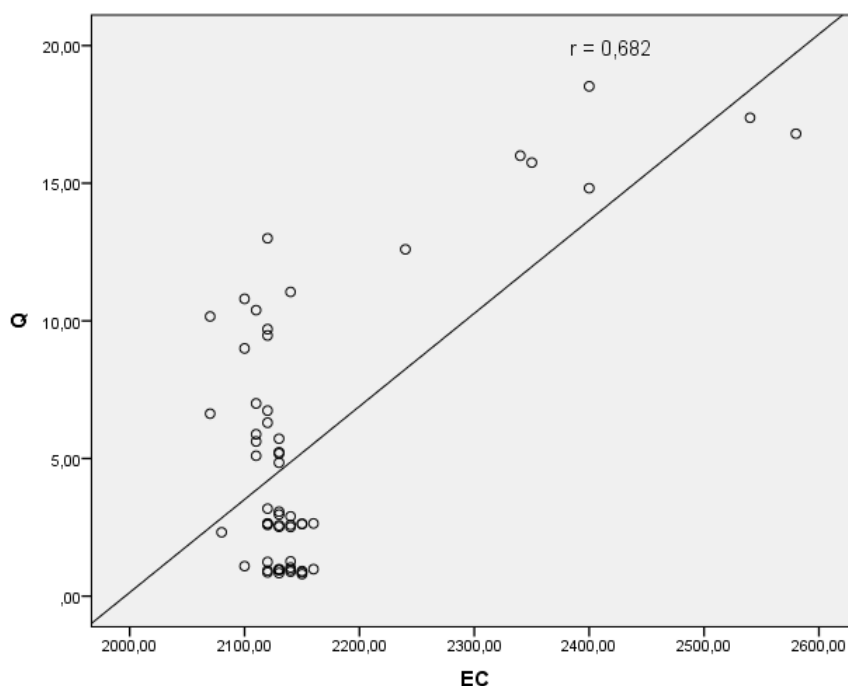
Επομένως όπως προκύπτει από τα δεδομένα η ξαφνική αύξηση της τιμής της παροχής που παρατηρήθηκε στις 6/5/2020 οφείλεται κατά κάποιο βαθμό στην εκτόνωση του υδροθερμικού συστήματος, καθώς αν αντιπαραβάλουμε τις δύο χρονοσειρές παρατηρείται ταυτόχρονη αύξηση (peak) παροχής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Επιπροσθέτως η αρνητική συσχέτιση pH και αγωγιμότητας και στις δύο πηγές έρευνας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το αγωγίμο ρευστό έχει χαμηλότερο pH σε σχέση με το νερό του καρστικού υδροφορέα. Η θεωρία αυτή ενισχύεται παρατηρώντας γραφικά τις διακυμάνσεις των δύο αυτών μεγεθών, καθώς η αύξηση της αγωγιμότητας (peak) συνοδεύτηκε με ταυτόχρονη βουτιά της τιμής του μετρούμενου pH.

Σημειώνεται επίσης ότι σύμφωνα με παλαιότερες μελέτες έχουν καταγραφεί παρόμοιες μεταβολές της παροχής και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας όπως την περίοδο Μαρτίου 2004 όπου η παροχή αυξήθηκε από 15 m³/h σε 70 m³/h και

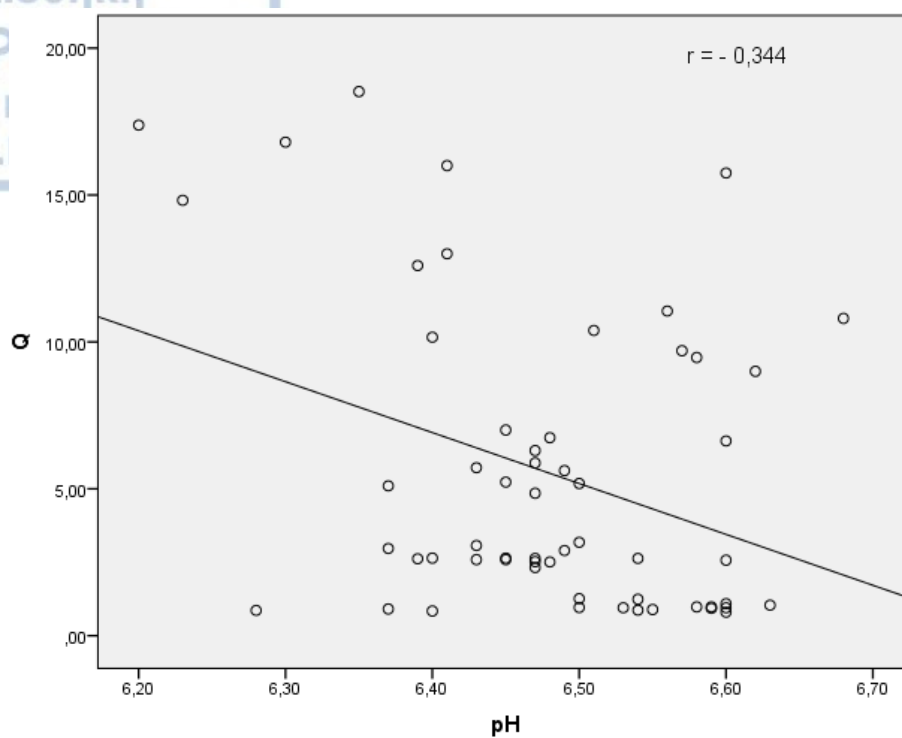
ταυτόχρονα η αγωγιμότητα αυξήθηκε από τα 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στα 8530 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Ναγκούλης, 2009). Το γεγονός αυτό υποδεικνύει πως ο θερμός υδροφορέας εκφορτίζεται και στη συνέχεια στερεύει σταδιακά, δηλαδή πραγματοποιείται περιοδική εκτόνωση του γεωθερμικού συστήματος. Η θερμοκρασία παρουσιάζει θετική συσχέτιση με την παροχή ($r = 0,323$) και με την ηλεκτρική αγωγιμότητα ($r = 0,190$), ενώ η συσχέτισή της με την παράμετρο του pH είναι πρακτικά ασήμαντη ($r = 0,074$), καθώς είναι πολύ κοντά στο μηδέν. Όπως και στην περίπτωση της πηγής του Αγιάσματος η θερμοκρασία εμφανίζει μικρές τιμές συσχέτισης με τις υπόλοιπες παραμέτρους και αυτό μπορεί να οφείλεται σε παράγοντες όπως το βάθος του υδροφορέα και η διπλή ζώνη τροφοδοσίας της πηγής (από τον καρστικό υδροφορέα και το υδροθερμικό ρευστό).

Πίνακας 5.9 Συντελεστής συσχέτισης (r) μεταξύ των φυσικοχημικών παραμέτρων και της παροχής για την πηγή Βοσκίνα.

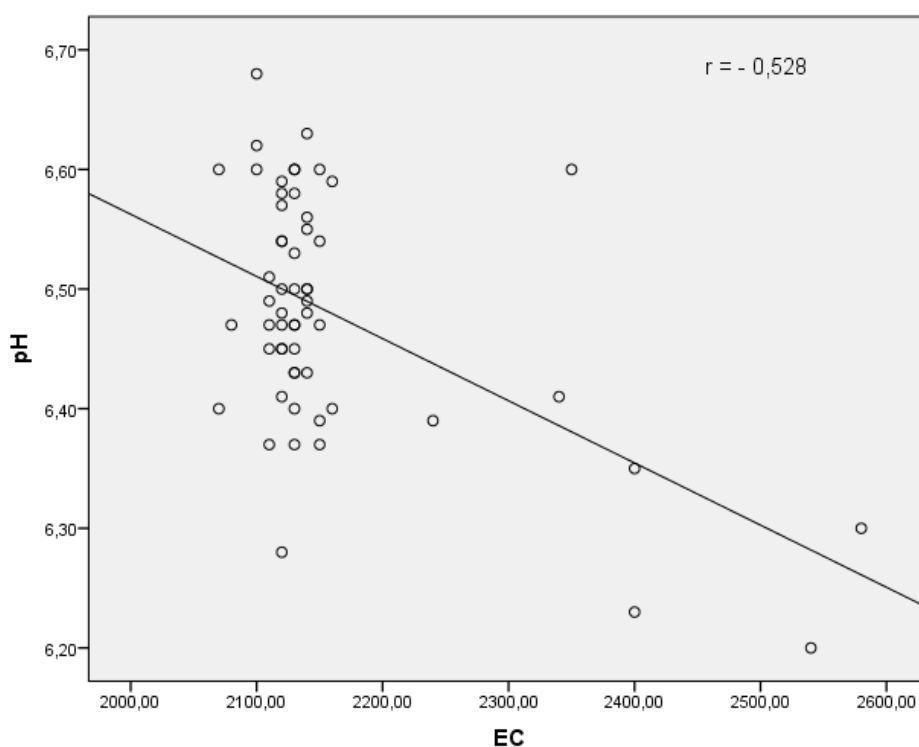
	Q	T	pH	EC
Q	1			
T	0,323	1		
pH	-0,344	0,090	1	
EC	0,682	0,190	-0,528	1



Σχήμα 5.13 Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων παροχής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας της πηγής Βοσκίνα.



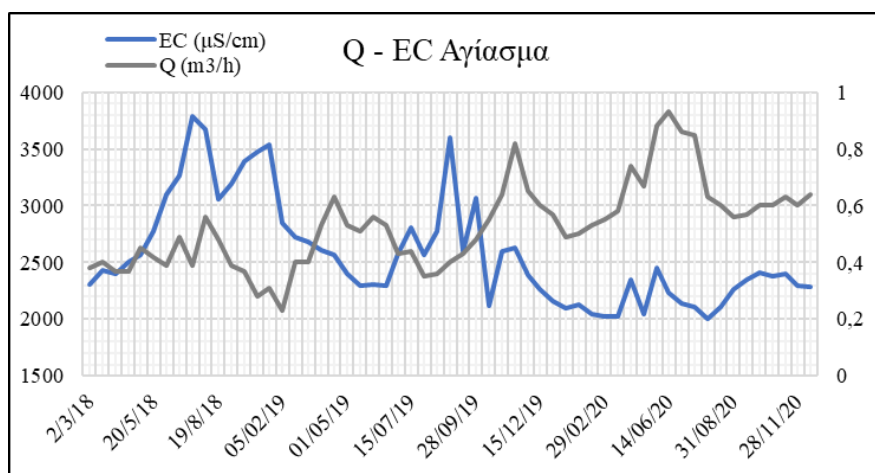
Σχήμα 5.14 Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων παροχής (Q) και pH της πηγής Βοσκίνα.



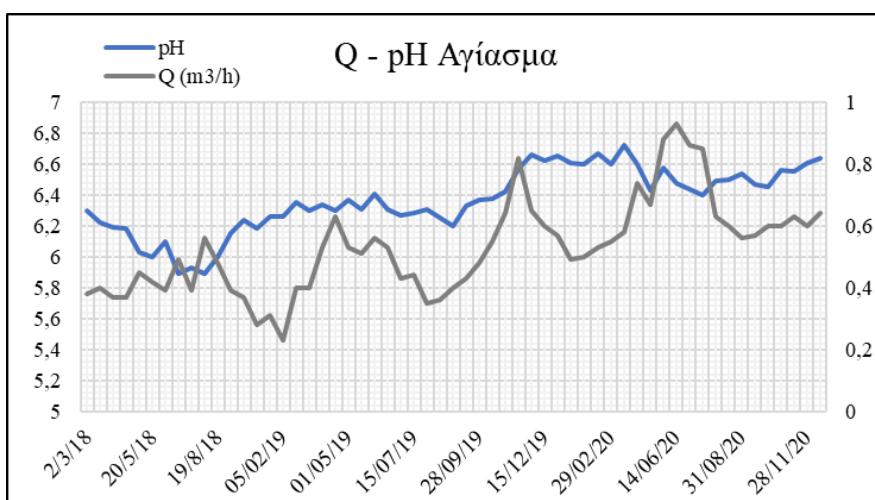
Σχήμα 5.15 Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων ηλεκτρικής αγωγιμότητας και pH της πηγής Βοσκίνα.

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται οι γραφικές απεικονίσεις της διακύμανσης μεταξύ της παροχής και των φυσικοχημικών παραμέτρων για τη χρονοσειρά παρατήρησης 2/3/2018 – 13/12/2020 (Σχήμα 5.16 - Σχήμα 5.25).

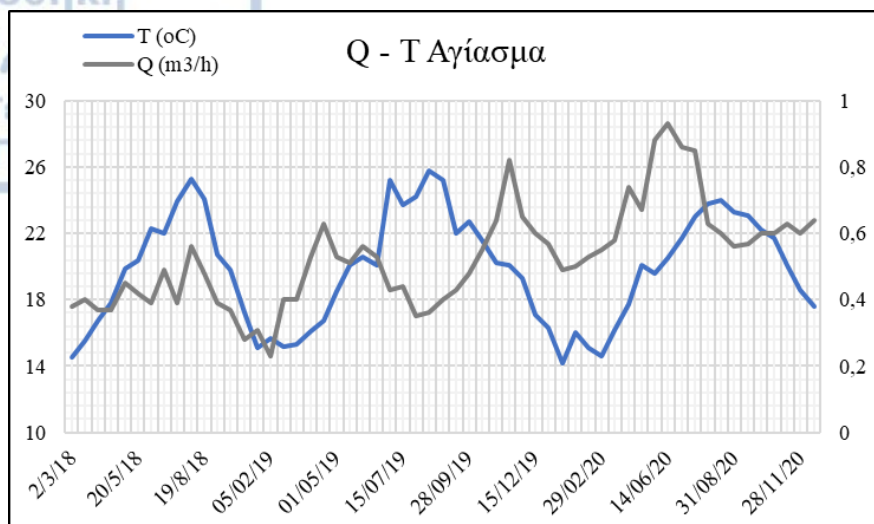
Σύμφωνα με το διάγραμμα του Σχήματος 5.16 για το νερό της πηγής Αγίασμα, παρατηρείται μείωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά τις περιόδους όπου η παροχή είναι αυξημένη, ενώ όταν η παροχή είναι χαμηλή, η ηλεκτρική αγωγιμότητα εμφανίζει τις μέγιστες τιμές της (peaks). Πιο αναλυτικά, η παροχή σε σχέση με το pH, φαίνεται παρατηρώντας το Σχήμα 5.17 ότι παρουσιάζουν αυξητική τάση, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από την θετική τους συσχέτιση ($r = 0,548$). Οι τιμές του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρουσιάζουν όπως αναφέρθηκε την μεγαλύτερη απόλυτη συσχέτιση ($r = - 0,744$). Η σχέση αυτή αποδεικνύεται και από το Σχήμα 5.20, όπου τα δύο αυτά μεγέθη μεταβάλλονται με αντίστροφο τρόπο.



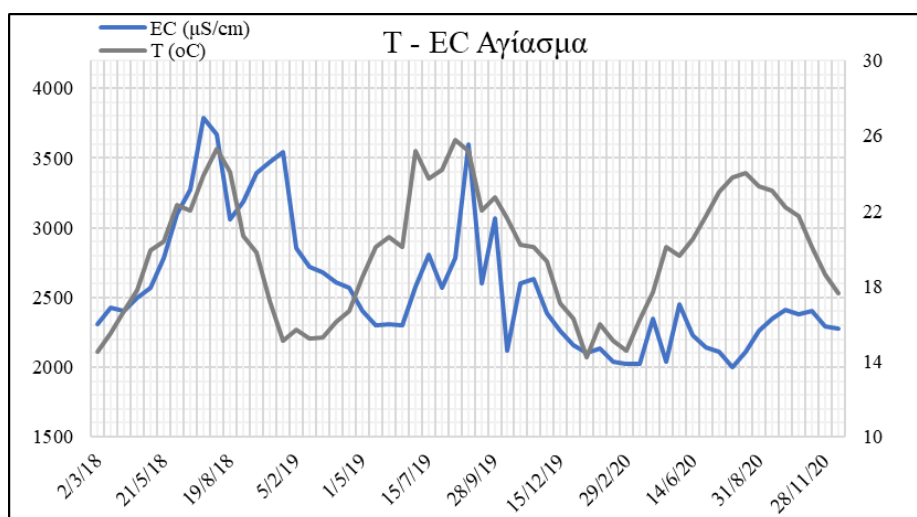
Σχήμα 5.16 Διακύμανση παροχής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού της πηγής Αγίασμα για την περίοδο 2/3/2018 – 13/12/2020.



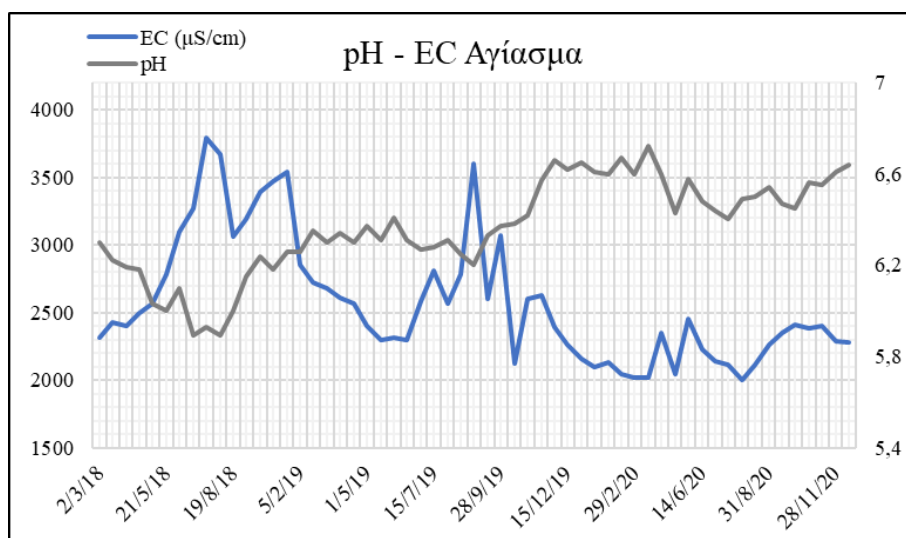
Σχήμα 5.17 Διακύμανση παροχής και pH του νερού της πηγής Αγίασμα για την περίοδο 2/3/2018 – 13/12/2020.



Σχήμα 5.18 Διακύμανση παροχής και θερμοκρασίας του νερού της πηγής Αγίασμα για την περίοδο 2/3/2018 – 13/12/2020.



Σχήμα 5.19 Διακύμανση ηλεκτρικής αγωγιμότητας και θερμοκρασίας του νερού της πηγής Αγίασμα για την περίοδο 2/3/2018 – 13/12/2020.

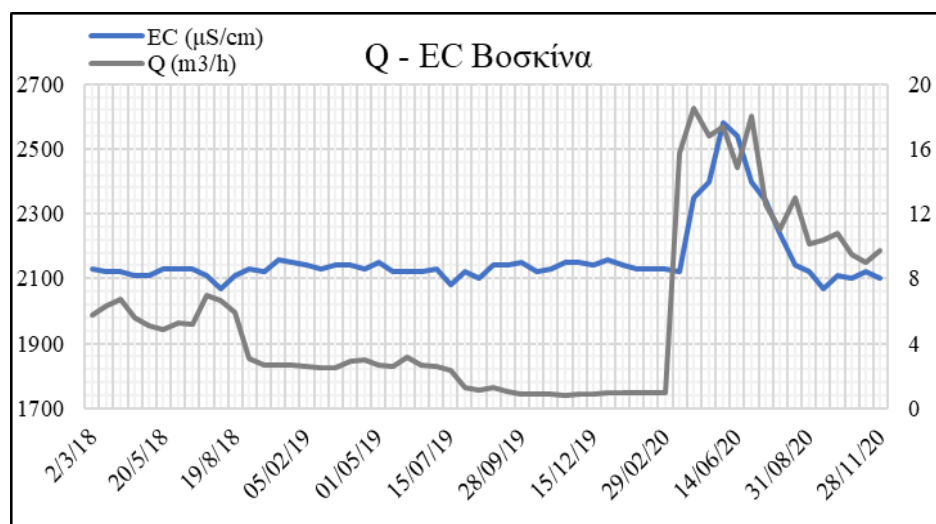


Σχήμα 5.20 Διακύμανση ηλεκτρικής αγωγιμότητας και pH του νερού της πηγής Αγίασμα για την περίοδο 2/3/2018 – 13/12/2020.

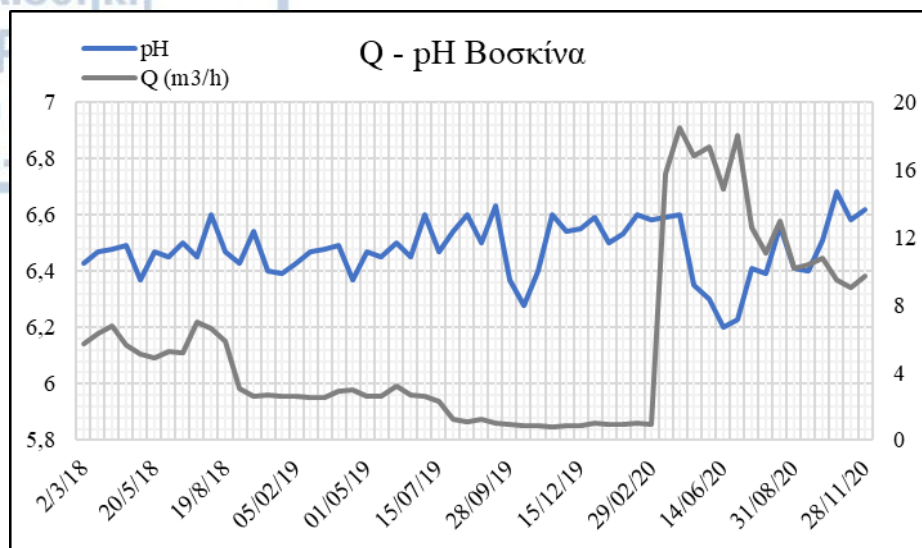
Αναφορικά με την πηγή Βοσκίνα, η διακύμανση της παροχής σε σχέση με το pH και την ηλεκτρική αγωγιμότητα για την περίοδο 2/3/2018 – 13/12/2020 παρουσιάζεται στα Σχήματα 5.21, 5.22 και 5.23 αντίστοιχα.

Όπως παρατηρείται για το διάστημα Μαΐου 2020 – Ιουλίου 2020 μετρήθηκε ακραία αύξηση των τιμών της παροχής και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και πτώση των τιμών του pH ως αποτέλεσμα της επίδρασης του γεωθερμικού συστήματος που αναφέρθηκε παραπάνω.

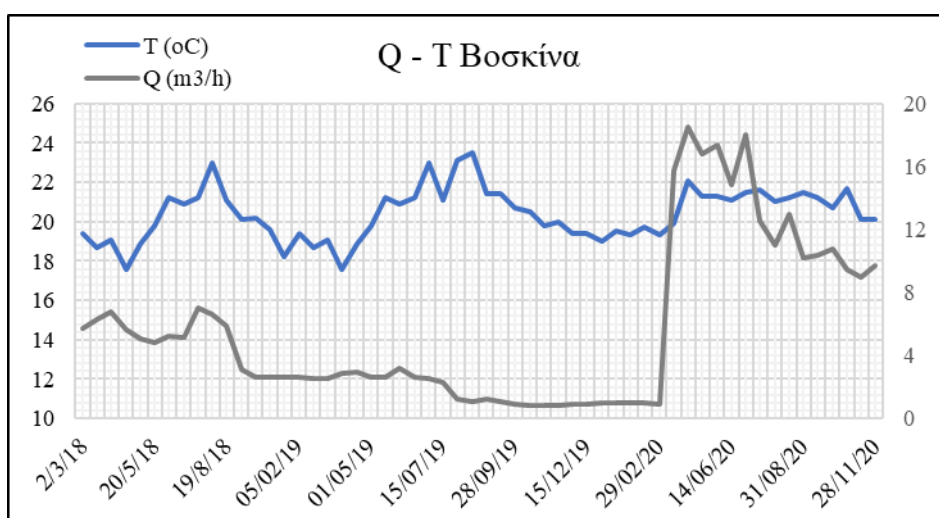
Η πορεία των καμπυλών του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.24, όπου παρατηρείται αιφνίδια μεταβολή, δηλαδή ραγδαία αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και χαρακτηριστική πτώση στις τιμές του pH. Στο Σχήμα 5.25 παρουσιάζονται οι καμπύλες της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας οι οποίες δεν δείχνουν κάποια κοινή τάση όπως αποδεικνύεται και από τη χαμηλή τους συσχέτιση.



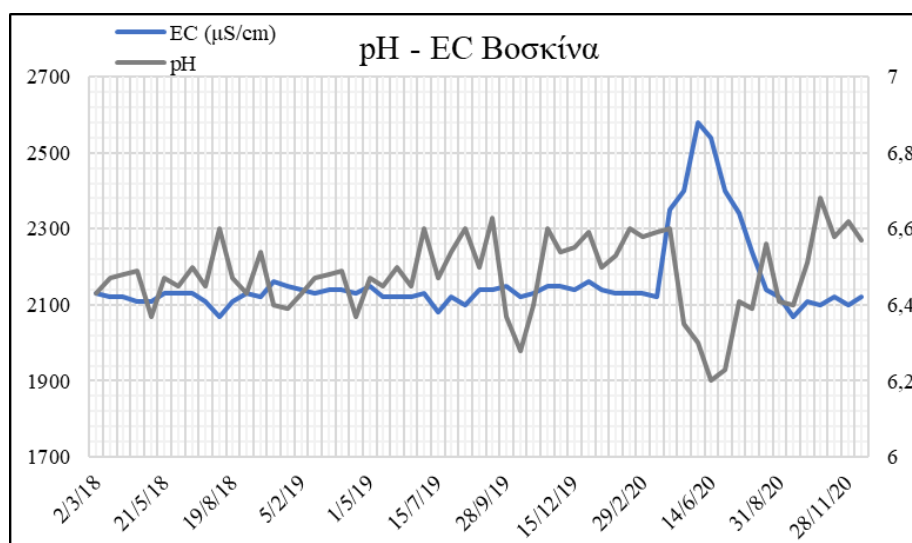
Σχήμα 5.21 Διακύμανση παροχής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού της πηγής Βοσκίνα για την περίοδο 2/3/2018 – 13/12/2020.



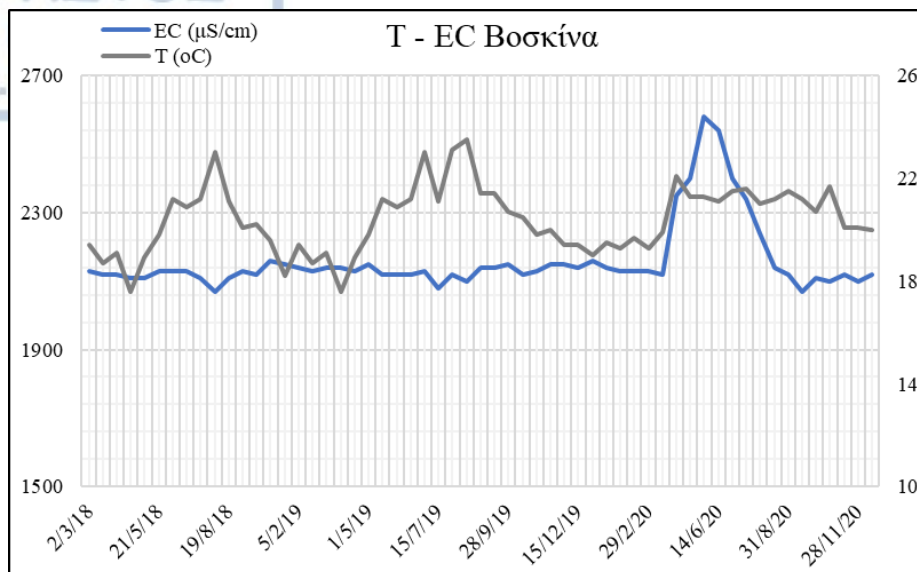
Σχήμα 5.22 Διακύμανση παροχής και pH του νερού της πηγής Βοσκίνα για την περίοδο 2/3/2018 – 13/12/2020.



Σχήμα 5.23 Διακύμανση παροχής και θερμοκρασίας του νερού της πηγής Βοσκίνα για την περίοδο 2/3/2018 – 13/12/2020.



Σχήμα 5.24 Διακύμανση pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού της πηγής Βοσκίνα για την περίοδο 2/3/2018 – 13/12/2020.



Σχήμα 5.25 Διακύμανση της θερμοκρασίας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού της πηγής Βοσκίνα για την περίοδο 2/3/2018 – 13/12/2020.

5.7 ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

Ο χημισμός του υπόγειου νερού εξαρτάται από τους σχηματισμούς με τους οποίους έρχεται σε επαφή και από τις χημικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα. Άλλοι σημαντικοί παράγοντες είναι η χημική σύσταση και η διακύμανση της ποσότητας του μετεωρικού νερού ή οι μεταβολές της εξατμισοδιαπνοής, οι βιοχημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στα στρώματα του εδάφους, η θαλάσσια διείσδυση καθώς και η ανθρώπινη δραστηριότητα. Τα κύρια ιόντα που απαντώνται σε ποσοστό 90 % των συνολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στο υπόγειο νερό είναι το νάτριο (Na^+) το ασβέστιο (Ca^{2+}) το χλώριο (Cl^-) το μαγνήσιο (Mg^{2+}), το οξείδιο του θείου (SO_4^{2-}) και το όξινο ανθρακικό ιόν (HCO_3^-). Το υπόγειο νερό μπορεί να έχει στη σύστασή του δευτερεύοντα ιόντα και μέταλλα που ονομάζονται ιχνοστοιχεία όπως το κάλιο (K^+), ο σίδηρος (Fe^{2+}), το φθόριο (F^-), το στρόντιο (Sr^{2+}) το μαγγάνιο (Mn^{4+}) και άλλα στοιχεία. Επιπλέον στη σύσταση του υπόγειου νερού συμμετέχουν αέρια όπως το CO_2 και το H_2S τα οποία συνήθως έχουν γεωθερμική προέλευση και έχουν παρατηρηθεί στο νερό των πηγών έρευνας (Nimforoulos, 2002; Ναγκούλης, 2009).

Όσον αφορά στις πηγές έρευνας υπάρχουν από τη βιβλιογραφία (διδασκοτικές έρευνες, μελέτες) διαθέσιμες χημικές αναλύσεις, μερικές από τις οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.12. Όπως φαίνεται στον πίνακα η πηγή της Βοσκίνας την περίοδο 4/2004 παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε Cl^- , Na^+ , HCO_3^- , Li^+ , και

CO₂ καθώς και πολύ αυξημένη παροχή, γεγονός που οφείλεται στην εκτόνωση του γεωθερμικού συστήματος και στο μεγάλο ποσοστό συμμετοχής του υδροθερμικού ρευστού για την οποία έγινε λόγος στο παραπάνω κεφάλαιο.

Πίνακας 5.10 Χημικές αναλύσεις του νερού της πηγής Βοσκίνα (Καζάκης 2013 & 2016, Ναγκούλης 2009, Μήτρακας 2000).

Στοιχείο (mg/L)	Μονάδα μέτρησης	04/2004	07/2000	05/2010	09/2015	09/2016
Na ⁺	mg/L	1429,9	193,3	154	591	208
Cl ⁺	mg/L	2019,9	330,2	276	875	389
HCO ₃	mg/L	2043,5	850,9	565	-	-
Ca ²⁺	mg/L	450,4	263,8	218	350	288
Mg ²⁺	mg/L	41,8	27,7	30	34	31
SO ₄ ²⁺	mg/L	15,5	55,4	56	-	-
K ⁺	mg/L	65,7	7,1	6	30	10
Li ⁺	mg/L	3950	0,51	-	1,6	0,5
Fe	mg/L	6,2	-	25	-	-
B	mg/L	14,5	10,3	-	8	13
CO ₂	mg/L	1300	450	-	-	-
Παροχή	(m ³ /h)	70	15	-	11,4	15,25

Στον Πίνακα 5.13 παρουσιάζονται οι διαθέσιμες από τη βιβλιογραφία χημικές αναλύσεις του νερού της πηγής του αγιάσματος. Η πηγή αυτή έχει υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο γεγονός που φαίνεται και μακροσκοπικά από το χαρακτηριστικό πορτοκαλί χρώμα που προσδίδει ο σίδηρος, καθώς . Η πηγή αυτή έχει χαρακτηριστεί για το λόγο αυτό ως σιδηρούχα πηγή (Ναγκούλης, 2009). Από τα δεδομένα των αναλύσεων προκύπτει επίσης ότι η συγκέντρωση των στοιχείων στο νερό αυξάνεται όταν η παροχή είναι μειωμένη (Καζάκης, 2016).

Πίνακας 5.11 Χημικές αναλύσεις του νερού της πηγής Αγίασμα (Καζάκης 2013 & 2016).

Στοιχείο (mg/L)	Μονάδα μέτρησης	09/2010	09/2015	01/2016	06/2016
Na ⁺	mg/L	85	950	521	390
Cl ⁺	mg/L	520	1325	614	614
HCO ₃	mg/L	1510	-	-	-
Ca ²⁺	mg/L	160	375	202	287
Mg ²⁺	mg/L	16	31	26	26
SO ₄ ²⁺	mg/L	2	-	-	-
K ⁺	mg/L	55	71	35	33
Fe	mg/L	400	-	-	-
B	mg/L	-	8	26	23,8
Παροχή	(m ³ /h)	-	0,25	0,39	0,49

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα:

Πηγή Αγίασμα:

- Η πηγή Αγίασμα εκφορτίζει θερμό υδροφορέα, ενώ κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου αναμειγνύεται με ψυχρά νερά επιφανειακού υδροφορέα.
- Το pH του νερού της πηγής αγίασμα χαρακτηρίζεται ως όξινο, παρουσιάζοντας τιμές από 5,89 έως 6,72.
- Η θερμοκρασία του νερού της πηγής του Αγιάσματος παρουσιάζει εποχική διακύμανση. Για το διάστημα παρατήρησης μετρήθηκε μέγιστη θερμοκρασία ίση με 25,8 °C τον Αύγουστο του 2019, ενώ στα τέλη Ιανουαρίου του ίδιου χρόνου η θερμοκρασία του νερού της πηγής μετρήθηκε ίση με 14,2 °C.
- Οι πηγή Αγίασμα όπως και η Βοσκίνα παρουσιάζουν υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, ως συνέπεια των υδροθερμικών ρευστών. Ειδικότερα οι μέγιστη τιμή της αγωγιμότητας μετρήθηκε ίση με 3790 $\mu\text{S}/\text{cm}$ για την πηγή Αγίασμα,
- Τα αγωγή ρευστά που εκφορτίζει η πηγή του Αγιάσματος παρουσιάζουν χαμηλό pH.

Πηγή Βοσκίνα:

- Η πηγή Βοσκίνα εκφορτίζει νερό ανάμειξης του καρστικού υδροφορέα και γεωθερμικών ρευστών.
- Η κατακόρυφη αύξηση της παροχής στην πηγή Βοσκίνα οφείλεται στην εκτόνωση του γεωθερμικού συστήματος της περιοχής. Το παραπάνω γεγονός τεκμηριώνεται από την ταυτόχρονη αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού της πηγής που οφείλεται στην αυξημένη περιεκτικότητα του υδροθερμικού ρευστού. Η μέγιστη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μετρήθηκε ίση με 2580 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Οι μεταβολές στη θερμοκρασία του νερού της πηγής Βοσκίνα σε αντίθεση με το Αγίασμα δεν οφείλεται σε εποχιακές αλλαγές, αλλά στο βαθμό επιρροής των δύο συστημάτων.
- Το pH του νερού της πηγής Βοσκίνα χαρακτηρίζεται ως όξινο και η τιμή του μεταβάλλεται ανάλογα με τον τρόπο αλληλεπίδρασης των δύο υπόγειων συστημάτων. Σημειώνεται ότι τα υδροθερμικά ρευστά όπως και στην περίπτωση του Αγιάσματος παρουσιάζουν χαμηλό pH.

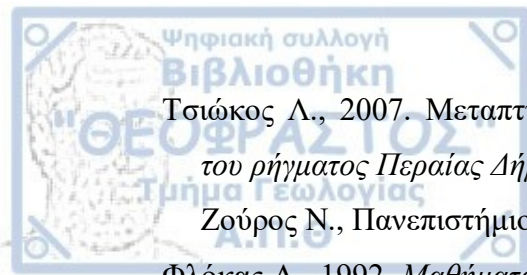
6.1 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Ορισμένες προτάσεις που κρίνεται ωφέλιμο να σημειωθούν για περαιτέρω έρευνα και κατανόηση του υδρογεωλογικού καθεστώτος των πηγών είναι οι εξής:

1. Εγκατάσταση μετεωρολογικών σταθμών σε διαφορετικά υψόμετρα στην περιοχή των πηγών για την ασφαλή εκτίμηση του υδρολογικού ισοζυγίου.
2. Εκτενής γεωλογική χαρτογράφηση των σχηματισμών της περιοχής, εντοπισμός καρστικών δομών και αναβλύσεων στον ασβεστολιθικό σχηματισμό.
3. Χημικές αναλύσεις του νερού των πηγών και των αναβλύσεων παράλληλα με τη μέτρηση της παροχής και των φυσικοχημικών παραμέτρων στο πεδίο.

Σημειώνεται ότι η εγκυρότητα όλων των παραπάνω συμπερασμάτων και προτάσεων χρειάζεται να στηριχθεί σε μακρά χρονοσειρά παρατηρήσεων με σκοπό την σε βάθος κατανόηση του υδρογεωλογικού καθεστώτος, που καθορίζει τη λειτουργία των πηγών.

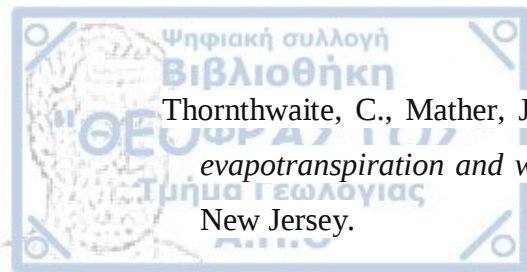
- Αγγελίδης Ζ., Μανασής Μ., Γαβριηλίδης Γ., Καραμήτσιος Ν. *Μελέτη ανακήρυξης ως ιαματικής πηγής «Βόσκινα» Δήμου Βασιλικών Θεσσαλονίκης*. Αδημοσίευτη Τεχνική έκθεση.
- Βαλσαμάρας Δ., Ναγκούλης Α., 1990. *Απογραφή σημείων ύδατος λεκάνης Ανθεμούντα*. Αδημοσίευτη Τεχνική έκθεση.
- Βουδούρης Κ., 2013. *Τεχνική υδρογεωλογία- υπόγεια νερά*. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σελ. 244, 256-258, 337-338, 342-347, 355-360.
- Βουδούρης Κ., 2009. *Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος*. Εκδόσεις Τζιόλα σελ. 79 – 81.
- Βουδούρης Κ., 2009. *Εκμετάλλευση και διαχείριση υπόγειου νερού*. Εκδόσεις Τζιόλα.
- Ζερβοπούλου Α., Παυλίδης Σ., 2005. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Μορφοτεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής Θεσ/νίκης για τη χαρτογράφηση νεοτεκτονικών ρηγμάτων*, Αθήνα, τομ. XXXVIII.
- Καζάκης Ν., 2013. *Εκτίμηση της διακινδύνευσης εσωτερικής ρύπανσης των υπογείων νερών, Εφαρμογή στη λεκάνη του Ανθεμούντα*. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.
- Καζάκης Ν., 2016. *Διερεύνηση της προέλευσης και των διεργασιών απελευθέρωσης του Αρσενικού στο υπόγειο νερό στη Λεκάνη του Ανθεμούντα στη Βόρειο Ελλάδα*., Μεταδιδακτορική Διατριβή, Επιβλέπων Καθηγ. Βουδούρης Κ., Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Καϊοπούλου Μ., 2019. *Επεξεργασία δεδομένων παροχής, pH, θερμοκρασίας και αγωγιμότητας των πηγών Βοσκίνα και Αγίασμα στη Λεκάνη του Ανθεμούντα*. Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.
- Μουντράκης Δ., 2010. *Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας*, University Studio Press, σελ. 49 – 51, 62 – 68.
- Σούλιος Γ., 1986. *Γενική Υδρογεωλογία*, Πρώτος και Δεύτερος Τόμος. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Σουρωτή Α.Ε., 2009. *Υδρογεωλογική-Γεωλογική Μελέτη για την αναγνώριση του νερού της γεώτρησης ΓΙ της Σουρωτής του Δήμου Βασιλικών Ν. Θεσσαλονίκης, ως ιαματικού*, Θεσσαλονίκη σελ. 22, 30, 37-38, 61.
- Συρίδης Γ., 1990 *Λιθοστρωματογραφική, Βιοστρωματογραφική και Παλαιογεωγραφική μελέτη των Νεογενών-Τεταρτογενών ιζηματογενών σχηματισμών της χερσονήσου Χαλκιδικής*. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.



- Τσιώκος Α., 2007. Μεταπτυχιακή Εργασία, *Γεωλογική και Μορφοτεκτονική μελέτη του ρήγματος Περαίας Δήμου Θερμαϊκού, Νομού Θεσσαλονίκης*, Επιβλέπων Καθηγ. Ζούρος Ν., Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.
- Φλόκας Α., 1992. *Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας*. Εκδόσεις Ζήτη, σελ. 334.

Ξένη βιβλιογραφία

- Bakalowicz M., 2020. *From Jovan Cvijic to Alain Mangin or how a karst landscape was transformed into a complex karst hydrosystem*. Springer Nature Switzerland AG 2020
- Bakalowicz M., 2015. *Karst and karst groundwater resources in the Mediterranean*. Environmental earth sciences.
- Demek, J., 1972 *Manual of Detailed Geomorphological Mapping*. Academia, Prague, 344 p.
- Dikau, R., 1989 The application of a digital relief model to landform analysis. In: Raper, J. F. ed 1989 *Three dimensional application in GIS*. Taylor and Francis, London, pp 51-77.
- Ennio V. Giusti and William J. Schneider, 1965. *Physiographic and Hydraulic Studies of Rivers*.
- Gregory, K.J., and Walling, D.E., 1973 *Drainage Basin Form and Process*. Fletcher and Son Ltd, Norwich, 456 p.
- Hiscock, K.M. and Bense, V.F. 2014. *Hydrogeology Principles and Practice*, 2nd edition.
- Köppen, W., - Geiger, R., 1936 *Handbuch der Klimatologie*. Berlin.
- Nimfopoulos M., Hadjispyrou S., D.A. Polya, 2002. *Geochemical conditions and environmental pollution from hydrothermal waters of the Anthemous basin, Thessaloniki, N. Greece*. 6th Congress of the Geographical Society of Greece. Volume II.
- Strahler, A.N., 1957 Quantitative analysis of watershed geomorphology. Trans. Amer. Geophys. Union 38, 913-20.



Thornthwaite, C., Mather, J., 1957. *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance*. Publication in Climatology, Vol. 10, No3, New Jersey.

Tranos M., I.D. Meladiotis, E.P. Tsolakopoulos, 2004. *Geometrical characteristics, scaling properties and seismic behavior of the faulting of the Chortiatis region and Anthemountas basin (Northern Greece)*. Proceedings of 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ι. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ



Σχήμα 1.1 Μέτρηση φυσικοχημικών παραμέτρων στην πηγή Αγίασμα.



Σχήμα 1.2 Μέτρηση φυσικοχημικών παραμέτρων στην πηγή Βοσκίνα.

II. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΗΓΗ ΒΟΣΚΙΝΑ



Σχήμα 2.1 Φωτογραφία 6/5/2020.



Σχήμα 2.2 Φωτογραφία 12/7/2020.



Σχήμα 2.3 Φωτογραφία 30/9/2020.

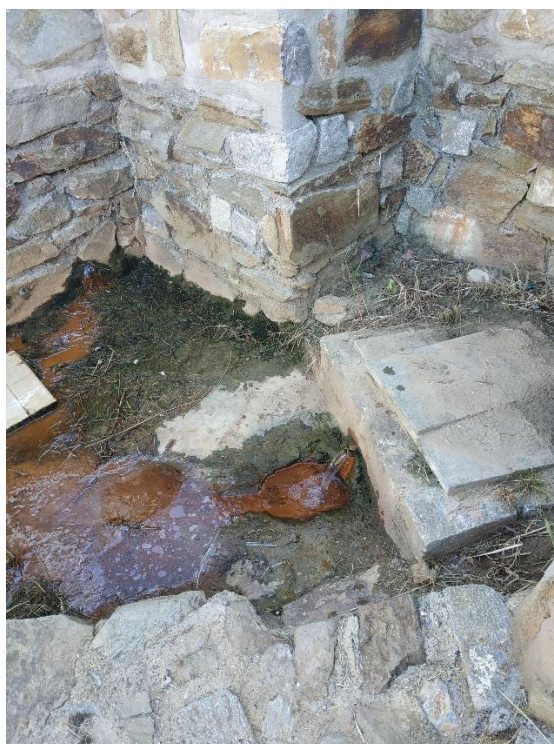
III. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΗΓΗ ΑΓΙΑΣΜΑ



Σχήμα 3.1 Φωτογραφία 15/12/2019.



Σχήμα 3.2 Φωτογραφία 12/7/2020.



Σχήμα 3.3 Φωτογραφία 30/9/2020.