

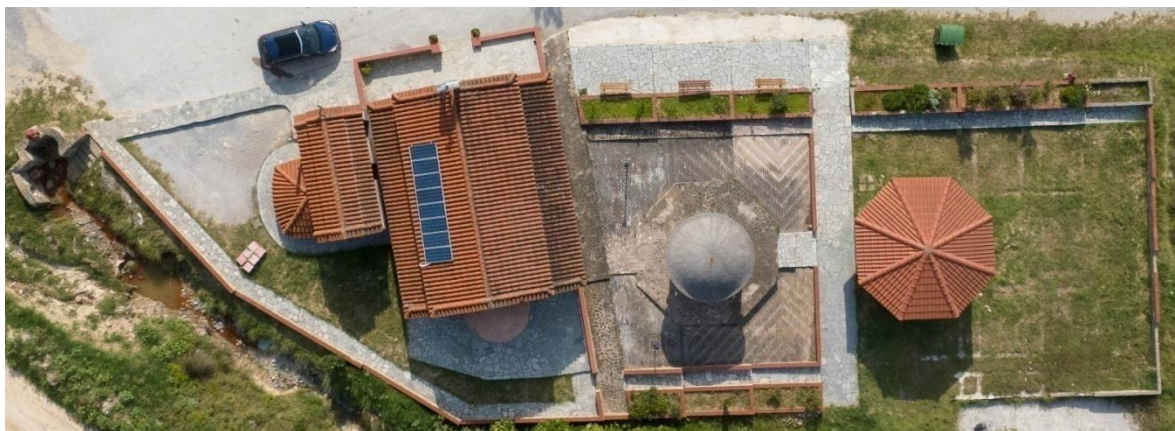


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΜΠΕΚΑΣ ΕΠΑΜΕΙΝΩΝΔΑΣ- ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ
ΠΑΡΟΧΗΣ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ
ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2020-2021

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2023





ΜΠΕΚΑΣ ΕΠΑΜΕΙΝΩΝΔΑΣ- ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΑΕΜ: 5356

**ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ
ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ
ΤΟΥ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2020-2021**

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

Επιβλέπων

Κωνσταντίνος Βουδούρης, Καθηγητής

Επικουρία στην Επίβλεψη

Νεραντζής Καζάκης, Δρ. Υδρογεωλογίας





©Μπέκας Επαμεινώνδας Παναγιώτης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωλογίας, 2023.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

METABOLH TΩN ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣΚΑΡΣΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2020-2021. Προπτυχιακή Διπλωματική εργασία.

© Bekas Epameinodas Panagiotis, School of Geology, Dept. of Geology, 2023

All rights reserved.

VARIATION OF THE OF THE PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS AND DISCHARGE OF KARST SPRINGS IN ANTHEMOUNTAS BASIN FOR THE PERIOD 2020-2021. 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.





ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	11
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	12
1.2 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ	12
2 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	13
2.1 ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ-ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ-ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	13
2.2 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	15
2.3 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	16
2.4 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ	18
2.5 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ	19
3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ	21
4 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	25
4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ	25
4.1.1 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ	26
4.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΟΧΗΣ	28
4.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	32
4.4 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (T)	33
4.5 ΕΝΕΡΓΟΣ ΟΞΥΤΗΤΑ (pH)	35
4.6 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (EC)	37
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	41
6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	43



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία με θέμα «Μεταβολή των φυσικοχημικών παραμέτρων και της παροχής καρστικών πηγών στη λεκάνη του Ανθεμούντα για την περίοδο 2020-2021» αφορά την έρευνα των καρστικών πηγών Βοσκίνα και Αγίασμα. Οι δύο πηγές εντοπίζονται στη νότια και κεντρική περιοχή του βυθίσματος του Ανθεμούντα στην Κεντρική Μακεδονία, πλησίον των χωριών Σουρωτή και Αγία Παρασκευή αντίστοιχα. Η λεκάνη του Ανθεμούντα, πιο συγκεκριμένα εκτείνεται από την περιοχή του χωριού Βάβδος της κεντρικής Χαλκιδικής μέχρι τον Θερμαϊκό κόλπο και αποστραγγίζεται από τον ομώνυμο ποταμό και τα συμβάλλοντα σε αυτόν ρέματα με κατεύθυνση περίπου Α - Δ. Οι κλιματικές συνθήκες στην περιοχή χαρακτηρίζονται εύκρατες Μεσογειακές με μέση θερμοκρασία 15,5 °C και μέσο ύψος κατακρημνισμάτων 480mm.

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας εκτελούνταν μετρήσεις παροχής και φυσικοχημικών παραμέτρων (pH, θερμοκρασία και ηλεκτρική αγωγιμότητα) του νερού των πηγών με τη χρήση ογκομετρημένων δοχείων και ειδικού φορητού οργάνου. Η συχνότητα της λήψης των μετρήσεων ήταν δύο φορές το μήνα,. Στη συνέχεια τα δεδομένα των μετρήσεων αναλύθηκαν με τελικό στόχο τη διερεύνηση του υδρογεωλογικού καθεστώτος της περιοχής έρευνας.

Όπως προέκυψε από την ανάλυση, οι μέσες παροχές για την περίοδο παρακολούθησης υπολογίστηκαν ίσες με 0,53 και 4,83 m³/h για τις πηγές Αγίασμα και Βοσκίνα αντίστοιχα. Το pH του νερού και των δυο πηγών χαρακτηρίζεται ως όξινο με τιμές κάτω από 7. Επιπλέον, η μέση θερμοκρασία των πηγών είναι περίπου 20 °C, ενώ η ηλεκτρική αγωγιμότητα της πηγής Αγίασμα εμφανίζεται ίση με 2500 μS/cm, μεγαλύτερη συγκριτικά με της Βοσκίνας, η οποία παρουσιάζει μέση ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 2100 μS/cm.



ABSTRACT

The present thesis project concerns the research of the karstic springs Voskina and Agiasma, which are located in the south central part of the Anthemountas basin in northern Greece. The climatic conditions in the region are mild Mediterranean and the mean annual temperature is equal to 15.6 °C. The average precipitation height is equal to 480 mm.

The main task of the field work was the obtainment of discharge rate and physicochemical parameters (pH, temperature and electrical conductivity) measurements, approximately every two weeks, utilizing volumetric barrels and a JENWAY instrument respectively.

The data of the measurements were then analyzed and visualized in Microsoft Excel environment. The final purpose of the study was the contribution to a better insight of the hydrogeological regime of the area, considering also scientific results of older conducted studies.

The mean discharge rate value was calculated equal to 0,53m³/h and 4,53 m³/h for Agiasma and Voskina springs respectively. Both springs discharge acidic water with pH less than 7. Furthermore, the spring water temperature mean value is equal to 20 °C, while the mean Electrical conductivity value of Agiasma spring (EC = 2500μS/cm) is greater than this of Voskina spring (EC=2100μS/cm).

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το νερό αποτελεί φυσικό πόρο ζωτικής σημασίας για την ανθρώπινη εξέλιξη, καθώς και για την διατήρηση του συνόλου των οικοσυστημάτων. Σύμφωνα με την αναφορά του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών για το νερό του έτους 2016 (UNWWAP, 2016) ο πλανήτης θα αντιμετωπίσει έλλειψη νερού που ανέρχεται σε 40% των σημερινών αποθεμάτων μέχρι το 2030, ενώ το 2025 τα δύο τρίτα του παγκόσμιου πληθυσμού εκτιμάται ότι θα ζει σε συνθήκες περιορισμένης πρόσβασης σε νερό, με την τάση αυτή να επιδεινώνεται λόγω της κλιματικής αλλαγής και της εκτεταμένης αστικοποίησης. Ειδικότερα, το υπόγειο νερό διαδραματίζει βασικό ρόλο στην επίλυση αυτής της κρίσης, καθώς αποτελεί το 99% των παγκοσμίων αποθεμάτων καθαρού νερού (Shiklomanov, 1993).

Οι πηγές ως σημειακές εκροές υπόγειων υδάτων εξαρτώνται από γεωλογικούς και κλιματικούς παράγοντες (Βουδούρης, 2013). Η παρούσα εργασία με θέμα τη διερεύνηση της μεταβολής των φυσικοχημικών παραμέτρων και της παροχής καρστικών πηγών στη λεκάνη του Ανθεμούντα κατά το διάστημα 2020-2021, περιλαμβάνει τη μελέτη των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των πηγών.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον υπεύθυνο καθηγητή μου κύριο Κωνσταντίνο Βουδούρη για την ανάθεση του παρόντος θέματος, όπως επίσης και στον δόκτορα Υδρογεωλογίας κύριο Νεραντζή Καζάκη για τη συνεχή επίβλεψη και την ιδιαίτερα σημαντική καθοδήγηση που μου παρείχε για την αποπεράτωση της διπλωματικής μου εργασίας. Επιπλέον, θέλω να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Υδρογεωλογίας Μαρία-Μαργαρίτα Ντώνα για τις πολύτιμες συμβουλές της σε καίρια σημεία της εργασίας μου. Τέλος, θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου και τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου και τους στενούς μου φίλους, για την αμέριστη υποστήριξη και εμπύχωση που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.



1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να προσφέρει δεδομένα για την έρευνα της υδρογεωλογίας των πηγών Αγίασμα και Βοσκίνα που εντοπίζονται στο νότιο και κεντρικό μέρος της λεκάνης του Ανθεμούντα. Για την υλοποίηση αυτού του σκοπού λάμβανε χώρα η μέτρηση των ποσοτικών και των ποιοτικών υδατικών παραμέτρων (θερμοκρασία, pH και ηλεκτρική αγωγιμότητα) δύο φορές τον μήνα για την περίοδο 2020-2021, καθώς και συλλογή μετεωρολογικών δεδομένων και σύνταξη χαρτών για την καλύτερη κατανόηση των κλιματικών και υδρολογικών συνθηκών της περιοχής .

1.2 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

Για τον υπολογισμό του όγκου παροχής των πηγών κρίνεται απαραίτητη η χρήση ογκομετρημένων δοχείων (1,5 lt και 15 lt). Η παροχή (Q) ορίζεται ως ο όγκος νερού (V) προς το χρόνο (t), δηλαδή $Q=V/t$. Αντίστοιχα, για την καταγραφή των φυσικοχημικών παραγόντων(θερμοκρασία, pH και ηλεκτρική αγωγιμότητα) χρησιμοποιήθηκε φορητό πολύμετρο του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του ΑΠΘ.

Για την αποπεράτωση της παρούσας πτυχιακής εκτελέστηκαν οι παρακάτω εργασίες.

-Εργασίες γραφείου:

- Μελέτη βιβλιογραφικών δεδομένων, συμβουλή σχετικών μελετών ,ακαδημαϊκών συγγραμμάτων, δημοσιευμένων εργασιών και ερευνητικών διατριβών.
- Συλλογή και επεξεργασία Μετεωρολογικών δεδομένων.
- Στατιστική επεξεργασία των μετεωρολογικών και υδρογεωλογικών παρατηρήσεων και γραφική απεικόνιση των χρονοσειρών τους σε περιβάλλον Microsoft Excel.

- Εργασίες υπαίθρου:

- Καταγραφή των απολήψεων νερού και των φυσικοχημικών παραμέτρων των πηγών δύο φορές το μήνα, (στα μέσα και στα τέλη κάθε μήνα) για το χρονικό διάστημα Νοεμβρίου 2020 – Οκτωβρίου 2021.

2 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1 ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ-ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ-ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η περιοχή έρευνας όπως φαίνεται στο σχήμα 2.0 βρίσκεται στη βόρεια Ελλάδα, ανήκει διοικητικά στην περιφέρεια κεντρικής Μακεδονίας, σε απόσταση 15 χιλιομέτρων νοτιοανατολικά του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Το δυτικό τμήμα στους λεκάνης του Ανθεμούντα υπάγεται στην περιφερειακή ενότητα Θεσσαλονίκης, ενώ το ανατολικό στη περιφερειακή ενότητα Χαλκιδικής. Η λεκάνη του Ανθεμούντα περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τα χωριά Γαλάτιστα, Βασιλικά, Σουρωτή, Θέρμη, Αγία Τριάδα και Περαία. Ο συνολικός πληθυσμός τους είναι ίσος με 85.190 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2011. Επιπλέον, η περιοχή μελέτης καταλαμβάνει έκταση 374,69 km², με περίμετρο 127,43 km.

Γεωμορφολογικά η περιοχή αποτελεί τεκτονική λεκάνη (graben) (Συρίδης, 1990), ενώ επίσης πρόκειται για λεκάνη απορροής επιμήκους σχήματος, το μέγιστο μήκος της οποίας είναι 42,5 km με διεύθυνση Ανατολή-Δύση και μέγιστο πλάτος 18,7 km με διεύθυνση Βορρά - Νότου. Το βόρειο τμήμα της λεκάνης χαρακτηρίζεται με βάση το ανάγλυφο (Dikau, 1989) ως ορεινό – ημιορεινό με κύριες τις κορυφές Χορτιάτης (1200m) και Καλογερίκο (985 m) ενώ το νότιο ως λοφώδες και περιλαμβάνει τη λοφοσειρά Σουρωτής – Μονοπήγαδου – Βάβδου με μέγιστο υψόμετρο την κορυφή Μύτη (668 m). Ο δείκτης κυκλικότητας υπολογίστηκε ίσος με 0,29 ($E_c=0,29$) (Καζάκης 2013) η οποία υποδηλώνει λεκάνη μικρής κυκλικότητας. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης υπολογίστηκε ίσο με $H_{mean}= 259,3$ μενών με βάση την ταξινόμηση αναγλύφου κατά Dikau (1989) (πίνακας 2.1) η περιοχή χαρακτηρίζεται ως πεδινή – λοφώδης. Όσον αφορά στην μέση κλίση της περιοχής έρευνας, αυτή έχει τιμή $S_{mean}=20\%$ και η λεκάνη χαρακτηρίζεται ως ισχυρά κεκλιμένη σύμφωνα με τον Demek (Demek 1972), η ταξινόμηση του οποίου φαίνεται στον πίνακα 2.2.

Ο κύριος ποταμός που αποστραγγίζει την λεκάνη είναι ο Ανθεμούντας με μήκος 38 km, χαρακτηρίζεται 6^{ης} τάξης κατά Strahler (Strahler 1957), πηγάζει από τη Ζάγκα ράχη του χωριού Βάβδος και εκβάλλει στον Θερμαϊκό κόλπο με κατεύθυνση περίπου Α – Δ. Σε αυτόν συμβάλλουν μικρότερης τάξης ρέματα διαμορφώνοντας δενδριτικό δίκτυο αποστράγγισης καλά ανεπτυγμένο, στοιχείο που παραπέμπει σε νέας ηλικίας υδρολογική

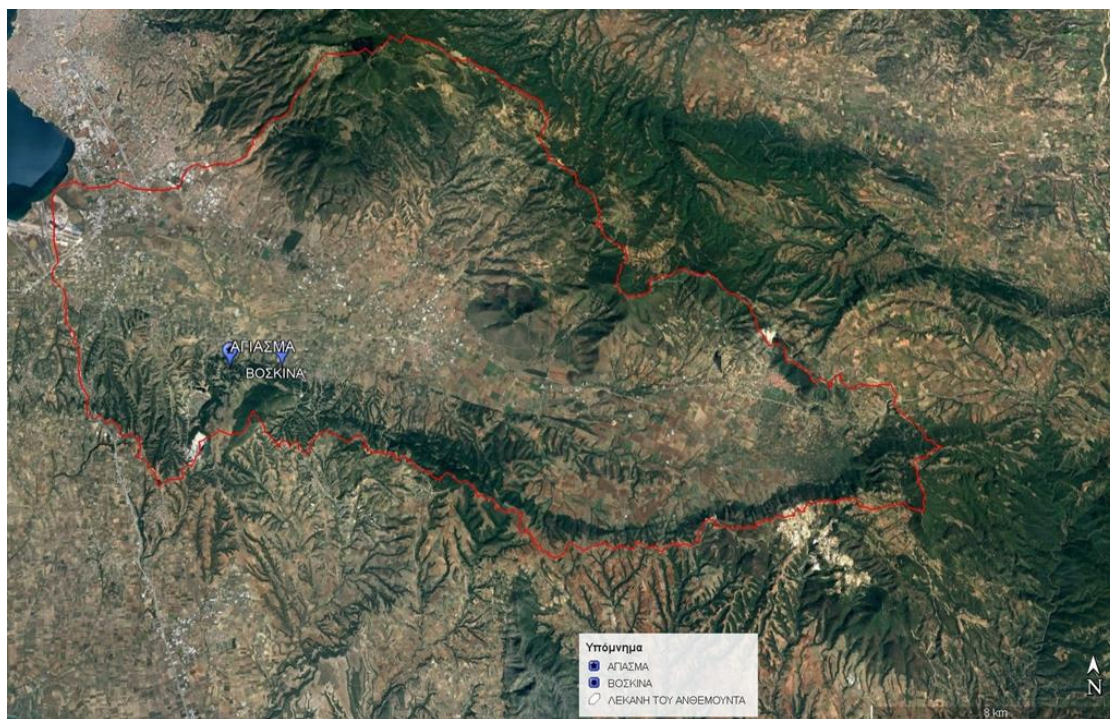
λεκάνη. Η ακτογραμμή του παράκτιου τμήματος της λεκάνης έχει μήκος 12,3 km και αποτελεί τμήμα του Θερμαϊκού κόλπου.

Πίνακας 2.1 Ταξινόμηση της περιοχής σύμφωνα με το υψόμετρο (Dikau 1989).

Τύπος Ανάγλυφου	Υψόμετρο
Πεδινή περιοχή	<150
Λοφώδης περιοχή	150-600
Ημιορεινή περιοχή	600-900
Ορεινή περιοχή	>900

Πίνακας 2.2 Ταξινόμηση της περιοχής με βάση την κλίση. (Demek 1972).

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



Σχήμα 2.0 Η Λεκάνη του Ανθεμόντα και οι θέσεις των πηγών έρευνας.

2.2 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Οι μέσες καιρικές συνθήκες για μια σημαντική χρονικά περίοδο όπου είναι απαραίτητη για τη μείωση των σφαλμάτων στο ελάχιστο, καθώς και για τον αξιόπιστο υπολογισμό των απαραίτητων στατιστικών παραμέτρων, ονομάζεται κλίμα (Φλόκας, 1992). 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. Οι παράμετροι από τους οποίους καθορίζεται το κλίμα μιας περιοχής είναι:

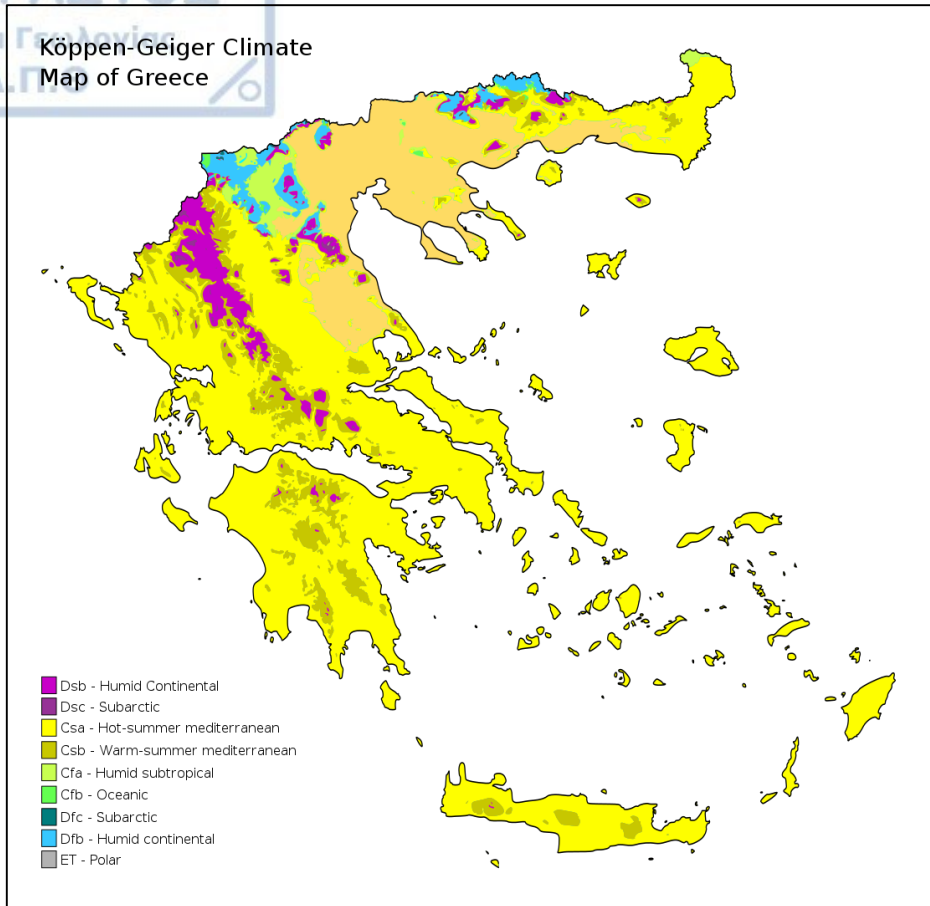
1. το γεωγραφικό πλάτος
2. η αναλογία ξηράς/θάλασσας
3. το ανάγλυφο (υψόμετρο)

Η περιοχή ενδιαφέροντος χαρακτηρίζεται από εύκρατο μεσογειακό κλίμα με ήπιους χειμώνες και θερμά ξηρά καλοκαίρια. Πιο συγκεκριμένα κατά τον Köppen (Köppen 1936) η λεκάνη του Ανθεμούντα κατατάσσεται στο κλίμα της μορφής Csa όπου:

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

s: αφορά θαλάσσιο ή ηπειρωτικό κλίμα όπου κατά τους ξηρούς θερινούς μήνες το ύψος των κατακρημνισμάτων του θερμότερου μήνα του έτους είναι χαμηλότερο από 30mm ($P_{\theta} < 30\text{mm}$).

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



Σχήμα 2.1 Χάρτης κλιματικών συνθηκών στην Ελλάδα (πηγή el.wikipedia.org).

2.3 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ

Οι υδροσταγόνες που συντίθενται μέσα στα νέφη, προέρχονται από τη συμπύκνωση πολλών υδροσταγονιδίων ή και παγοκρυστάλλων. Εάν οι σταγόνες αυτές ή οι παγοκρύσταλλοι, στην κάθοδό τους (εξαιτίας του βάρους τους), περνούν από τα διαφορετικά στρώματα της ατμόσφαιρας που τις διατηρούν στην υγρή φάση ή τις τήκουν, και φθάνουν στο έδαφος προτού εξατμισθούν, τότε παρατηρείται το καιρικό φαινόμενο που καλείται βροχή και είναι ένας ακόμα σπουδαίος κλιματικός παράγοντας (Φλόκας, 1992). Ο παράγοντας αυτός, σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του κλίματος μιας περιοχής και είναι βασικός για τη σύνταξη του υδρολογικού ισοζυγίου, καθορίζοντας την παροχή του υδρογραφικού δικτύου, την κατείσδυση του νερού στους υδροφορείς και την υγρασία των εδαφικών στρωμάτων. Εξάλλου, αποτελεί και ρυθμιστικό παράγοντα στις ανθρώπινες

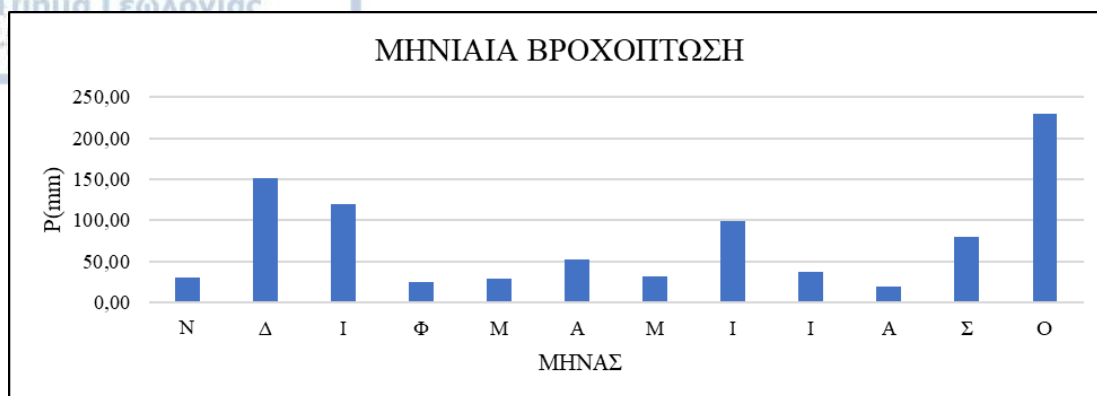
δραστηριότητες όπως στη γεωργία και τον τουρισμό. Στις διάφορες κλιματικές μελέτες λαμβάνεται υπόψη το συνολικό βροχομετρικό ύψος που δίνει το σύνολο των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (βροχή, χιόνι, χαλάζι). Οι βροχομετρικές παράμετροι, που συνήθως χρησιμοποιούνται σε μια κλιματική μελέτη, είναι το μέσο ετήσιο βροχομετρικό ύψος, η κατανομή των βροχοπτώσεων στη διάρκεια του έτους, η ένταση, ο αριθμός ημερών βροχής κ.ά. Η παρατήρηση της βροχόπτωσης γίνεται στους μετεωρολογικούς σταθμούς με τη βοήθεια βροχομέτρων και βροχογράφων. Τα βροχομετρικά δεδομένα από αρκετούς σταθμούς, κατάλληλα τοποθετημένους στο χώρο, συμβάλουν στον ορθό υπολογισμό της βροχοβαθμίδας η οποία είναι μια εξίσωση που αναφέρεται στην μεταβολή της βροχής με το υψόμετρο και έπειτα στη σύνταξη έγκυρων βροχομετρικών χαρτών (Βουδούρης, 2013). Στον ελληνικό χώρο, το μεγαλύτερο ύψος βροχής καταγράφεται κατά την υγρή περίοδο του υδρολογικού έτους (Οκτώβριος – Απρίλιος), ενώ κατά τους μήνες της ξηρής περιόδου (Μάιος – Σεπτέμβριος) καταγράφονται τα χαμηλότερα ύψη βροχής.

Το συνολικό ύψος βροχή της περιοχής έρευνας για την εξεταζόμενη περίοδο Νοεμβρίου 2020 – Οκτωβρίου 2021 υπολογίστηκε στα 902,5mm. Τα μηνιαία βροχομετρικά δεδομένα για την περίοδο παρακολούθησης των πηγών όπως ελήφθησαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ι.Δ.Ε ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2 Μηνιαίο ύψος βροχής για την περίοδο Νοεμβρίου 2020 – Οκτωβρίου 2021.

ΕΤΟΣ/ΜΗΝΑΣ	ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm)												
	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	ΣΥΝΟΛΟ
2020-2021	29,4	151,3	120,2	24,4	29,2	52,4	31,4	99,4	36,6	18,6	79,2	230,4	902,50

Ο πιο υγρός μήνας της περιόδου καταγραφής αναδείχθηκε ο Οκτώβριος του 2021 με συνολικό ύψος βροχής 230,4 mm ενώ ο πιο ξηρός μήνας υπήρξε ο Αύγουστος του 2021 με ύψος βροχής 18,6 mm (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.2 Διακύμανση του μηνιαίου ύψους βροχής για την περίοδο Νοεμβρίου 2020 – Οκτωβρίου 2021.

2.4 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ

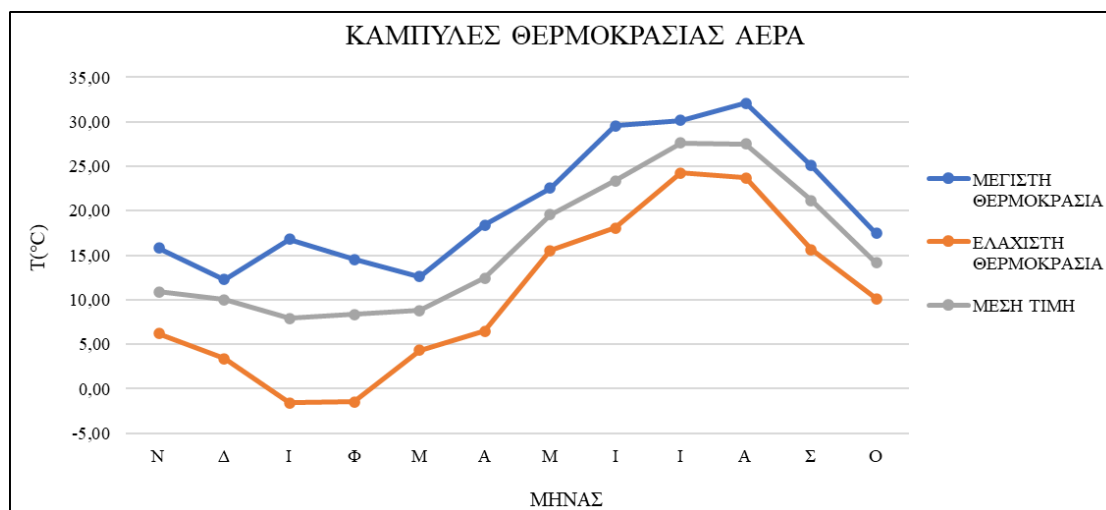
Με τον όρο «θερμότητα» εννοούμε μια μορφή ενέργειας που εξαρτάται από τη μορφή της ύλης και που είναι δυνατό να μεταδοθεί σε διάφορα συστήματα ή σώματα με διάφορους τρόπους ή να μετατραπεί σ' άλλες μορφές ενέργειας. Θερμοκρασία ενός υλικού είναι μονόμετρο μέγεθος και εκφράζει τη μοριακή δράση ή τη ροή θερμότητας αυτού. Αυτή καθορίζεται από τη μεταφορά της θερμότητας από ένα σύστημα ή σώμα σ' ένα άλλο και γίνεται αισθητή ή μετριέται με τη βοήθεια θερμομέτρων (Φλόκας, 1992). Στην υδρολογία η θερμοκρασία αποτελεί σημαντικό παράγοντα, καθώς καθορίζει το ποσοστό εξατμισοδιαπνοής του νερού και επομένως επηρεάζει το υδρολογικό ισοζύγιο μιας περιοχής.

Όσον αφορά τη θερμοκρασία, όπως φαίνεται στα Πίνακα 2.3, προκύπτει για την περιοχή έρευνας ότι η μέγιστη τιμή παρατηρήθηκε τον Αύγουστο με θερμοκρασία αέρα 32,09 °C, ενώ η ελάχιστη τον Ιανουάριο με τιμή -1,59 °C.

Η διακύμανση της μέγιστης, ελάχιστης και μέσης τιμής της θερμοκρασίας του αέρα για την περίοδο Ιανουαρίου-Οκτωβρίου 2021 παρουσιάζονται παρακάτω στο Σχήμα 2.2 και Σχήμα 2.3. Κατά την περίοδο έρευνας παρατηρήθηκε ότι ο πιο θερμός μήνας ήταν ο Ιούλιος με μέση θερμοκρασία αέρα 27,63 °C, ενώ ο πιο ψυχρός μετρήθηκε ο Ιανουάριος με μέση μηνιαία θερμοκρασία στους 7,93 °C.

Πίνακας 2.3 Μέγιστη, ελάχιστη και μέση θερμοκρασία κατά την περίοδο Νοεμβρίου 2020-Οκτωβρίου 2021.

ΕΤΟΣ/ΜΗΝΑΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)											
2020-2021	N	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο
ΜΕΓΙΣΤΗ	15,80	12,30	16,78	14,57	12,60	18,43	22,52	29,55	30,19	32,09	25,11	17,48
ΕΛΑΧΙΣΤΗ	6,20	3,40	-1,59	-1,49	4,33	6,51	15,53	18,06	24,24	23,73	15,65	10,13
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	10,90	10,00	7,93	8,38	8,82	12,47	19,54	23,37	27,63	27,49	21,19	14,18



Σχήμα 2.3 Μέγιστη, ελάχιστη και μέση τιμή θερμοκρασίας του αέρα κατά την περίοδο καταγραφής.

2.5 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Το υδρολογικό ισοζύγιο μιας λεκάνης απορροής αποτελεί βασικό εργαλείο για τη συνολικό σχεδιασμό διαχείρισης των υδάτων σε αυτήν. Το υδρολογικό ισοζύγιο είναι ουσιαστικά μια εξίσωση που έχει ως εξής: $P = E + R + I$ όπου,

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



Σχήμα 2.4 Ο κύκλος του νερού (πηγή: USGS).

Οι παράγοντες που ελέγχουν το υδρολογικό ισοζύγιο είναι κλιματικοί (ύψος κατακρημνισμάτων, άνεμοι, θερμοκρασία), γεωλογικοί (λιθολογία, τεκτονική δραστηριότητα) γεωμορφολογικοί (ανάγλυφο, δίκτυο ρεμάτων), ενώ το είδος βλάστησης καθώς και η ανθρώπινη δραστηριότητα έχουν επίσης σημαντικό αντίκτυπο. Για τον υπολογισμό του ισοζυγίου έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι, η επιλογή των οποίων εξαρτάται από την πληθώρα των διαθέσιμων δεδομένων και από τα χαρακτηριστικά (γεωγραφικά, κλιματικά, κ.α.) της υπό μελέτη περιοχής.

Στη λεκάνη του Ανθεμούντα έχει εφαρμοστεί η μέθοδος Thornthwaite (Thornthwaite, 1946) από τον Καζάκη (2013), σύμφωνα με την οποία η δυνητική εξατμισοδιαπνοή συνδέεται με τη μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα. Από την ανάλυση που ακολούθησε προέκυψε για την περιοχή ποσοστό πραγματικής εξατμισοδιαπνοής $E_R = 71,7 \%$, τιμή που παραπέμπει σε πεδινή παράκτια περιοχή του ελληνικού χώρου όπου παρατηρούνται υψηλές θερμοκρασίες (Βουδούρης 2013), ενώ το υπόλοιπο ποσοστό αφορά την επιφανειακή απορροή και την κατείσδυση.

Το τεκτονικό βύθισμα του Ανθεμούντα εντάσσεται γεωτεκτονικά από τα ΝΑ προς ΒΑ στην Περιοδοπική ζώνη και την υποζώνη Παιονίας των εσωτερικών ελληνίδων, ενώ ένα μικρό μέρος της στα ΒΑ ανήκει στην Σερβομακεδονική μάζα η οποία αποτελεί γεωλογικά τμήμα της ελληνικής ενδοχώρας (Σχήμα 3.1). Το πεδινό και παράκτιο τμήμα της λεκάνης καταλαμβάνεται από νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις, ενώ στις παρυφές της λεκάνης και στα λοφώδη έως ορεινά τμήματα παρατηρούνται τα πετρώματα του υποβάθρου, ιζηματογενή, πυριγενή και μεταμορφωμένα, Μεσοζωικής και Παλαιοζωικής ηλικίας. Για τις επί μέρους γεωτεκτονικές ζώνες παρατίθενται τα παρακάτω γεωλογικά στοιχεία (Μουντράκης, 2010).

Υποζώνη Παιονίας

Η υποζώνη Παιονίας αποτελεί το ανατολικό κομμάτι της ζώνης Αξιού σύμφωνα με τις υπάρχουσες θεωρίες ότι αντιπροσωπεύει τα μεσοζωικά ιζηματογενή πετρώματα που αποτέθηκαν στην ανοιχτή θάλασσα. Βασικό χαρακτηριστικό είναι η τεκτονική λεπίωση ως αποτέλεσμα της συμπίεστικής τεκτονικής δράσης που εξελίχθηκε κατά τη διάρκεια της αλπικής ορογένεσης στη διάρκεια του Τριτογενούς και ως εκ τούτου τα πετρώματα που την αποτελούν έχουν υποστεί χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής φάσης (Μουντράκης 2010). Επίσης τα σκληρά πετρώματα έχουν καλυφθεί από νεότερα ιζήματα που χρονολογούνται στο Νεογενές και καταλαμβάνουν τα περιθώρια του βυθίσματος του Ανθεμούντα. Σε αυτήν, η υποζώνη Παιονίας αντιπροσωπεύει τις εμφανίσεις παχυστρωματών και μαζωδών ασβεστολίθων ηλικίας Άνω Ιουρασικού (ύψωμα Κορυφή στη Σουρωτή).

Περιοδοπική ζώνη

Η Περιοδοπική ζώνη σύμφωνα με τις πιο πρόσφατες θεωρίες αποτέλεσε την ηπειρωτική κατωφέρεια της ελληνικής ενδοχώρας κατά το Ιουρασικό, σε θέση υποβύθισης της ωκεάνιας ζώνης Αξιού κάτω από την ηπειρωτική πλάκα και το γεωλογικό όριο με την υποζώνη της Παιονίας δεν έχει γίνει γνωστό. Όλα τα πετρώματα της Περιοδοπικής ζώνης ανήκουν στην κατηγορία των ιζηματογενών πετρωμάτων, έχουν υποστεί χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση στην πρασινοσχιστολιθική φάση και η

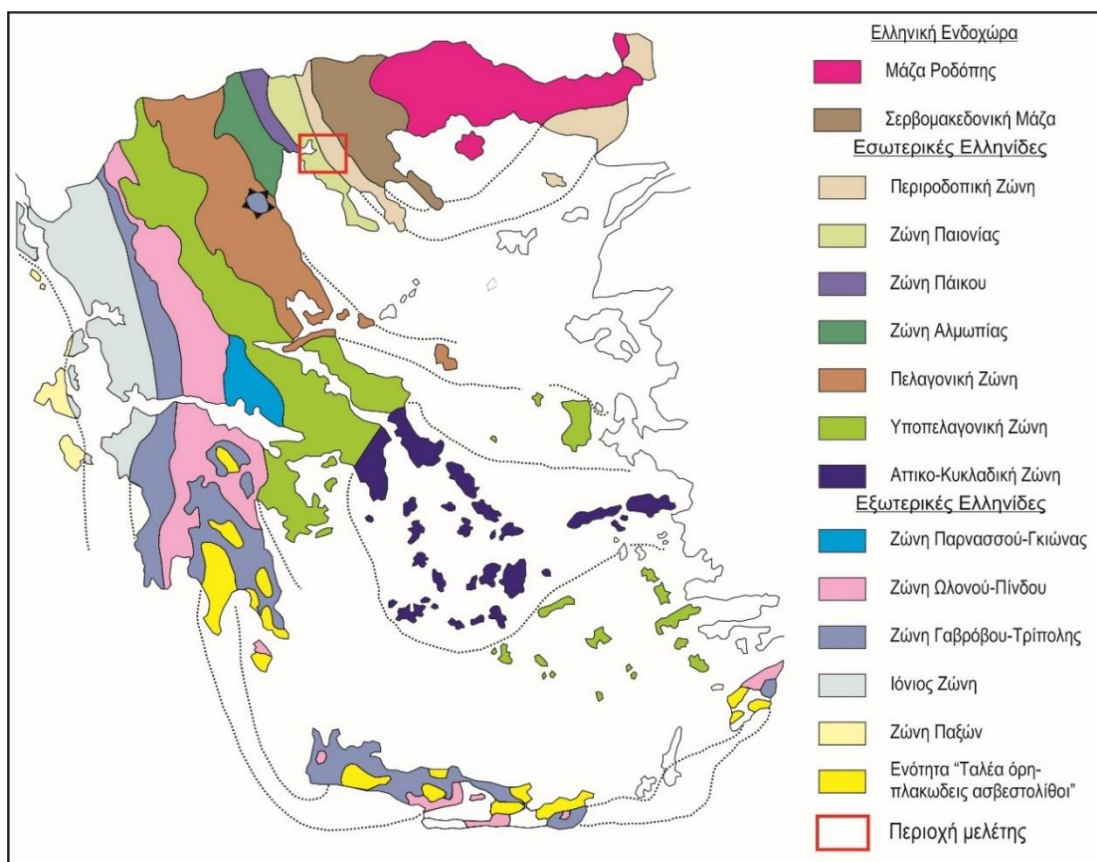
ηλικία των πετρωμάτων είναι Πέρμιο – Τριαδικό έως Μέσο Ιουρασικό. Η Περιοδοπική ζώνη αποτελείται από τρεις λιθοστρωματογραφικές ενότητες που έχουν ως εξής (κατεύθυνση Α – Δ):

- Ενότητα ΝτεβέΚοράν – Δουμπιάη οποία στρωματογραφικά αποτελείται από τη βάση προς την κορυφή από μετακλαστικούς σχηματισμούς (μεταψαμμίτες, μετακροκαλοπαγή), ηφαιστειοϊζηματογενείς σειρές ως αποτέλεσμα ηπειρωτικής διάρρηξης, καθώς και μαζώδεις ασβεστόλιθους.
- Ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα η οποία συνίσταται από ανθρακικά πετρώματα (ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι) και από χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης φλύσχη.
- Ενότητα Άσπρης βρύσης-Χορτιάτη όπου στα βαθύτερα στρώματα παρατηρούνται ηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα ηλικίας Περμίου – Τριαδικού, τα οποία υπόκεινται των ασβεστολίθων όμοιων με την ενότητα ΝτεβέΚοράν – Δουμπιά. Επάνω σε αυτούς αποτίθενται πετρώματα που μαρτυρούν συνθήκες βαθιάς θάλασσας (κερατόλιθοι, πελαγικοί ασβεστόλιθοι) στα οποία παρατηρούνται εναλλαγές βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων καθώς και μεταμορφωμένα πετρώματα που αντιπροσωπεύουν τους χαρακτηριστικούς πράσινους σχιστολίθους (Μαγματική σειρά Χορτιάτη).

Η Σερβομακεδονική μάζα εντάσσεται όπως αναφέρθηκε παραπάνω στην ελληνική ενδοχώρα, και αντιπροσωπεύει ηπειρωτικό φλοιό. Η ζώνη αυτή περιλαμβάνει κρυσταλλοσχιτώδη και πυριγενή πετρώματα και διακρίνεται σε δύο ενότητες πετρωμάτων: 1) στη νεότερη ενότητα Βερτίσκου 2) στην παλαιότερη σειρά Κερδυλίων. Η λεκάνη του Ανθεμούντα περιλαμβάνει στο ανατολικό της τμήμα εμφανίσεις γνευσίων οι οποίοι ανήκουν στη σειρά Βερτίσκου που αντιπροσωπεύει τοπροαλπικό υπόβαθρο της λεκάνης.

Όσον αφορά τα τεκτονικά της χαρακτηριστικά, η λεκάνη του Ανθεμούντα ορίζεται ως τεκτονικό βύθισμα το οποίο κατά το νεογενές αποτελούσε κομμάτι της λεκάνης του Αξιού, ωστόσο από το Πλειστόκαινο και έπειτα αποκόπηκε από αυτήν και ακολούθησε ξεχωριστή τεκτονική εξέλιξη (Συρίδης, 1991). Η λεκάνη του Ανθεμούντα δημιουργήθηκε από τη δράση του κύριου κανονικού ρήγματος του

Ανθεμούντα το οποίο έχει προσανατολισμό Α–Δ, βύθιση προς βορρά και μήκος 32 Km. Στην περιοχή υπάρχουν επίσης μικρότερα ενεργά ρήγματα διευθύνσεων ΒΔ – ΝΑ, ΒΑ – ΝΔ, Α – Δ, ΒΒΔ – ΝΝΑ. (Tranosetal., 2004). Το κύριο ρήγμα του Ανθεμούντα διακρίνεται σε τρία τμήματα με βάση την αλλαγή της διεύθυνσής του και της προέκτασής του στη θάλασσα του Θερμαϊκού κόλπου (εικόνα 1). Το πρώτο τμήμα μήκους 17 Km εκτείνεται από το χωριό Γαλαρινός ως το Νέο Ρύσιο, το δεύτερο μήκους 11 Km από το νέο Ρύσιο ως την ακτή του Αγγελοχωρίου και το τελευταίο (πιθανό) τμήμα του ρήγματος εκτείνεται από το Αγγελοχώρι (θέση Μεγάλο Έμβολο) προς τη θάλασσα του Θερμαϊκού. Οι υπό έρευνα πηγές οφείλονται επίσης στην τεκτονική δραστηριότητα και αποτελούν ρηματογενείς ανερχόμενες καρστικές πηγές (Καζάκης, 2013).



Σχήμα 3.0 Γεωτεκτονικές ζώνες του Ελληνικού χώρου (Μουντράκης, 1985).



Σχήμα 3.1 Τμηματική απεικόνιση του ρήγματος του Ανθεμούντα.

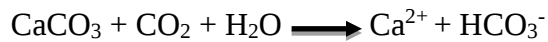
4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΙΣ

Το υπόγειο νερό αποτελεί σημαντικό φυσικό πόρο για την ισορροπία του περιβάλλοντος, αποτελεί σημαντικό κομμάτι των παγκόσμιων υδατικών αποθεμάτων και αλληλεπιδρά με το επιφανειακό, καθώς και με την ατμόσφαιρα. Επιπλέον διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στην ανθρώπινη κοινωνία αφού κινούμενο στο υπέδαφος μπορεί να αντλείται συμβάλλοντας στην κάλυψη των αναγκών της ανθρώπινης δραστηριότητας όπως η ύδρευση και η άρδευση (Βουδούρης, 2009). Το υπόγειο νερό κινείται στους υδροφορείς οι οποίοι αποτελούν υδροπερατούς σχηματισμούς όπως άμμοι, χάλικες, ασβεστόλιθοι και διερρηγμένα πετρώματα, κορεσμένους σε νερό και ικανούς να τροφοδοτήσουν υδρομαστευτικά έργα.

Θεμελιώδης νόμος της κίνησης του υπόγειου νερού είναι ο νόμος του Darcy, ο οποίος εκφράζεται με την εξίσωση $Q = k \cdot i \cdot A$, όπου Q = η παροχή, k = η υδραυλική αγωγιμότητα του μέσου σε μονάδες ταχύτητας, i = η υδραυλική κλίση και A = η διατομή δια μέσου της οποίας περνά το υπόγειο νερό. Καθοριστικός παράγοντας της υπόγειας ροής είναι το πορώδες (n) των σχηματισμών και πετρωμάτων, το οποίο είναι ένα κλάσμα που εκφράζει στο ποσοστό των κενών που εμφανίζουν προς το συνολικό όγκο τους $n = \frac{V_k}{V_{ολ}} \times 100$. Το πορώδες διακρίνεται σε πρωτογενές το οποίο αποκτά το πέτρωμα κατά το σχηματισμό του, και σε δευτερογενές το οποίο δημιουργείται λόγω τεκτονικής, αποσάθρωσης κ.α. (Βουδούρης, 2013).

Οι υδροφορείς ανάλογα με τη λιθολογία τους διακρίνονται σε υδροφορείς χαλαρών αποθέσεων ιζημάτων, κυριότεροι εκ των οποίων είναι οι αλλουβιακοί υδροφορείς, οι υδροφορείς ιζηματογενών πετρωμάτων (πηλινικά, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή) τα οποία δημιουργούνται από τις διαγενετικές διαδικασίες, και είτε είναι πορώδη (ψαμμίτες, κροκαλοπαγή) είτε διακρίνονται σε αυτά διαρρήξεις που αυξάνουν την περατότητά τους με αποτέλεσμα να έχουν υδροφορία λόγω δευτερογενούς πορώδους (πηλίτες, μάργες), σε υδροφορείς πυριγενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων στα οποία μπορεί να υπάρχει υπόγεια ροή λόγω δευτερογενούς πορώδους κυρίως σε ζώνες διαρρήξεων και διακλάσεων. Ξεχωριστή κατηγορία η οποία αφορά και την παρούσα εργασία αποτελούν οι καρστικοί υδροφορείς οι οποίοι δημιουργούνται σε ανθρακικά πετρώματα

(ασβεστόλιθοι, δολομίτες, μάρμαρα) και είναι προϊόντα της καρστικής διάλυσης που λαμβάνει χώρα σε αυτά. Σύμφωνα με αυτήν, το όξινο νερό της βροχής, πλούσιο σε CO₂ προερχόμενο από την ατμόσφαιρα και το έδαφος, μετατρέπει το ανθρακικό ασβέστιο των πετρωμάτων σε ευδιάλυτο όξινο ανθρακικό ασβέστιο σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:



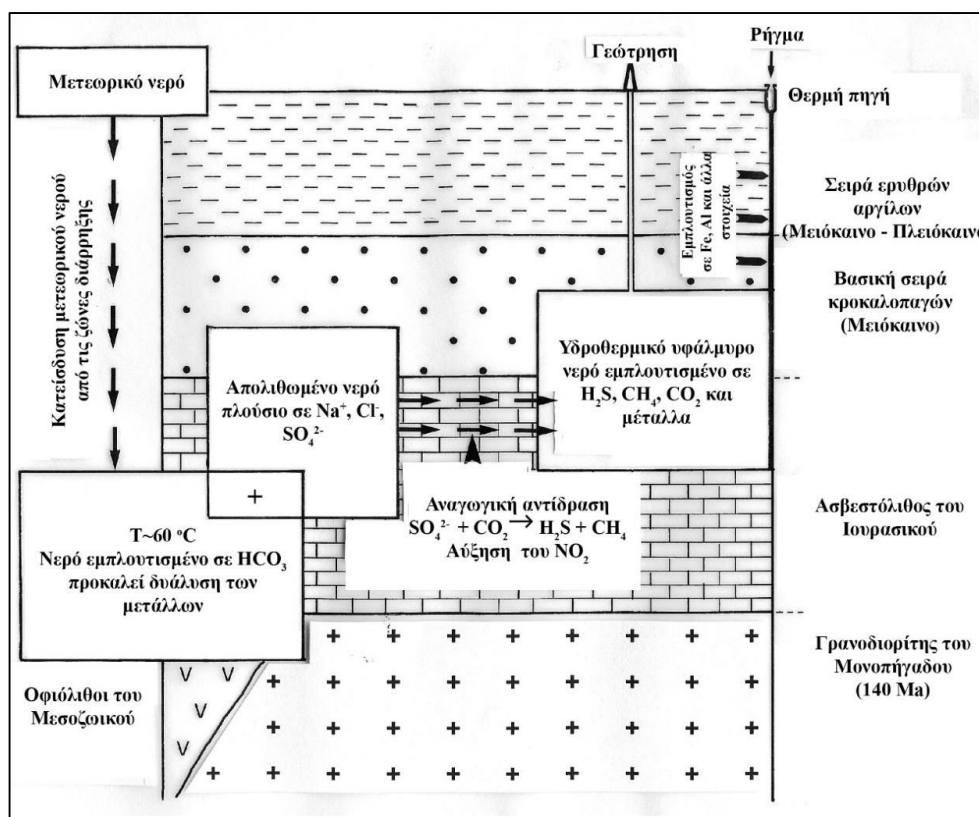
Το νερό επομένως δημιουργεί μέσω της παραπάνω διαδικασίας υπόγειους αγωγούς στους οποίους κινείται, οι οποίοι με το χρόνο αναπτύσσονται στο χώρο και έτσι δημιουργείται ένα ολοκληρωμένο καρστικό σύστημα ροής (Βουδούρης, 2013). Οι καρστικοί υδροφορείς σε αντίθεση με τους προσχωματικούς χαρακτηρίζονται ως ασυνεχή και ετερογενή μέσα στα οποία το νερό κινείται μέσα σε ρήγματα, διακλάσεις και αγωγούς των οποίων οι διεύθυνση και υδραυλική επικοινωνία μεταβάλλεται με το χρόνο λόγω της συνεχούς διαδικασίας της καρστικής διάλυσης. Κατά συνέπεια το υπόγειο νερό στους καρστικούς υδροφορείς εκφορτίζεται δια μέσου των πηγών. Πολλές και μικρής παροχής πηγές είναι χαρακτηριστικές για το νεαρό καρστ, ενώ αντίθετα στο ώριμο καρστ παρατηρείται μικρός αριθμός πηγών με αξιοσημείωτες παροχές. Αναφορικά με τα υδραυλικά τους χαρακτηριστικά οι καρστικοί υδροφορείς παρουσιάζουν μικρές τιμές αποθηκευτικότητας και μεγάλες τιμές μεταβιβαστικότητας, μεγάλη ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού, ενώ η υδραυλική κλίση σε αυτούς είναι μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από τους προσχωματικούς υδροφορείς.

4.1.1 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ

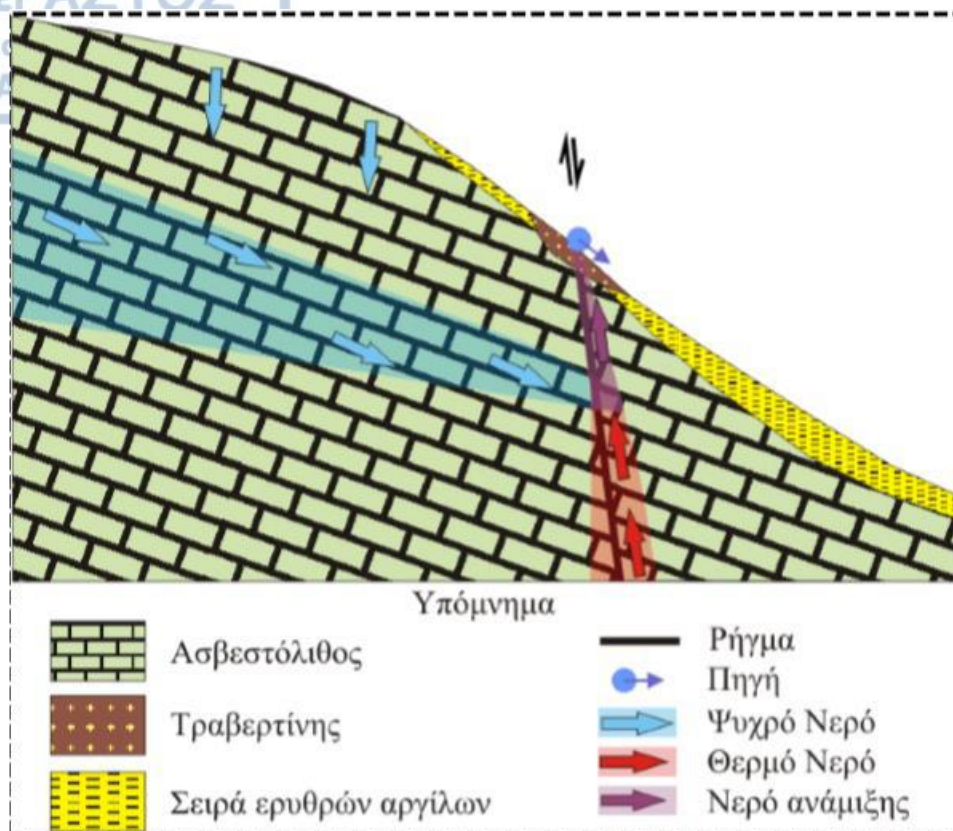
Ως πηγή ονομάζεται η φυσική ανάβλυση υπόγειου νερού το οποίο ρέει ελεύθερα στο έδαφος. Οι πηγές σύμφωνα με τους Springer και Stevens (Springer & Stevens, 2009) διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με τη λιθολογία του υδροφορέα που τροφοδοτούνται (καρστικές, γνευσιακές, κ.λπ.), τον τρόπο σχηματισμού τους γεωλογικά, τη θερμοκρασία τους σε θερμές ή ψυχρές, την περιοδικότητα της παροχής τους ως μόνιμης ή παροδικής παροχής, το σημείο ανάβλυσης ως παράκτιες, ενδοχώριες και παραθαλάσσιες.

Οι πηγές έρευνας οφείλουν τη δημιουργία στη δράση του ρήγματος του Ανθεμούντα, το οποίο έχει δημιουργήσει στην περιοχή ένα γεωθερμικό σύστημα χαμηλής ενθαλπίας, μέρος του οποίου αποτελούν και οι πηγές έρευνας (Νυμφόπουλος, 2002). Αναλυτικότερα δια μέσου του ρήγματος τροφοδοτούνται οι πηγές έρευνας και αναβλύζουν νερό υπόθερμο έως θερμό (βλ. κεφάλαιο 4.4) και χαρακτηρίζονται ως ρηγματογενείς ανερχόμενες όσον αφορά τη γεωλογία τους, ενώ λιθολογικά αποτελούν καρστικές πηγές, καθώς ο τροφοδοτούνται από τον καρστικό υδροφορέα των ασβεστολίθων των της περιοχής (σχήμα 4.0).

Σύμφωνα με τον Καζάκη (2013) η πηγή της Βοσκίνας παρουσιάζει διαφοροποιημένο μηχανισμό λειτουργίας σε σχέση με την πηγή του Αγιάσματος, καθώς αναβλύζει υδροθερμικό ρευστό καθώς και ψυχρό νερό από τον καρστικό υδροφορέα, με αποτέλεσμα η παροχή της να συνίσταται από νερό ανάμειξης (σχήμα 4.1). Αντιθέτως η πηγή της Αγίας Παρασκευής εκφορτίζει υδροθερμικό ρευστό και σε αυτήν παρατηρούνται γενικότερα μικρότερες τιμές παροχής και μεγαλύτερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, στοιχεία τα οποία θα αναλυθούν σε επόμενα κεφάλαια.



Σχήμα 4.0 Γεωθερμικό πεδίο του Ανθεμούντα (πηγή: Nimforopoulos et al. 2002 με τροποποιήσεις).



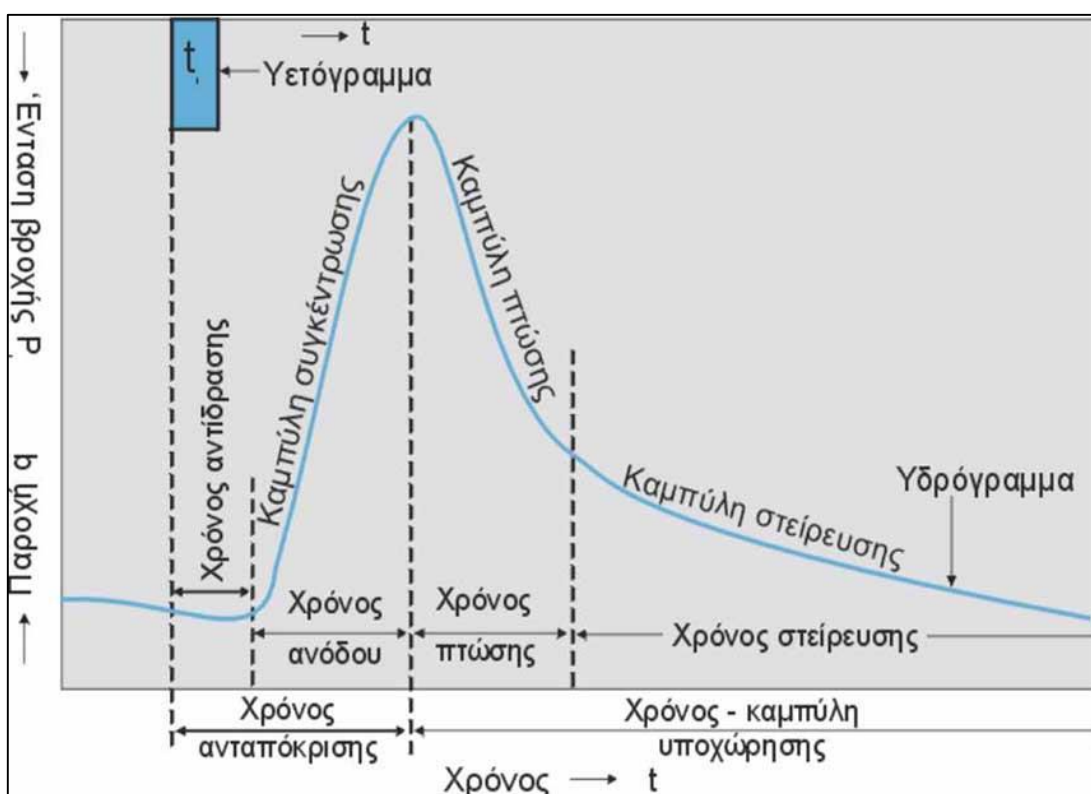
Σχήμα 4.1 Μηχανισμός λειτουργίας στην πηγή Βοσκίνα (πηγή: Καζάκης 2013).

4.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΟΧΗΣ

Η μέτρηση της παροχής της πηγής γίνεται στο πεδίο με τη βοήθεια ογκομετρημένων δοχείων, καθώς και τηλεματικά με την εγκατάσταση σταθμών συνεχούς παρατήρησης. Η παροχή των πηγών εξαρτάται από τα κατακρημνίσματα, από την έκταση της περιοχής τροφοδοσίας, από τον συντελεστή κατείσδυσης καθώς και από την ανθρώπινη δραστηριότητα όπως η υπεράντληση η οποία μειώνει την ποσότητα του υπόγειου νερού και το δυναμικό των πηγών. Όσον αφορά στις καρστικές πηγές η παροχή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το στάδιο ανάπτυξης του καρστικού συστήματος και τα χαρακτηριστικά των υπόγειων αγωγών (έγκοιλα) στα οποία κινείται (Βουδούρης, 2013). Στον Ελληνικό χώρο οι μέγιστες παροχές των πηγών παρατηρούνται κατά το τέλος της υγρής περιόδου (Απρίλιος – Μάιος), ενώ οι ελάχιστες κατά το τέλος της ξηρής περιόδου (Σεπτέμβριος – Οκτώβριος). Το διάγραμμα που απεικονίζει τη διακύμανση της παροχής της πηγής με το χρόνο (Q/t) ονομάζεται υδρογράφημα, εξαρτάται από τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα και από αυτό είναι δυνατό να προκύψουν σημαντικά

συμπεράσματα για το υδροδυναμικό καθεστώς της πηγής, υπό τη προϋπόθεση ότι αυτή παρατηρείται για ικανό χρονικό διάστημα (Βουδούρης, 2013). Πιο συγκεκριμένα μελετάται σε ένα υδρογράφημα η καμπύλη στείρευσης η οποία αποτελεί το τελευταίο τμήμα της καθοδικής πορείας της καμπύλης, εξαρτάται αποκλειστικά από τις υδραυλικές παραμέτρους του υδροφορέα και από αυτήν προκύπτει ο συντελεστής στείρευσης α ο οποίος υπολογίζεται από την εξίσωση: $Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$ (Maillet, 1905), όπου:

- Q_t = η παροχή της πηγής τη στιγμή t .
- Q_0 = η παροχή στην έναρξη της στείρευσης.
- α = ο συντελεστής στείρευσης.



Σχήμα 4.3 Μοναδιαίο υδρόγραμμα πηγής και τα στοιχεία του (Βουδούρης, 2013).

Ο συντελεστής στείρευσης είναι μοναδικός για κάθε πηγή, είναι ανάλογος της υδραυλικής αγωγιμότητας (k) και αντιπροσωπεύει το χρόνο που απαιτείται ώστε η παροχή της πηγής να πέσει στο 36,8% της αρχικής. Κατά τον Meinzer (1923) και όπως φαίνεται στον πίνακα 4.1, οι πηγές διακρίνονται σε οχτώ μεγέθη με βάση την παροχή

τους, όπου στο πρώτο μέγεθος ανήκουν οι πηγές με παροχή $Q > 2,83 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ στο όγδοο μέγεθος κατατάσσονται οι πηγές με παροχή $Q \leq 7,9 \text{ ml/s}$.

Πίνακας 4.1. Κατάταξη των πηγών κατά Meinzer.

Μέγεθος	Παροχή
1 ^ο	$Q > 2,83 \text{ m}^3/\text{s}$
2 ^ο	$Q = 0,283 - 2,83 \text{ m}^3/\text{s}$
3 ^ο	$Q = 28,3 - 283 \text{ l/s}$
4 ^ο	$Q = 6,31 - 28,3 \text{ l/s}$
5 ^ο	$Q = 0,631 - 6,31 \text{ l/s}$
6 ^ο	$Q = 63,1 - 631 \text{ ml/s}$
7 ^ο	$Q = 7,9 - 63,1 \text{ ml/s}$
8 ^ο	$Q \leq 7,9 \text{ ml/s}$

Άλλη σημαντική παράμετρος στην μελέτη και κατανόηση του υδρογεωλογικού καθεστώτος των πηγών είναι η διακύμανση της παροχής που υπολογίζεται από το κλάσμα $Q_{\max}/Q_{\min}$ όπου αν αυτό είναι μικρότερος από 5 τότε η πηγή χαρακτηρίζεται σταθερής παροχής, ενώ αντίστοιχα αν είναι μεγαλύτερος από 5 τότε η πηγή έχει μεταβαλλόμενη παροχή.

Στην παρούσα εργασία η μέτρηση της παροχής για τις πηγές Βοσκίνα και Αγίασμα πραγματοποιούνταν δύο φορές το μήνα (περίπου κάθε 15 ημέρες) με τη χρήση ογκομετρημένων δοχείων για την περίοδο 2/3/2018 – 3/9/2021 και παρουσιάζεται εκπεφρασμένη σε m^3/h . Η χρονοσειρά των μετρήσεων έχει πραγματοποιηθεί από διαφορετικούς φοιτητές, ενώ στην παρούσα διπλωματική ο συγγραφέας έχει συνεισφέρει για την περίοδο Νοεμβρίου 2020 – Οκτωβρίου 2021.

Όσον αφορά στην πηγή Αγίασμα, η μέγιστη τιμή παροχής με τιμή $0,93 \text{ m}^3/\text{h}$ παρατηρήθηκε στις 14/6/2020, ενώ η ελάχιστη, ίση με $0,23 \text{ m}^3/\text{h}$ στις 5/2/2019. Επιπλέον, η μέση παροχή για την ίδια περίοδο υπολογίστηκε ίση με $0,53 \text{ m}^3/\text{h}$.

Με βάση την κατάταξη Meinzer η πηγή του Αγιάσματος ανήκει στο 6^ο μέγεθος και η διακύμανση (V) της παροχής της είναι ίση με 4, οπότε χαρακτηρίζεται σταθερής παροχής. Συνοπτικά τα στατιστικά στοιχεία της παροχής της πηγής Αγίασμα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.0.

Πίνακας 4.2 Στατιστικά δεδομένα της παροχής της πηγής Αγίασμα.

ΧΡΟΝΟΣ/ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	2/3/2018 – 3/9/2021
ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (N)	71
MAX (m ³ /h)	0,93
MIN (m ³ /h)	0,23
AVG (m ³ /h)	0,53
ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ (V)	4



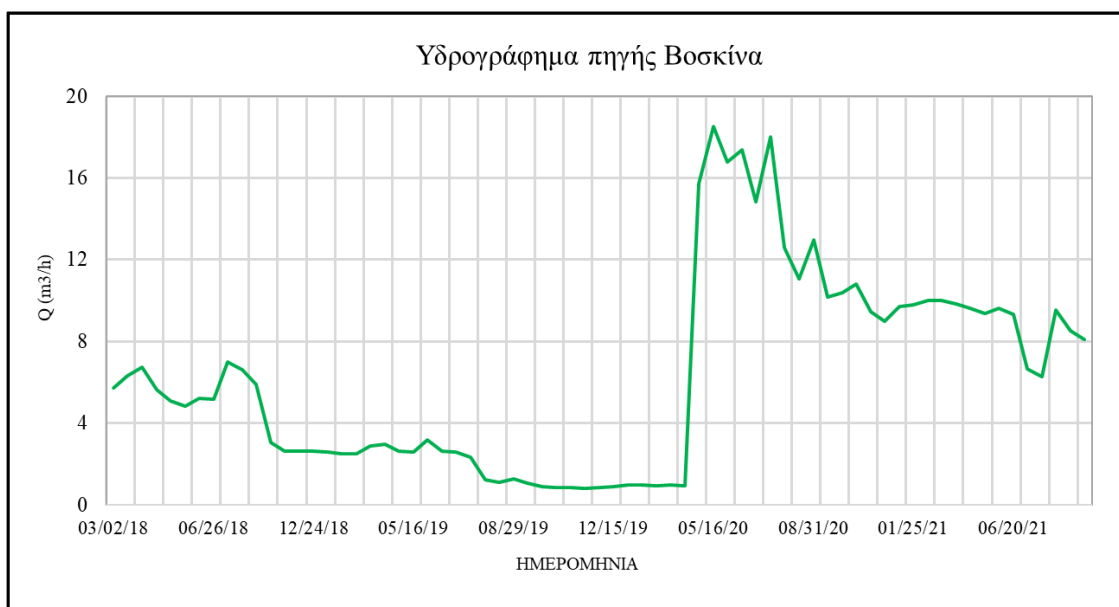
Σχήμα 4.4 Υδρογράφημα της πηγής Αγίασμα.

Για την ίδια περίοδο η πηγή Βοσκίνα παρουσιάζει μέγιστη παροχή ίση με 18,52 m³/h, μέτρηση η οποία πραγματοποιήθηκε στις 16/5/2020, ενώ η ελάχιστη παροχή, ίση με 0,8 m³/h μετρήθηκε στις 17/11/2019. Η μέση τιμή της παροχής είναι ίση με 4,83m³/h, δηλαδή είναι μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από την πηγή του Αγιάσματος. Επιπλέον η πηγή Βοσκίνα ανήκει στο 5^ο μέγεθος κατά Meinzer και η διακύμανσή που παρουσιάζει κατά το διάστημα έρευνας ισούται με 23 και χαρακτηρίζεται επομένως ως πηγή με μεταβαλλόμενη παροχή. Συνοπτικά τα στατιστικά στοιχεία της παροχής της πηγής Βοσκίνα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1. Παρατηρώντας την πορεία της παροχής είναι αξιοσημείωτη η κορυφή (peak) που παρουσιάζει η παροχή καταγράφοντας τις μέγιστες τιμές της κατά την περίοδο Μαΐου – Ιουλίου 2020 όπου από τα χαμηλότερα επίπεδα παροχής, αυξάνεται αιφνίδια στα μέγιστα της περιόδου των καταγραφών και στη συνέχεια παρατηρείται η σταδιακή μείωση της παροχής στα επίπεδα των αρχικών

μετρήσεων. Η τάση αυτή πιθανώς οφείλεται στη δράση του γεωθερμικού συστήματος και θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Πίνακας 4.3 Στατιστικά δεδομένα της παροχής της πηγής Βοσκίνα.

ΧΡΟΝΟΣ/ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	2/3/2018 – 3/9/2021
ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	71
MAX (m ³ /h)	18,52
MIN (m ³ /h)	0,80
AVG (m ³ /h)	4,83
ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ (V)	4



Σχήμα 4.5 Υδρογράφημα της πηγής Βοσκίνα.

4.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Θεμελιώδεις παράμετροι των υπόγειων υδάτων είναι οι φυσικές όπως θερμοκρασία, οσμή, χρώμα, θολότητα και ραδιενέργεια καθώς επίσης και οι χημικές όπως το pH, αγωγιμότητα, σκληρότητα, δυναμικό οξειδοαναγωγής και αλκαλικότητα. Οι μεταβολές στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού των πηγών εξαρτάται άμεσα με τις μεταβολές στην παροχή της (Βουδούρης, 2013). Στο επόμενο κεφάλαιο εξετάζονται τα δεδομένα των καταγραφών 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 όλων των παραπάνω ποιοτικών παραμέτρων ομοίως με την καταγραφή της παροχής (Q) εκτελούνται δύο φορές κάθε μήνα με τη χρήση φορητού πολύμετρου του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

4.4 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (T)

Η θερμοκρασία των υπόγειων υδάτων, αντιθέτως από αυτή των επιφανειακών, είναι ανεξάρτητη των καιρικών συνθηκών, αλλά επηρεάζεται από τη λιθολογία των περιβαλλόντων σχηματισμών καθώς και από τις γεωλογικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στην ευρύτερη περιοχή όπως η γεωθερμική ανωμαλία (Βουδούρης, 2009). Κατά συνέπεια, η θερμοκρασία των υπόγειων νερών δεν καταγράφει κατά κανόνα αξιοσημείωτες διακυμάνσεις στο χρόνο, ενώ το ύψος της στάθμης του υπογείου νερού επηρεάζει την τιμή της θερμοκρασίας του.

Η πορεία της θερμοκρασίας του νερού της πηγής «Αγίασμα» παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.5. Όπως φαίνεται σε αυτό, η θερμοκρασία του Αγιάσματος παρουσιάζει σαφή εποχικότητα, αφού κατά τους θερινούς μήνες καταγράφονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες, ενώ κατά τους χειμερινούς οι χαμηλότερες, στοιχείο που καταδεικνύει την τροφοδοσία επιφανειακών υδάτων σε κοντινή απόσταση στα συνολικά αποθέματα της πηγής. Η καταγραφή της θερμοκρασίας στην περίοδο των μετρήσεων σημειώθηκε στις 23/08/2021 με τιμή 24,0 °C, ενώ η ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας παρατηρήθηκε στις 23/03/2021 ίση με 13,7 °C. Ο μέσος όρος των τιμών της θερμοκρασίας του Αγιάσματος υπολογίστηκε 19,9 °C (Πίνακας 4.2).

Πίνακας 4.2 Στατιστικά δεδομένα της θερμοκρασίας του νερού της πηγής Αγίασμα.

ΧΡΟΝΟΣ/ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	2/3/2018 – 3/9/2021
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (N)	71
MAX(°C)	25,8
MIN(°C)	13,7
AVG(°C)	19,93

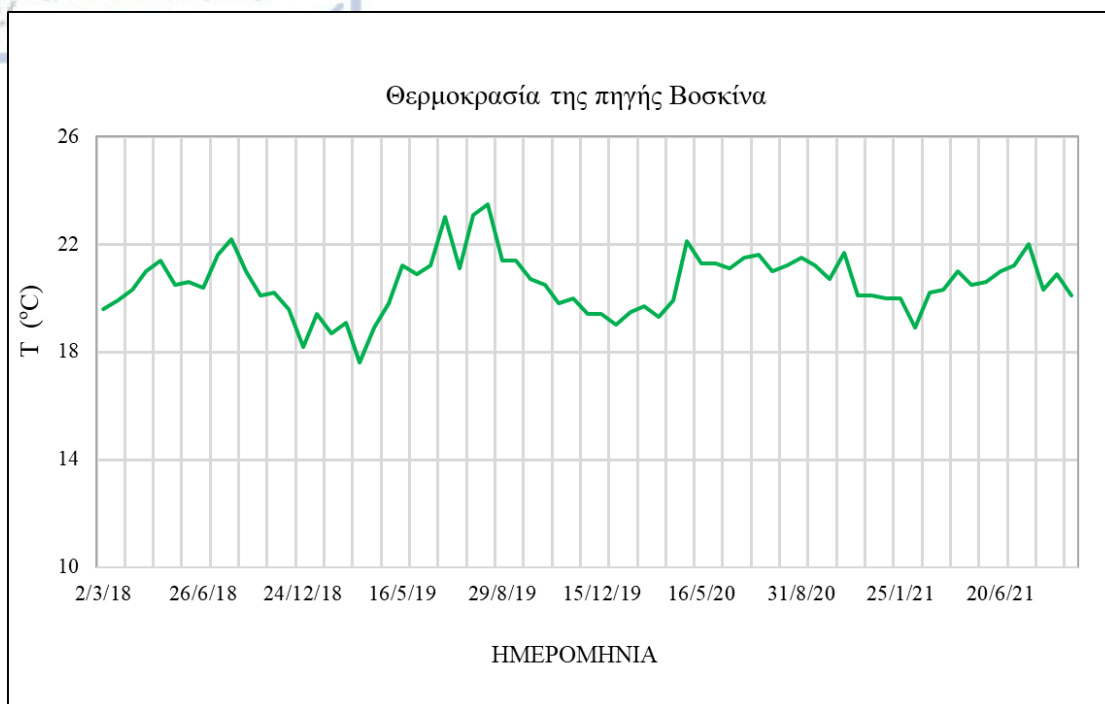


Σχήμα 4.5 Χρονική Διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού της πηγής Αγίασμα.

Η χρονική πορεία της τιμής της θερμοκρασίας για την πηγή Βοσκίνα δίνεται στο Σχήμα 3.2. Η υψηλότερη τιμή θερμοκρασίας στην πηγή Βοσκίνα κατά την περίοδο καταγραφής σημειώθηκε στις 20/7/2021 ίση με 23,5 °C, ενώ η ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας καταγράφηκε στις 23/03/2021 με τιμή 17,6 °C. Κατά μέσο όρο η θερμοκρασία στην πηγή αυτή ισούται με 20,55 °C. Αντίθετα από την πηγή του Αγιάσματος, η Βοσκίνα δεν παρουσιάζει έντονη εποχιακή διακύμανση και οι μεταβολές της θερμοκρασίας είναι μικρότερες. Αυτό οφείλεται στο διαφορετικό υδρογεωλογικό καθεστώς της πηγής που αναλύθηκε παραπάνω, καθώς και στο μεγάλο βάθος του υδροφορέα, το οποίο από παλαιότερες έρευνες στην περιοχή (Καζάκης, 2016) εντοπίστηκε στα 240 m, σε αντίθεση τον υδροφορέα της πηγής του Αγιάσματος ο οποίος παρατηρήθηκε στα 70 m.

Πίνακας 4.3 Στατιστικά δεδομένα της θερμοκρασίας του νερού της πηγής Βοσκίνα.

ΧΡΟΝΟΣ/ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	2/3/2018 – 3/9/2021
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (N)	71
MIN (°C)	17,6
MAX(°C)	23,5
AVG(°C)	20,54



Σχήμα 4.6 Χρονική Διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού της πηγής «Βοσκίνα».

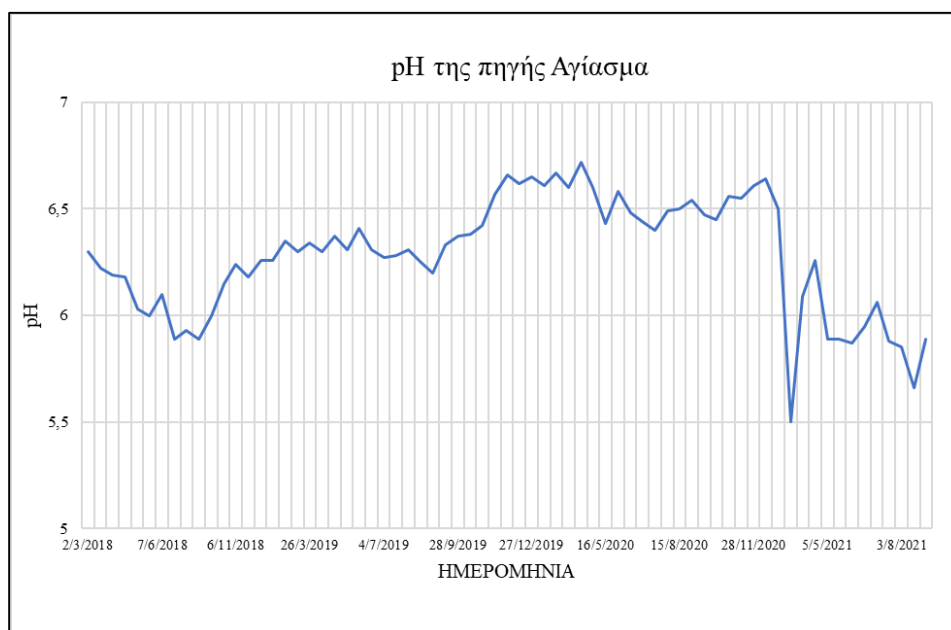
4.5 ΕΝΕΡΓΟΣ ΟΞΥΤΗΤΑ (pH)

Το pH είναι το μέγεθος που μετρά την οξύτητας ή αλκαλικότητα μιας χημικής ουσίας, για αυτό και αναφέρεται ως ενεργός οξύτητα. Η ενεργός οξύτητα ή pH είναι ένας τρόπος έκφρασης της συγκέντρωσης των κατιόντων οξωνίου (H_3O^+) σε ένα υδατικό διάλυμα. Το νερό καλείται ουδέτερο για $\text{pH}=7$, όξινο για $\text{pH}<7$ και αλκαλικό για $\text{pH}>7$. Παράγοντες που καθορίζουν το pH του υπόγειου νερού είναι τα περιβάλλοντα πετρώματα και οι χημικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε αυτά. Έχει παρατηρηθεί ότι σε καρστικούς υδροφορείς το νερό είναι όξινο, ενώ σε οφιολιθικούς είναι αλκαλικό (Σούλιος, 2006). Σημειώνεται ότι τα όξινα υπόγεια νερά έχουν την ιδιότητα να διαλύουν ευκολότερα τα πετρώματα με τα οποία έρχονται σε επαφή και να εμπλουτίζουν τη σύστασή τους σε ιόντα, ενώ τα αναγωγικά υπόγεια νερά έχουν την ικανότητα να αποθέτουν άλατα (Βουδούρης 2009). Επιπλέον με το πέρασμα του χρόνου το υπόγειο νερό τείνει να γίνεται όξινο λόγω της διάσπασης των οργανικών ουσιών (Βουδούρης, 2009).

Ο χαρακτήρας του pH του νερού των πηγών έρευνας καλείται ως όξινος με τιμές που κυμαίνονται από 5,50 έως 6,72. Πιο αναλυτικά, η μεταβολή του pH στις πηγές Αγίασμα και Βοσκίνα για το διάστημα παρουσιάζονται στα σχήματα 3.3 και 3.4 αντίστοιχα. Η μέγιστη τιμή του pH για την πηγή «Αγίασμα» καταγράφηκε στις 25/01/2021 με τιμή ίση με 6,50 ενώ η ελάχιστη τιμή καταγράφηκε στις 23/03/2021 με τιμή ίση με 5,50. Η μέση τιμή του pH για το Αγίασμα υπολογίστηκε ίσο με 6,28.

Πίνακας 4.4 Στατιστικά δεδομένα του pH του νερού της πηγής Αγίασμα.

ΧΡΟΝΟΣ/ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	2/3/2018 – 3/9/2021
ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (N)	71
MAX	6,72
MIN	5,5
AVG	6,28

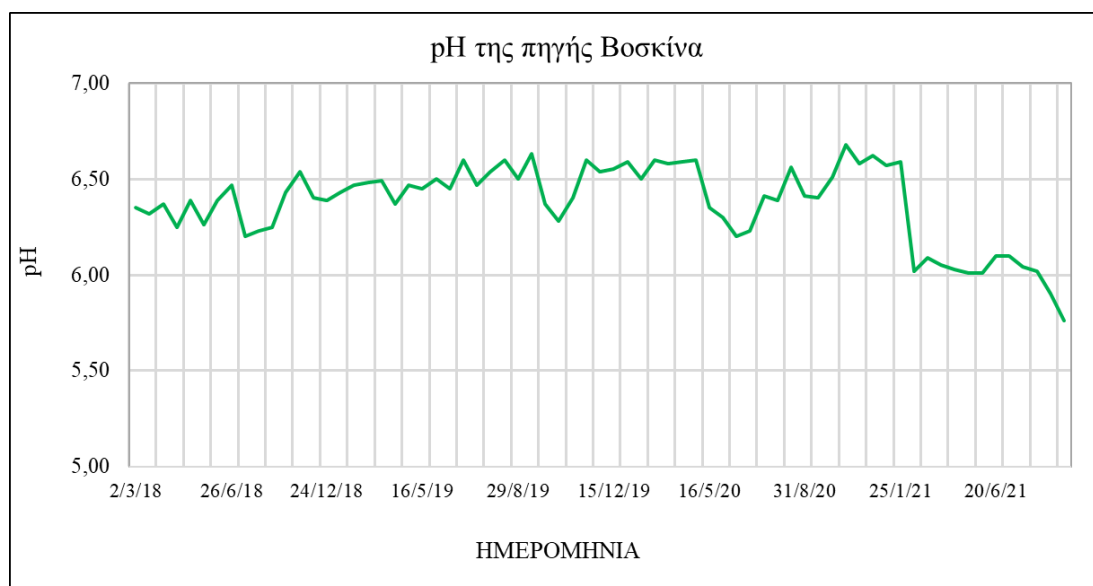


Σχήμα 4.7 Χρονική Διακύμανση των τιμών pH στη πηγή Αγίασμα.

Όσον αφορά την πηγή Βοσκίνα η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε στις 25/01/2021, ενώ η ελάχιστη στις 03/09/2021 με τιμές 6,59 και 5,76 αντίστοιχα. Η μέση τιμή του pH υπολογίστηκε ίση με 6,37.

Πίνακας 4.5 Στατιστικά δεδομένα του pH του νερού της πηγής Βοσκίνα.

ΧΡΟΝΟΣ/ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	2/3/2018 – 3/9/2021
ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (N)	71
MAX	6,59
MIN	5,76
AVG	6,37



Σχήμα 4.8 Χρονική Διακύμανση των τιμών pH στη πηγή Βοσκίνα.

4.6 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (EC)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εξαρτάται από την θερμοκρασία και από το σύνολο των σε διαλυμένων αλάτων και ιόντων σε αυτό. Η συνολική περιεκτικότητα του υπόγειου νερού σε άλατα τείνει να αυξάνεται με το βάθος και είναι μεγαλύτερη σε σχέση με το επιφανειακό λόγω της διαλυμένων ουσιών που συμμετέχουν στη σύστασή του, προερχόμενα από τους υδροφορείς στους οποίους λαμβάνει χώρα η υπόγεια

ροή.(Βουδούρης, 2009). Εναλλακτικός τρόπος μέτρησης της αλατότητας του νερού είναι η μέτρηση των διαλυμένων στερεών (Totaldissolvedsolids - TDS). Αυτή η παράμετρος μπορεί επίσης να υπολογιστεί από την εξίσωση: $TDS = EC \times 0.65$ (Βουδούρης 2009).

Οι πηγές έρευνας, λόγω του υδροθερμικού ρευστού που εκφορτίζουν, εμφανίζουν υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας οι οποίες κυμαίνονται από 1991 έως 3790 $\mu S/cm$ στην περίοδο καταγραφής των παραμέτρων. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε οι πηγές έρευνας εκφορτίζουν νερό ανάμειξης. Ένεκα τούτου, η τιμή της παραμέτρου αυτής καθορίζεται από το ποσοστό της σύστασης του καθενός συστήματος στη συνολική υδατική παροχή και όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία ο υπολογισμός της προκύπτει από τον τύπο : $EC_{mix} = EC_1 \cdot x + EC_2 \cdot (1-x)$, όπου EC_{mix} = η ηλεκτρική αγωγιμότητα του αναμεμιγμένου νερού, EC_1 , EC_2 = οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας των νερών που αναμείχθηκαν, x το ποσοστό της σύστασης του νερού της μιας πηγής τροφοδοσίας (Βουδούρης, 2009).

Η χρονική πορεία της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) για την πηγή «Αγίασμα» δίνεται στο Σχήμα 4.9. Παρατηρείται σύμφωνα με αυτό ότι οι μέγιστες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σημειώνονται κατά τις θερινές περιόδους του 2018 και 2019. Το γεγονός αυτό επομένως οφείλεται στη μεγαλύτερη συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων στο νερό της πηγής. Η μέγιστη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, καταγράφηκε στις 13/07/2021 ίση με 3790 $\mu S/cm$, ενώ η ελάχιστη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας βρέθηκε ίση με 2002 $\mu S/cm$ στις 30/07/2020. Η μέση τιμή βρέθηκε ίση με 2545 $\mu S/cm$.

Πίνακας 4.6 Στατιστικά δεδομένα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού της πηγής Αγίασμα.

ΧΡΟΝΟΣ/ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	2/3/2018 – 3/9/2021
ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (N)	71
MAX($\mu S/cm$)	3790
MIN($\mu S/cm$)	2002
AVG ($\mu S/cm$)	2545

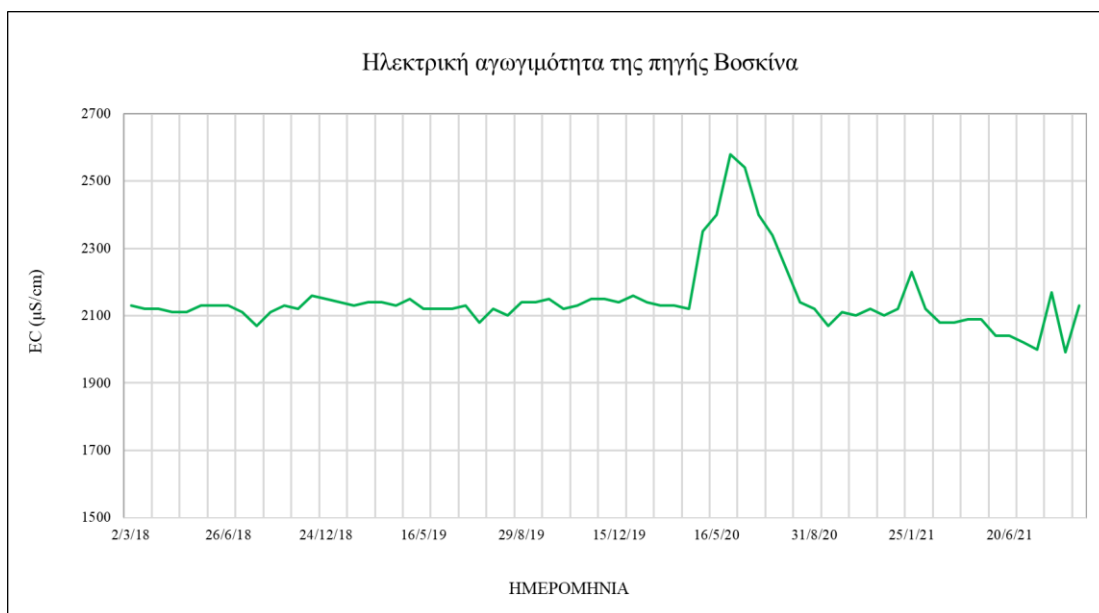


Σχήμα 4.9 Χρονική Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας της πηγής Αγίασμα.

Η χρονοσειρά της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για την πηγή «Βοσκίνα» δίνεται στο Σχήμα 4.10. Καθώς φαίνεται στο γράφημα, σημειώνεται ραγδαία αύξηση της τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά την περίοδο Μαΐου – Ιουλίου 2020, η οποία στη συνέχεια σταθεροποιείται στα προηγούμενα επίπεδα χωρίς ιδιαίτερες μεταβολές. Η περίοδος αυτή συμπίπτει με την αιφνίδια αύξηση της παροχής της πηγής και πιθανώς οφείλεται στη συμβολή του αγωγίμου υδροθερμικού ρευστού. Σε προηγούμενες έρευνες έχουν παρατηρηθεί παρόμοιες μεταβολές. Πιο συγκεκριμένα το μήνα Μάρτιο του έτους 2004 η παροχή της πηγής σημείωσε σημαντική άνοδο από τα 15 στα 70 m³/h. Παράλληλα, η αγωγιμότητα ανέβηκε από τα 2250 στα 8530 μS/cm. (Ναγκούλης, 2009), γεγονός που υποδεικνύει την περιοδική συμπεριφορά του γεωθερμικού συστήματος. Η μέγιστη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην «Βοσκίνα» κατά το διάστημα των μετρήσεων καταγράφηκε στις 31/05/2021, ίση με 2580 μS/cm, ενώ η ελάχιστη μετρήθηκε στις 23/08/2021 και ισούται με 1991 μS/cm. Ο μέσος όρος της τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για την πηγή Βοσκίνα υπολογίστηκε ίσος με 2145 μS/cm.

Πίνακας 4.5 Στατιστικά δεδομένα του pH του νερού της πηγής Βοσκίνα.

ΧΡΟΝΟΣ/ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	2/3/2018 – 3/9/2021
ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (N)	71
MAX($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2580
MIN($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1991
AVG($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2145



Σχήμα 4.10 Χρονική Διακύμανση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας της πηγής Βοσκίνα.

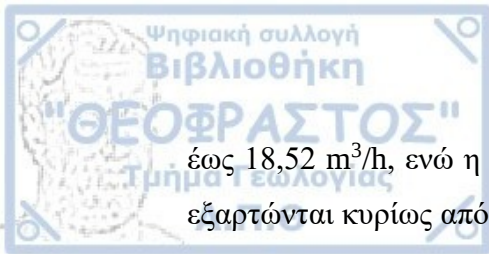
Κατά το χρονικό διάστημα έρευνας Νοεμβρίου 2020 – Οκτωβρίου 2021 οι μέγιστες θερμοκρασίες που κατέγραψαν οι πηγές Αγίασμα και Βοσκίνα είναι $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, αντίστοιχα και καταγράφονται κατά τους θερινούς μήνες, ενώ οι ελάχιστες παρατηρήθηκαν κατά τη χειμερινή περίοδο, ίσες με $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $18,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, αντίστοιχα. Οι μέσες τιμές θερμοκρασίας υπολογίστηκαν ίσες με $19,85\text{ }^{\circ}\text{C}$ για το Αγίασμα και $20,47\text{ }^{\circ}\text{C}$ για τη Βοσκίνα. Η πηγή του Αγιάσματος παρουσιάζει μεγαλύτερες ακραίες τιμές σε σχέση με την πηγή της Βοσκίνας. Το στοιχείο αυτό καταδεικνύει την έντονη εποχικότητα που παρουσιάζει το Αγίασμα σε σύγκριση με τη Βοσκίνα όπως φαίνεται και γραφικά (βλ. κεφάλαιο 4.4).

Για την ίδια περίοδο όσον αφορά την ηλεκτρική αγωγιμότητα η πηγή του Αγιάσματος κατέγραψε μέγιστη και ελάχιστη τιμή ίσες με $2130\text{ }\mu\text{S/cm}$ και $2690\text{ }\mu\text{S/cm}$ αντίστοιχα, ενώ η μέση τιμή είναι ίση με $2366\text{ }\mu\text{S/cm}$. Ταυτοχρόνως η πηγή της Βοσκίνας εμφανίζει μέγιστη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας ίση με $2230\text{ }\mu\text{S/cm}$ και ελάχιστη ίση με $1991\text{ }\mu\text{S/cm}$ και μέση τιμή $2086\text{ }\mu\text{S/cm}$. Το pH παρουσιάζει παρόμοιο καθεστώς διακύμανσης και για τις δύο πηγές με μέγιστη τιμή 6,6 ελάχιστη τιμή 5,6 και μέση τιμή ίση με 6.

Αναφορικά με τα ποσοτικά χαρακτηριστικά των πηγών, οι μέγιστες τιμές παροχής παρατηρήθηκαν κατά την υγρή περίοδο και ισούνται με $10\text{ m}^3/\text{h}$ για τη Βοσκίνα και $0,64\text{ m}^3/\text{h}$ για το Αγίασμα. Αντιστοίχως οι ελάχιστες τιμές παρατηρήθηκαν την ξηρή περίοδο ίσες με $6,29\text{ m}^3/\text{h}$ και $0,34\text{ m}^3/\text{h}$. Τέλος οι μέσες τιμές της παροχής υπολογίστηκαν ίσες με $9,09\text{ m}^3/\text{h}$ και $0,56\text{ m}^3/\text{h}$ για την Βοσκίνα και το Αγίασμα, αντίστοιχα.

Σύμφωνα με την έρευνα που διεξήχθη στις πηγές Αγίασμα και Βοσκίνα συνολικά κατά την περίοδο Μαρτίου 2018 – Οκτωβρίου 2021 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι πηγές που ερευνήθηκαν οφείλουν τη δημιουργία τους στη δράση του ρήγματος του Ανθεμούνα, δια μέσου του οποίου ανέρχεται υδροθερμικό ρευστό εμπλουτισμένο σε διαλυμένα ιόντα και ως εκ τούτου καταγράφονται σε αυτές υψηλές τιμές θερμοκρασίας και ηλεκτρικής αγωγιμότητας.
- Οι δύο καρστικές πηγές αναβλύζουν όξινο νερό με μέση τιμή pH ίση με 6,3.
- Η παροχή της πηγής Βοσκίνα εμφανίζει διακυμάνσεις οι οποίες οφείλονται στη συνεισφορά του υδροθερμικού ρευστού στη συνολική παροχή, με τιμές από 0,8



έως $18,52 \text{ m}^3/\text{h}$, ενώ η παροχή της πηγής Αγίασμα έχει μικρές διακυμάνσεις που εξαρτώνται κυρίως από μετεωρολογικούς παράγοντες.

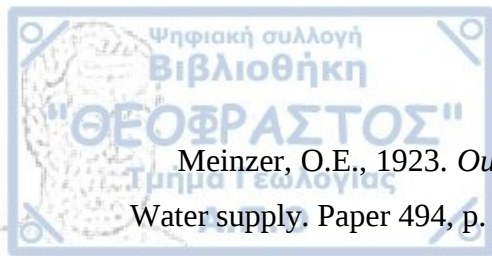
- Η θερμοκρασία του νερού στην πηγή Αγίασμα εμφανίζει εποχικές μεταβολές λόγω της συμβολής επιφανειακών υδάτων.
- Το νερό της πηγής της Βοσκίνας παρουσιάζει γενικότερα χαμηλότερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε σχέση με το νερό της πηγής του Αγιάσματος, η οποία εκφορτίζει εξ ολοκλήρου υδροθερμικό ρευστό. Οι τιμές της EC εξαρτώνται από την παροχή του νερού της, καθώς όταν αυτή σημειώνει μικρές τιμές, αυξάνεται η συγκέντρωση των αλάτων και επομένως της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Βουδούρης Κ., 2009. *Εκμετάλλευση και διαχείριση υπόγειου νερού*. Εκδόσεις Τζιόλα.
- Βουδούρης Κ., 2009. *Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος*. Εκδόσεις Τζιόλα.
- Βουδούρης Κ., 2013. *Τεχνική υδρογεωλογία- υπόγεια νερά*. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- 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.
- Μουντράκης Δ., 2010. *Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας*, UniversityStudioPress, σελ. 49 – 51, 62 – 68.
- Συρίδης Γ., 1990 *Λιθοστρωματογραφική, Βιοστρωματογραφική και Παλαιογεωγραφική μελέτη των Νεογενών-Τεταρτογενών ιζηματογενών σχηματισμών της χερσονήσου Χαλκιδικής*. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- Φλόκας Α., 1992. *Μαθήματα μετεωρολογίας και κλιματολογίας*. Εκδόσεις Ζήτη.

Ξένη Βιβλιογραφία

- 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.
- Maillet, E., 1905. *Essais d' hydrauliques souterraine et fluviale*. Herman, Paris.



Meinzer, O.E., 1923. *Outline of groundwater hydrology with definitions*. U.S.G.S., Water supply. Paper 494, p. 71.

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.

Shiklomanov, L.A., 1993. *World Freshwater Resources in* Gleick, P.H., editor, *Water in Crisis: A Guide to World's Freshwater Resources*. Oxford University Press, New York, pages 13-24.

Springer, A.E., Stevens, L. 2009. *Spheres of discharge of springs*. Hydrogeology Journal 17, 83 – 93.

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.

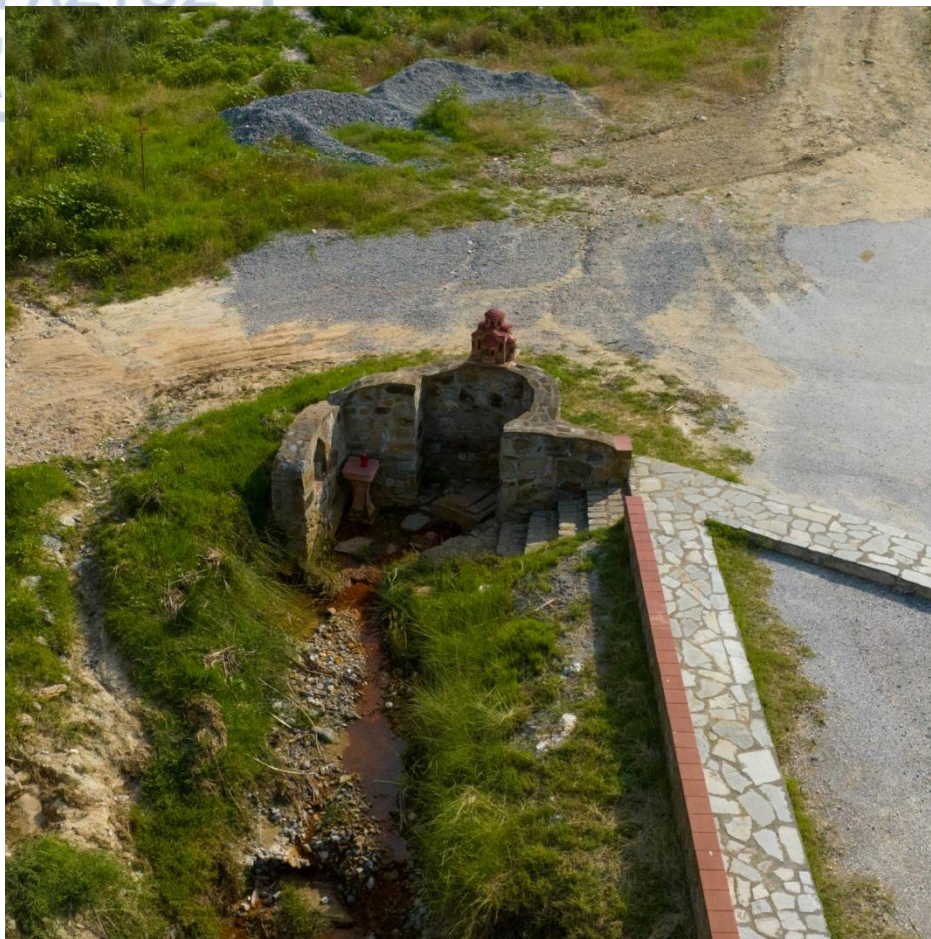
UNWWAP, 2016, *United Nations World Water Assessment Programme, The United Nations World Water Development Report 2016: Water and Jobs*. UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization), Paris.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

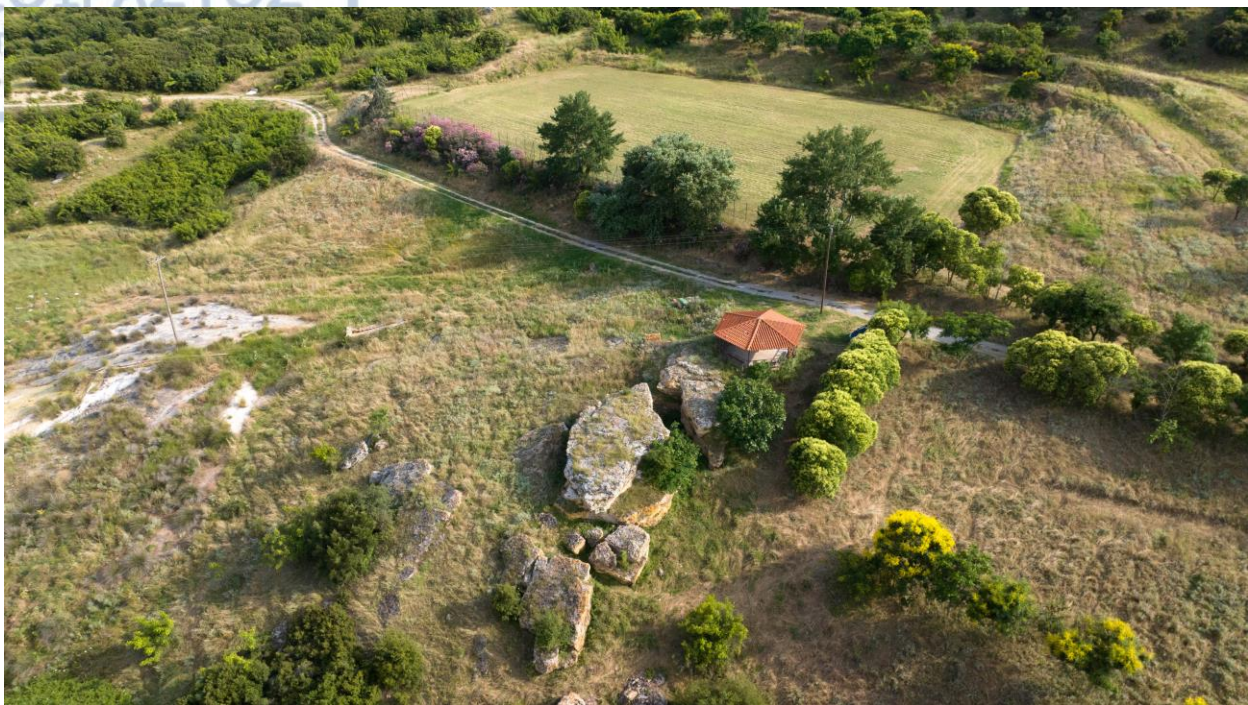
Ι. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ DRONE ΣΤΙΣ ΠΗΓΕΣ ΑΓΙΑΣΜΑ ΚΑΙ ΒΟΣΚΙΝΑ



Σχήμα 1.1 Φωτογραφία με Drone στην πηγή Αγίασμα.



Σχήμα 1.2 Φωτογραφία με Drone στην πηγή Αγίασμα.



Σχήμα 1.3 Φωτογραφία με Drone στην πηγή Βοσκίνα.



Σχήμα 1.4 Φωτογραφία με Drone στην πηγή Βοσκίνα.



Σχήμα 1.5 Φωτογραφία με Drone στην πηγή Βοσκίνα.



Σχήμα 2.1 Μέτρηση Φυσικοχημικών παραμέτρων στην πηγή Αγίασμα.



Σχήμα 2.2 Μέτρηση παροχής νερού στην πηγή Αγίασμα.



Σχήμα 2.3 Μέτρηση Φυσικοχημικών παραμέτρων στην πηγή Βοσκίνα.



Σχήμα 2.4 Μέτρηση παροχής νερού στην πηγή Βοσκίνα.

III. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΗΓΗ ΑΓΙΑΣΜΑ



Σχήμα 3.1 Φωτογραφία 12/03/2020.



Σχήμα 3.2 Φωτογραφία 20/04/2021.

IV. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΗΓΗ ΒΟΣΚΙΝΑ



Σχήμα 4.1 Φωτογραφία 20/04/2021.



Σχήμα 4.2 Φωτογραφία 02/09/2021.