

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

**ΚΑΪΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΝΑ**

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΑΡΟΧΗΣ, pH, ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ  
ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΙΑΣΜΑ ΚΑΙ ΒΟΣΚΙΝΑ ΣΤΗ  
ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2020





**ΚΑΪΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΝΑ**

Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5282

**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΑΡΟΧΗΣ, pH, ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ  
ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΙΑΣΜΑ ΚΑΙ ΒΟΣΚΙΝΑ ΣΤΗ  
ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ**

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωλογίας  
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

**Επιβλέπων**

Κωνσταντίνος Βουδούρης, Καθηγητής

**Επικουρία στην επίβλεψη**

Νεραντζής Καζάκης, Δρ. Υδρογεωλογίας



© Καϊοπούλου Μαρίνα, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωλογίας, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΑΡΟΧΗΣ, pH, ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΓΙΑΣΜΑ ΚΑΙ ΒΟΣΚΙΝΑ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ– *Διπλωματική Εργασία*

© Kaiopoulou Marina, School of Geology, Dept. of Geology, 2019

All rights reserved.

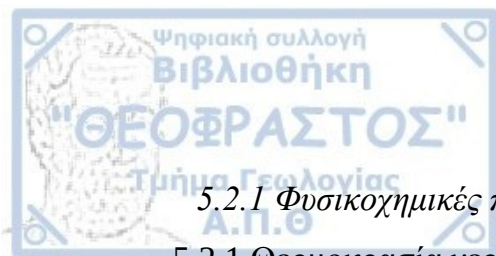
Water springs', Agiasma and Voskina, data processing of discharge, pH, temperature and conductivity, in the area of Anthemounta's basin – *Bachelor Thesis*

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.



|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....</b>                                 | <b>1</b>  |
| <b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>                                                 | <b>2</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                | <b>3</b>  |
| <b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>                                              | <b>4</b>  |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.6</b>          |           |
| 2.1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....              | 6         |
| 2.1.1 Γεωμορφολογία.....                                             | 7         |
| 2.1.2 Υδρογραφικό Δίκτυο.....                                        | 10        |
| 2.2 ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....                                 | 11        |
| 2.3 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....                               | 12        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ .....</b>                        | <b>16</b> |
| 3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ ΚΑΙ ΘΕΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ.....            | 16        |
| 3.2 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ ΚΑΙ ΘΕΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ. ....          | 19        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ – ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ..22</b>         |           |
| 4.1 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ ΚΑΙ ΠΗΓΩΝ. ....                  | 22        |
| 4.1.1 Υπόγειοι υδροφορείς.....                                       | 23        |
| 4.1.2 Μηχανισμός λειτουργίας των πηγών «Βοσκίνα» και «Αγίασμα». .... | 25        |
| 4.2 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....                                  | 26        |
| 4.3 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ .....                               | 28        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ .....</b>                        | <b>30</b> |
| 5.1 ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ.....                | 30        |
| 5.1.1 Σύγκριση παροχής - Βροχόπτωσης.....                            | 33        |
| 5.2 ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ.....                | 38        |



|                                              |           |
|----------------------------------------------|-----------|
| 5.2.1 Φυσικοχημικές παράμετροι νερού .....   | 38        |
| 5.2.1 Θερμοκρασία νερού .....                | 38        |
| 5.2.1 Ηλεκτρική αγωγιμότητα .....            | 43        |
| 5.2.1 Ενεργός οξύτητα (pH).....              | 47        |
| 5.3 ΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΙΣ ΠΗΓΕΣ. .... | 52        |
| <b>6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>                 | <b>54</b> |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>                     | <b>55</b> |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>                       | <b>58</b> |

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο «Επεξεργασία δεδομένων παροχής, pH, θερμοκρασίας και αγωγιμότητας των πηγών 'Αγίασμα' και 'Βοσκίνα', στη λεκάνη του Ανθεμούντα» εκπονήθηκε με σκοπό την ολοκλήρωση των προπτυχιακών μου σπουδών, στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, του τμήματος Γεωλογίας στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Κριτήρια της επιλογής του θέματος αυτού, αποτέλεσαν: το μεγάλο ενδιαφέρον που μου κίνησε ο τομέας της υδρογεωλογίας, η προστασία των υδατικών πόρων και η σπουδαιότητα του νερού για την επιβίωση των ζωντανών οργανισμών στη γη, καθώς και η παρατήρηση πηγών νερού και η επιθυμία να κατανοήσω τον τρόπο με τον οποίο δημιουργούνται και λειτουργούν. Η εργασία έχει ως στόχο τη συστηματική ποσοτική και ποιοτική παρακολούθηση, τεσσάρων (4) παραμέτρων (παροχή, pH, θερμοκρασία, αγωγιμότητα) δύο πηγών, ονόματι «Αγίασμα» και «Βοσκίνα», στην περιοχή της λεκάνης του Ανθεμούντα και τη συσχέτιση των αποτελεσμάτων με μετεωρολογικά δεδομένα, καθώς επίσης και την οπτική παρατήρηση σε τυχόν αλλαγές της περιμετρικής ανάπτυξης των πηγών, κατά τη διάρκεια του έτους.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Κωνσταντίνο Βουδούρη, για την ανάθεση του θέματος της εργασίας και την ευκαιρία που μου έδωσε να εμβαθύνω περισσότερο και να ασχοληθώ με το αντικείμενο της υδρογεωλογίας. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον μεταδιδάκτορα του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας, κ. Καζάκη Νεραντζή, για την βοήθειά που μου προσέφερε, τη μετάδοση των γνώσεων του σε εργασίες υπαίθρου, την υπομονή και κατανόησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας. Ακόμη, ευχαριστώ όλους τους καθηγητές και καθηγήτριες του τμήματος γεωλογίας που μου δίδαξαν και μου μετέδωσαν τις γνώσεις τους πάνω στο αντικείμενο της επιστήμης της γεωλογίας, ώστε να φτάσω σε αυτό το τελικό στάδιο, της παρουσίασης της πτυχιακής μου εργασίας. Τέλος, ένα τεράστιο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, που με στήριξε και πίστεψε σ' εμένα και στις ικανότητές μου, όταν εγώ ξεχνούσα να το κάνω, δίνοντας μου δύναμη και θάρρος, να συνεχίσω μέχρι την απόκτηση του πτυχίου μου και την ολοκλήρωση των σπουδών μου.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

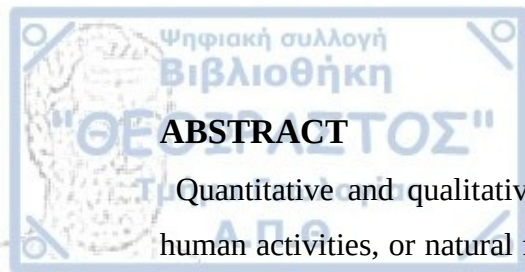
Τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού, εμφανίζουν μεταβολές, είτε λόγω επίδρασης από ανθρώπινους παράγοντες, είτε λόγω φυσικών παραγόντων. Η παρακολούθηση των χαρακτηριστικών αυτών, του νερού, αποτελεί σημαντικό μέρος της επιστήμης της υδρογεωλογίας, μιας και αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί για διάφορες ανάγκες, ανάλογα με την ποιότητά του (ύδρευση, άρδευση, βιομηχανία κ.ά.)

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την παρατήρηση των ποιοτικών και ποσοτικών μεταβολών, του νερού σε δύο πηγές, με τη χρήση κατάλληλων, οργάνων μέτρησης και τη λήψη μετρήσεων ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ανά περίπου 15 ημέρες, στην προκειμένη περίπτωση. Έναν επιπλέον στόχο αποτελεί η συσχέτιση αυτών των μεταβολών με τις διακυμάνσεις των μετεωρολογικών παραγόντων.

Οι παράμετροι που παρακολουθήθηκαν συνολικά είναι τέσσερις (4), pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, θερμοκρασία και παροχή νερού, είτε με τη λήψη δείγματος και τη μέτρηση των παραμέτρων με ειδικό όργανο, είτε με ογκομετρικά βαρέλια, απ' ευθείας στο ύπαιθρο. Συγκρίθηκαν και έγινε συσχετισμός μεταξύ τους, αλλά και με μετεωρολογικές παραμέτρους, όπως υγρασία εδάφους, θερμοκρασία εδάφους και ύψος βροχόπτωσης. Τέλος, οι πηγές που μελετήθηκαν, παρουσιάζουν μια ιδιαιτερότητα. Είναι άμεσα συνδεδεμένες και επηρεάζονται από γεωθερμικά ρευστά, εκτός από μετεωρικό νερό, γεγονός που τις καθιστά ακόμη πιο ενδιαφέρουσες και άξιες περαιτέρω μελέτης, με πιο αναλυτική εξέταση του χημισμού του νερού.

Τέλος, οι πηγές βρίσκονται στο χώρο της λεκάνης του Ανθεμούντα και είναι γνωστές ως «Βοσκίνα», στην περιοχή της Σουρωτής και «Αγίασμα», στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής.





## ABSTRACT

Quantitative and qualitative characteristics of water, appear modifications, due to human activities, or natural factors. An important part of the science of hydrogeology is to monitor these characteristics of water, since it can be used for various needs, depending on its quality.

The purpose of this dissertation is to observe the qualitative and quantitative parameters modifications of the water of the two springs, by using appropriate measuring instruments and taking measurements on a regular time intervals, 15 days, in this case. An additional goal is to examine the relationship between those modifications and the fluctuations of meteorological factors.

The parameters used in total are four (4), pH, electric conductivity, temperature and discharge of water. They were compared and correlated between them and with meteorological parameters, such as the ground humidity, ground temperature and rainfall. Finally, the springs that have been studied present a uniqueness. They are directly connected and affected by geothermal fluids, apart from meteoric water, a fact that makes them even more interesting and worthy of further study with more detailed examination of the chemistry of water.

Finally, the springs are located in the area of the basin of Anthemountas and are known as “Voskina”, in the area of Souroti and “Agiasma”, in the area of Agia Paraskevi.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

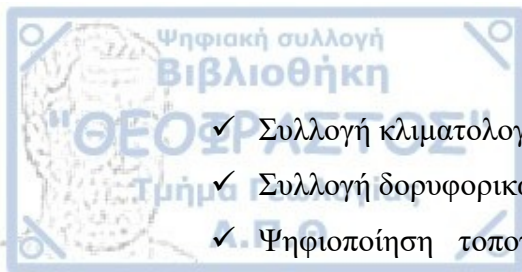
Το νερό είναι ένας μοναδικός και απαραίτητος φυσικός πόρος, αφού όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί στον πλανήτη μας το χρειάζονται για την επιβίωσή τους.

Σημαντικό είναι το γεγονός ότι, η ποσότητα του νερού που δεσμεύεται κατά τη διαδικασία του κύκλου του νερού, από το έδαφος, στην ατμόσφαιρα (εξάτμιση), παραμένει αμετάβλητη και επιστρέφει εκ νέου (υγροποίηση) στα επιφανειακά ύδατα ή σε υπόγειες ροές. Οι πηγές και οι αναβλύσεις αυτών, συνδέονται στενά με τον κύκλο του νερού στη φύση, την υδρολογική ισορροπία και το υδρολογικό ισοζύγιο. Έτσι λοιπόν, μια πηγή σχετίζεται άμεσα με την επιστροφή νερού από την ατμόσφαιρα στο έδαφος, με τη μορφή βροχής ή χιονιού και την κατείσδυση αυτού, μέσω διαπερατών εδαφών, στους υπόγειους υδροφορείς. Αποτέλεσμα αυτής της κατείσδυσης, είναι ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδάτων και η εκτόνωση αυτών, μέσω των πηγών νερού, που εμφανίζονται κατά βάση σε ρηξιγενείς περιοχές, με ρήγματα και διαρρήξεις. Συμπερασματικά, η **ποσότητα** (παροχή) του νερού που εξέρχεται από μια πηγή, είναι άμεσα συνδεδεμένη με το νερό που ρέει και βρίσκεται αποθηκευμένο στον υπόγειο υδροφορέα, από τον οποίο τροφοδοτείται η πηγή αυτή. Η μεταβολή της παροχής, οφείλεται σε παραμέτρους όπως το ύψος βροχής, η εξάτμιση και η γεωλογία της περιοχής. Εξίσου σημαντική παράμετρος του νερού, είναι και η **ποιότητα** του, δηλαδή ο χημισμός του (χημικά στοιχεία, μικροοργανισμοί, pH κ.ά.) Κάθε μεταβολή του χημισμού του, μεταβάλλει και την ποιοτική του κατάσταση. Γι' αυτό είναι απαραίτητη η συστηματική παρακολούθηση των φυσικών και χημικών παραμέτρων του.

Σκοπός λοιπόν αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η ποσοτική και ποιοτική παρακολούθηση του νερού των δύο πηγών στις θέσεις Αγίασμα και Βοσκίνα και η εξαγωγή συμπερασμάτων από τη λήψη συστηματικών μετρήσεων διαφόρων παραμέτρων, τόσο ποιοτικών, όσο και ποσοτικών, σε σύγκριση με μετεωρολογικές μεταβολές, διάρκειας περίπου 1,5 έτους.

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω εργασίες:

- ✓ Συγκέντρωση ελληνικής και ξένης βιβλιογραφίας.
- ✓ Συλλογή τοπογραφικών, γεωλογικών, υδρογεωλογικών χαρτών και δεδομένων.



- ✓ Συλλογή κλιματολογικών δεδομένων.
- ✓ Συλλογή δορυφορικών εικόνων από το Google earth
- ✓ Ψηφιοποίηση τοπογραφικού και γεωλογικού χάρτη, DEM υψομέτρου, κλίσεων και προσανατολισμού των κλιτύων της περιοχής.
- ✓ Εργασίες υπαίθρου για τη συστηματική παρακολούθηση των ποιοτικών και ποσοτικών μεταβολών του νερού των πηγών, με τη χρήση οργάνων. Συγκεκριμένα, μετρήσεις pH, θερμοκρασίας, αγωγιμότητας και παροχής.

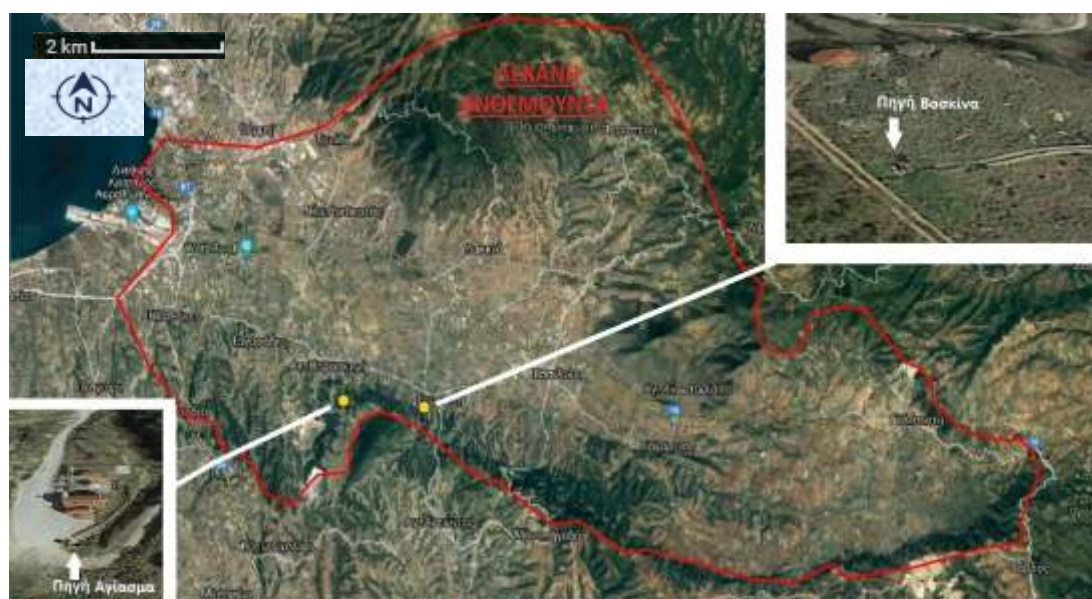
Προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν:

- QGIS 2.18.24 και 3.4
- Ms excel

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

### 2.1. Γεωγραφικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά

Η περιοχή έρευνας (Λεκάνη Ανθεμούντα, Σχήμα 2.1) εντοπίζεται στη Βόρεια Ελλάδα, στο χώρο της κεντρικής Μακεδονίας και πιο συγκεκριμένα στη χερσόνησο της Χαλκιδικής. Η έκταση της λεκάνης αυτής αναλογεί σε 318,3 km<sup>2</sup>. Το βόρειο τμήμα της έχει έκταση EN=191,6 km<sup>2</sup> και το νότιο τμήμα ES=126,5 km<sup>2</sup>. Δηλαδή παρουσιάζεται μία άνιση κατανομή έκτασης EN>ES. Ο μέγιστος άξονας της έχει μήκος 42,5 km, με διεύθυνση NNA-BBD, από την απόληξη της λεκάνης, στην περιοχή της Βάβδου μέχρι και τις εκβολές του ποταμού του Ανθεμούντα, στο αεροδρόμιο της Μίκρας. Καταλαμβάνει το ΝΑ τμήμα του Ν. Θεσσαλονίκης, ενώ τα ορεινά τμήματα της ανήκουν στον Ν. Χαλκιδικής. Οριοθετείται στα νότια από το λοφώδες συγκρότημα της Αγίας Παρασκευής – Σουρωτής – Μονοπήγαδου, όπου ανήκουν και οι πηγές που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, ενώ βόρεια, φυσικό όριο της λεκάνης αποτελεί το όρος Κισσός ή το ορεινό – ημιορεινό συγκρότημα του Χορτιάτη (ύψος κορυφής 1201 m) – Θέρμου μέχρι τις ημιορεινές παρυφές της Γαλάτιστας – Βάβδου, που οριοθετούν την ανατολική επέκταση της λεκάνης. Δυτικά το όριο της λεκάνης καλύπτεται από τον κόλπο του Θερμαϊκού.



**Σχήμα 2.1** Γεωγραφική τοποθέτηση λεκάνης Ανθεμούντα και θέσεων των πηγών «Αγίασμα» και «Βοσκίνα». Πηγή : Google Earth .

Όπως προαναφέρθηκε, οι θέσεις των πηγών που μελετήθηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, βρίσκονται στο νότιο τμήμα της λεκάνης του Ανθεμούντα, σε υψόμετρο περίπου 150 m για την πηγή στο Αγίασμα και 130 m γι' αυτήν στη Βοσκίνα. Συγκεκριμένα, η θέση της πηγής του Αγιάσματος είναι NNA του χωριού Αγίας Παρασκευής και της Βοσκίνας NNΔ του χωριού Σουρωτή.



**Σχήμα 2.2** 3D μοντέλο της περιοχής που βρίσκονται οι πηγές «Αγίασμα» και «Βοσκίνα»

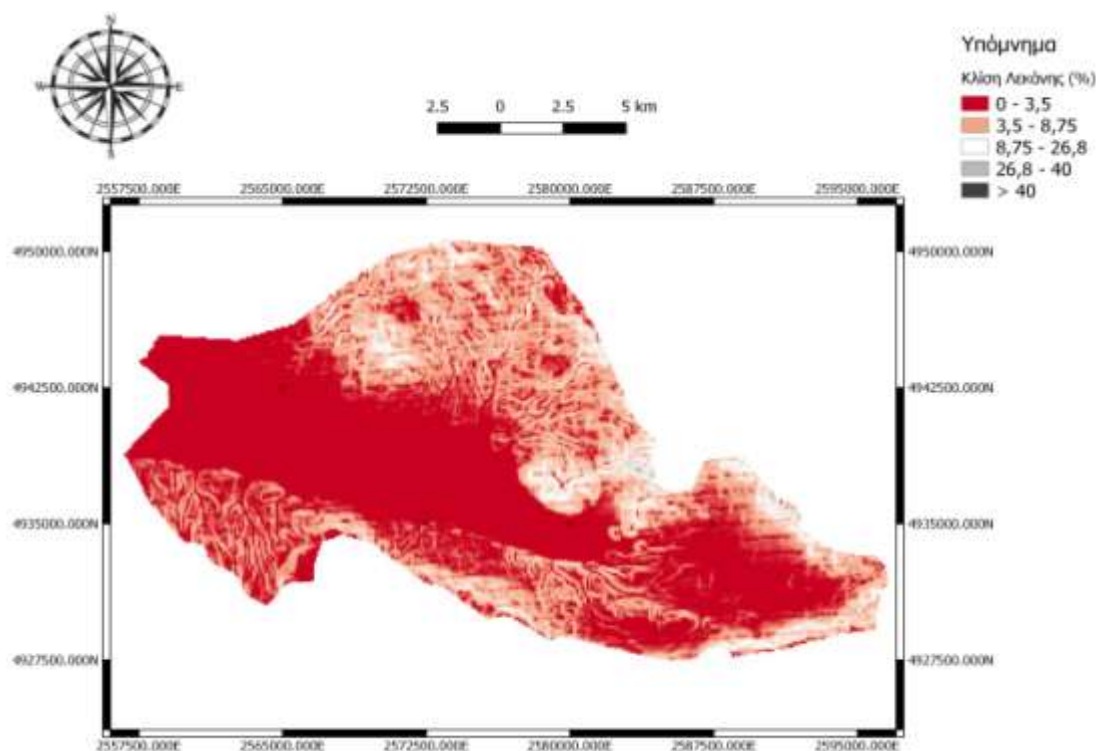
### 2.1.1 Γεωμορφολογία

Η περιοχή έρευνας εντάσσεται στο Δ- ΒΔ τμήμα της χερσονήσου της Χαλκιδικής. Ο προσανατολισμός της λεκάνης είναι Α-Δ. Γεωμορφολογικά η λεκάνη απορροής εντάσσεται σε ένα εκτεταμένο τεκτονικό βύθισμα με γενική διεύθυνση **ΝΑ-ΒΔ**, στο χώρο της κεντρικής Μακεδονίας. Τα ανάντη τμήματα της λεκάνης βρίσκονται στα ανατολικά, στις εκτεταμένες εξάρσεις της ορεινής Βάβδου ενώ τα κατόντη βρίσκονται στα δυτικά, όπου η λεκάνη περιβάλλεται από τον Θερμαϊκό κόλπο. Σύμφωνα με τα παραπάνω και με παρατήρηση των κλίσεων και υψομέτρου της λεκάνης Ανθεμούντα στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S), προκύπτει ότι η λεκάνη εμφανίζει σταδιακή μετάπτωση των κλίσεων και των υψομέτρων της, με γενική διεύθυνση Α – Δ, κυρίως στην κεντρική περιοχή της. (Σχήμα 2.3)

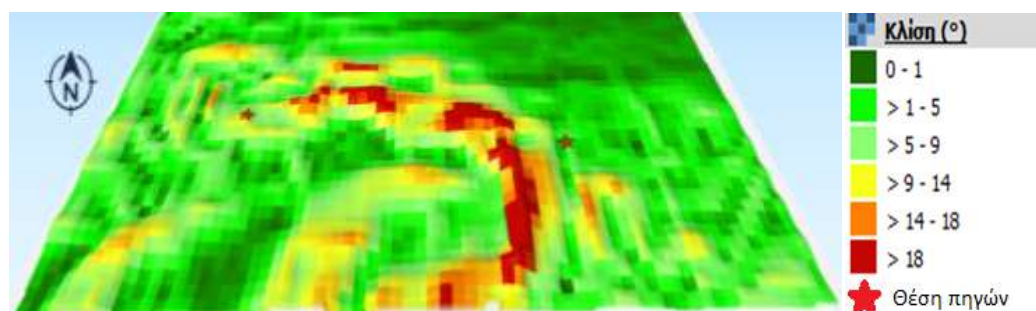
Το ανάγλυφο της λεκάνης στα περιμετρικά τμήματα της μπορεί να χαρακτηριστεί ως ισχυρά κεκλιμένο, στα πιο εσωτερικά τμήματα της ως ελαφρά κεκλιμένο, ενώ στα κεντρικά, επίπεδο (0%-3,5%). (Κατανομή κατά Demek, 1972)



Ειδικότερα για την περιοχή όπου βρίσκονται οι θέσεις των πηγών παρακολούθησης, οι κλίσεις εμφανίζονται ελαφρά κεκλιμένες, με τιμές κλίσεων 5-10%, για την περιοχή της Βοσκίνας και ισχυρά κεκλιμένες για την περιοχή του Αγιάσματος, με τιμές κλίσεων 15-20%, ενώ στην τριγύρω περιοχή εμφανίζονται και απότομες κλίσεις, μέχρι και 26%. (Σχήμα 2.4)



Σχήμα 2.3 Χάρτης με την κατανομή των κλίσεων της λεκάνης Ανθεμόντα.

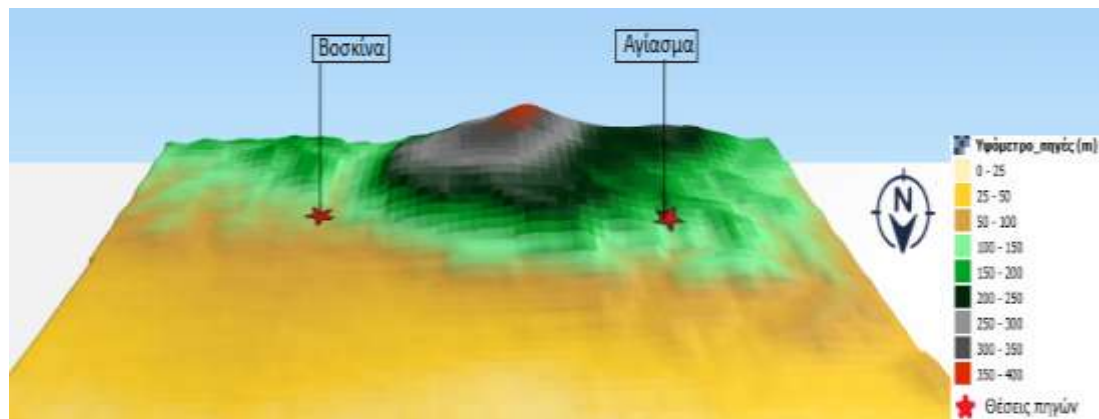


Σχήμα 2.4 Απεικόνιση κλίσεων στην περιοχή των πηγών Αγίασμα και Βοσκίνα

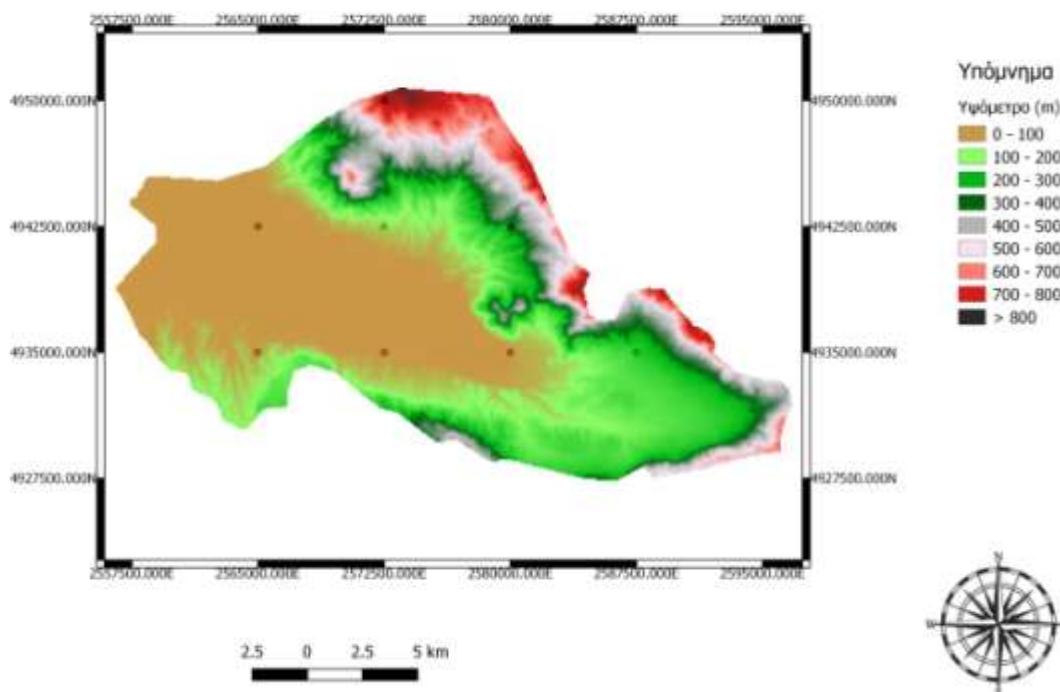
Τα υψόμετρα που παρατηρούνται στη λεκάνη του Ανθεμόντα, κυμαίνονται από τιμές 0 – 150 m, που αντιστοιχούν σε πεδινές περιοχές στο μεγαλύτερο μέρος της, ενώ σε δεύτερη σειρά κυρίαρχων τιμών βρίσκεται η κατηγορία λοφώδους περιοχής (150 m – 600 m), κατά Dikau (1989). Σε μικρότερο ποσοστό παρατηρούνται περιοχές

με μεγαλύτερες τιμές, δηλαδή ημιορεινές (Σχήμα 2.6). Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά την περιοχή όπου βρίσκονται οι πηγές, τα υψόμετρα παίρνουν τιμές που ανήκουν κατά βάση στις κατηγορίες πεδινής και λοφώδους περιοχής.

Στην πηγή του Αγιάσματος το υψόμετρο κυμαίνεται μεταξύ 160 m-180 m, ενώ στη Βοσκίνα, μεταξύ 110 m – 140 m, συγκεκριμένα η πηγή εκφορτίζεται σε υψόμετρο 136 m. (Σχήμα 2.5)



Σχήμα 2.5 Κατανομή υψομέτρων περιοχής πηγών ενδιαφέροντος σε 3D απεικόνιση.



Σχήμα 2.6 Χάρτης με την κατανομή υψομέτρων στη λεκάνη Ανθεμούντα.



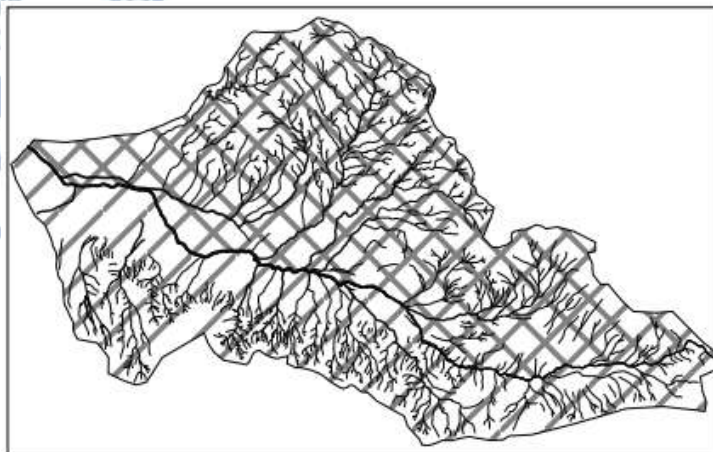
### 2.1.2 Υδρογραφικό Δίκτυο

Το ανάγλυφο της λεκάνης απορροής του Ανθεμούντα μπορεί να χαρακτηριστεί ομαλό, λόγω των μικρών έως μεσαίων κλίσεων που εμφανίζονται σε αυτήν. Συνέπεια των μικρών αυτών κλίσεων, είναι η αύξηση της κατείσδυσης του μετεωρικού νερού, σε υπόγειους υδροφορείς, αφού η ροή του νερού, κινείται με μικρές ταχύτητες, μέχρι να καταλήξει στον κύριο ποταμό. Η Λεκάνη Ανθεμούντα εκφορτίζεται προς τον Θερμαϊκό κόλπο δια μέσου ενός δικτύου υποπαράλληλων υδατορευμάτων που αποτελούν και το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής. Πιο συγκεκριμένα, το υδρογραφικό δίκτυο έχει ως κύριο ποταμό, τον Ανθεμούντα, μήκους 38 km, που ξεκινάει από τη Ζάγκα ράχη και εκβάλλει στον Θερμαϊκό κόλπο. Επομένως, η διεύθυνση ροής είναι ΑΝΑ – ΔΒΔ. Ακόμη, είναι 6ης τάξεως κατά Strahler (1952) (Αστάρας, 1980) με πυκνό δίκτυο ρεμάτων και η μορφή του χαρακτηρίζεται ως δενδριτική (Σχήμα 2. 7).

**Πίνακας 2.1** Μήκη κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Ανθεμούντα

| Κλάδοι Ανθεμούντα        | Μήκος (m) |
|--------------------------|-----------|
| 1 <sup>ης</sup> τάξης    | 338.382   |
| 2 <sup>ης</sup> τάξης    | 185.406   |
| 3 <sup>ης</sup> τάξης    | 88.610    |
| 4 <sup>ης</sup> τάξης    | 69.862    |
| 5 <sup>ης</sup> τάξης    | 12.138    |
| 6 <sup>ης</sup> τάξης    | 17.770    |
| Σύνολο μήκους κλάδων     | 712.168   |
| Μήκος ποταμού Ανθεμούντα | 37.93     |

Από παλιότερες μελέτες (Ζερβοπούλου & Παυλίδης, 2005) παρατηρήθηκε ότι τα μήκη των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου στο βόρειο τμήμα της λεκάνης και στο νότιο εμφανίζουν άνιση κατανομή. Συγκεκριμένα, στο βόρειο τμήμα το μήκος ανέρχεται στα 444 km, σε μια έκταση 191,6 km<sup>2</sup>, ενώ στο νότιο τμήμα το συνολικό μήκος είναι 268 km σε έκταση 126,5 km<sup>2</sup>.



**Σχήμα 2. 7** Υδρολογική λεκάνη Ανθεμούντα  
(Ζερβοπούλου & Παυλίδης, 2005 )

Τέλος, η λεκάνη απορροής του Ανθεμούντα, διακρίνεται σε δύο μικρότερες υπολεκάνες, αυτής της Γαλάτιστας και των Βασιλικών. Οι πηγές που παρακολουθήθηκαν για την εργασία αυτή, βρίσκονται στην υπολεκάνη των Βασιλικών, η οποία εκτείνεται από τους πρόποδες του Χορτιάτη, μέχρι τα νότια μέρη της Αγίας παρασκευής και έχει εμβαδό  $70.5 \text{ km}^2$ .

## 2.2 Πληθυσμιακά χαρακτηριστικά

Η λεκάνη του Ανθεμούντα περιλαμβάνει τους δήμους Θερμαϊκού, Θέρμης και Πολυγύρου. Η περιοχή έρευνας, δηλαδή οι θέσεις όπου βρίσκονται οι πηγές, ανήκει στο Δήμο Θέρμης, ο οποίος είναι ο μεγαλύτερος δήμος πληθυσμιακά (53.201 κάτοικοι), αλλά και ως προς την έκτασή του, σε σχέση με τους παραπάνω. Αναλυτικότερα, η πηγή «Αγίασμα» ανήκει στο χωριό Αγία Παρασκευή, που αποτελείται από 2.244 κατοίκους και η πηγή «Βοσκίνα», στην Σουρωτή, με 1.560 μόνιμους κατοίκους. Ο Δήμος Θέρμης εμφάνισε σημαντική αύξηση πληθυσμού από το 2001 έως το 2011 (Πίνακας 2.2).

**Πίνακας 2.2** Πληθυσμιακή εξέλιξη μόνιμων κατοίκων Δήμου θέρμης 2001 – 2011.

| ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ       | 2001  | 2011  |
|-----------------|-------|-------|
| Δ.Κ Θέρμης      | 11360 | 16004 |
| Δ.Κ Νέου Ρυσίου | 2341  | 2952  |
| Τ.Κ Ν.Ραιδεστού | 1992  | 4101  |
| Τ.Κ Ταγαράδων   | 923   | 2088  |
| Δ.Κ Τριλόφου    | 3581  | 7405  |
| Δ.Κ Πλαγιαρίου  | 3370  | 5392  |
| Τ.Κ Καρδίας     | 1437  | 3394  |

|                    |               |               |
|--------------------|---------------|---------------|
| T.K Κ.Σχολαρίου    | 1639          | 1954          |
| Δ.Κ Βασιλικών      | 4163          | 4200          |
| T.K Αγ. Παρασκευής | 1226          | 2244          |
| T.K Αγ. Αντωνίου   | 1195          | 874           |
| T.K Λιβαδιού       | 751           | 263           |
| T.K Σουρωτής       | 947           | 1560          |
| T.K Περιστεράς     | 1021          | 770           |
| <b>ΣΥΝΟΛΟ</b>      | <b>36.276</b> | <b>53.201</b> |

### 2.3 Κλιματολογικά χαρακτηριστικά

Η περιοχή έρευνας εμφανίζει θερμό και ξηρό καλοκαίρι, ενώ ο χειμώνας είναι ήπιος, δροσερός και ημίξηρος. Συγκεκριμένα, χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό κλίμα Csa (μεσογειακό) κατά Köppen, με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

C: Υγρό μεσόθερμο κλίμα, με μέση θερμοκρασία ψυχρότερου μήνα  $-3^{\circ}\text{C}$  και μέση θερμοκρασία θερμότερου μήνα  $>10^{\circ}\text{C}$ . Βραχείς, αλλά μερικές φορές δριμείς χειμώνες.

s: Το καλοκαίρι, άνομβρη εποχή. Για τον ξηρότερο μήνα το ύψος βροχής δεν ξεπερνά τα 30 mm. Τριπλάσιο ύψος βροχής για τον βροχερότερο μήνα, σε σχέση με τον ξηρότερο.

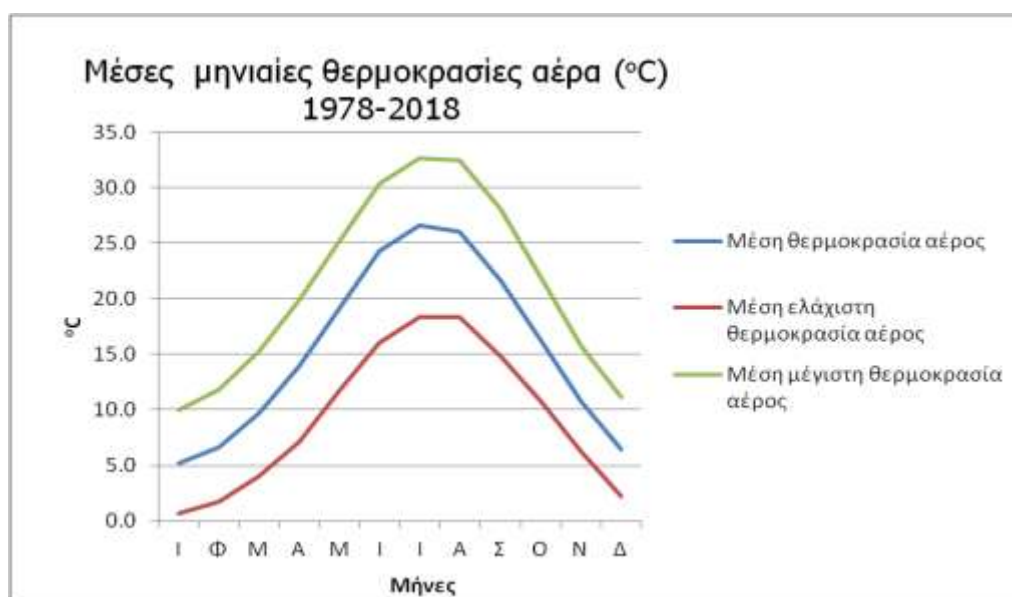
a: Θερμοκρασία αέρα του θερμότερου μήνα  $>22^{\circ}\text{C}$ .

Σύμφωνα με στοιχεία που δόθηκαν από το Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών, στην περιοχή της Νέας Ραιδεστού, η μέση μηνιαία ελάχιστη θερμοκρασία παρατηρείται κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου η μικρότερη τιμή εμφανίζεται τον Ιανουάριο, με μέση μηνιαία θερμοκρασία  $5,2^{\circ}\text{C}$  και μέση ελάχιστη  $0,7^{\circ}\text{C}$ . Από τον Μάρτιο, η μέση μηνιαία θερμοκρασία παρουσιάζει σταδιακή αυξητική τάση, με τη μέση μέγιστη θερμοκρασία του έτους να εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του Ιουλίου, με τιμή  $32,7^{\circ}\text{C}$  και μέση μηνιαία τιμή ίση με  $26,6^{\circ}\text{C}$ . Έπειτα, η θερμοκρασία μειώνεται σταδιακά μέχρι τον Νοέμβριο.

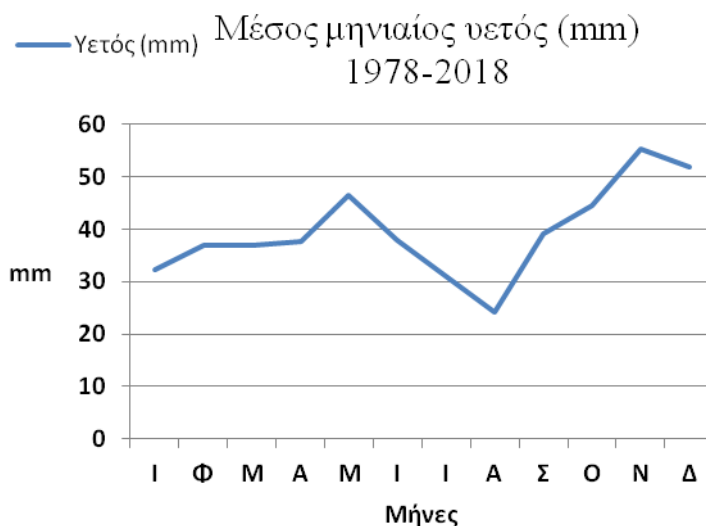
**Πίνακας 2.3** Μέση μηνιαία τιμή θερμοκρασίας αέρος, 1978-2018.

(Πηγή: Ινστιτούτο δασικών ερευνών)

| Μήνας       | Μέση θερμοκρασία<br>αέρος | Μέση μέγιστη<br>θερμοκρασία αέρος | Μέση ελάχιστη<br>θερμοκρασία αέρος |
|-------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Ιανουάριος  | 5.2                       | 10                                | 0.7                                |
| Φεβρουάριος | 6.7                       | 11.8                              | 1.7                                |
| Μάρτιος     | 9.7                       | 15.2                              | 4.0                                |
| Απρίλιος    | 13.9                      | 19.9                              | 7.1                                |
| Μάιος       | 19.2                      | 25.2                              | 11.7                               |
| Ιούνιος     | 24.3                      | 30.3                              | 16.1                               |
| Ιούλιος     | 26.6                      | 32.7                              | 18.3                               |
| Αύγουστος   | 26.1                      | 32.5                              | 18.4                               |
| Σεπτέμβριος | 21.6                      | 28.0                              | 14.8                               |
| Οκτώβριος   | 16.2                      | 21.9                              | 10.8                               |
| Νοέμβριος   | 10.8                      | 15.8                              | 6.2                                |
| Δεκέμβριος  | 6.4                       | 11.2                              | 2.2                                |

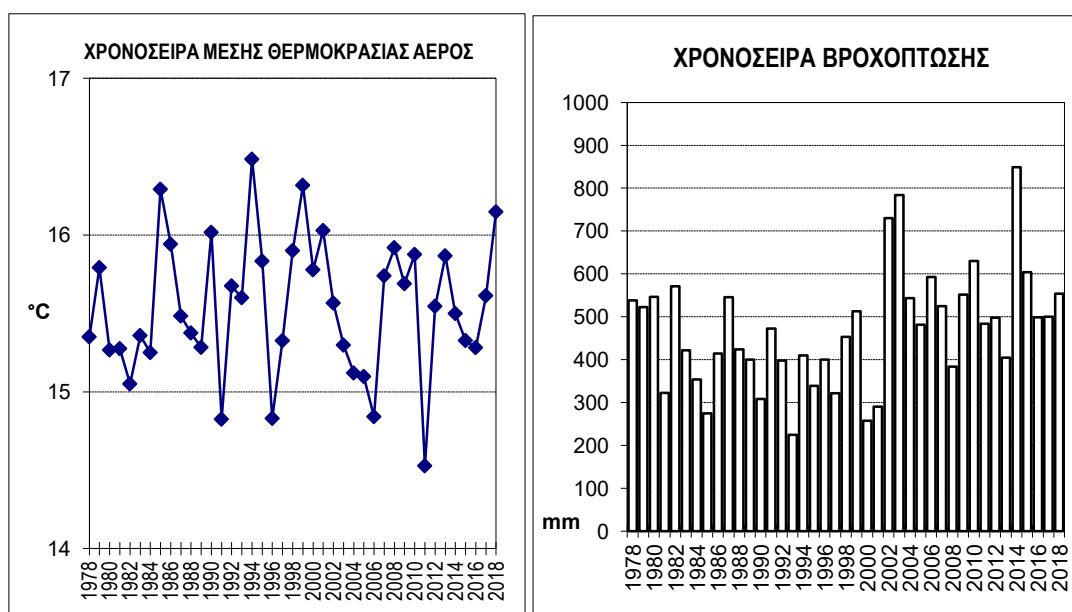


**Σχήμα 2.8** Διάγραμμα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρος (Δεδομένα από Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών, Ραιδεστού)



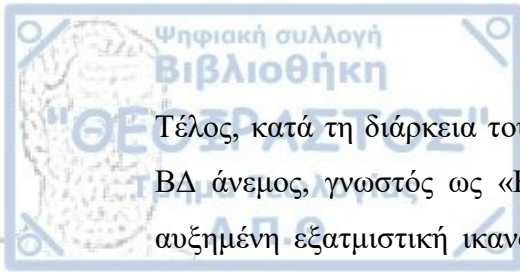
**Σχήμα 2.9** Διάγραμμα μέσου μηνιαίου υετού. (Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών).

Η βροχόπτωση στην περιοχή μελέτης είναι σχετικά περιορισμένη με μέσο ετήσιο ύψος βροχής στα 472 mm, για τη χρονοσειρά 1978-2018. Ο μέγιστος υετός παρατηρείται κατά τη διάρκεια του Νοεμβρίου με μέσο ύψος βροχής τα 55 mm και η μικρότερη τιμή βροχόπτωσης σημειώνεται κατά την περίοδο του Αυγούστου.



**Σχήμα 2.10** Διαγράμματα χρονοσειρών μέσης θερμοκρασίας αέρος και βροχόπτωσης 1978-2018. (Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών)

Στο Σχήμα 2.10, φαίνεται ότι την πρώτη 20ετία (1978-1998) η θερμοκρασία παρουσιάζει ανοδική πορεία, ενώ η βροχόπτωση μειώνεται. Κατά τη διάρκεια της δεύτερης 20ετίας (1998-2018), οι μεταβολές αντιστρέφονται και έτσι, οι θερμοκρασίες μειώνονται, ενώ οι βροχοπτώσεις αυξάνονται.



Τέλος, κατά τη διάρκεια του Σεπτεμβρίου μέχρι και τον Απρίλιο, επικρατεί ένας Β-ΒΔ άνεμος, γνωστός ως «Βαρδάρης». Αποτελεί έναν ψυχρό, καθοδικό άνεμο, με αυξημένη εξατμιστική ικανότητα. Η ικανότητα του αυτή, έχει ως αποτέλεσμα την πρόκληση ξηρότητας, καθώς και τη διάλυση των νεφών. Κατά τη διάρκεια των υπόλοιπων μηνών πνέουν Νότιοι άνεμοι.

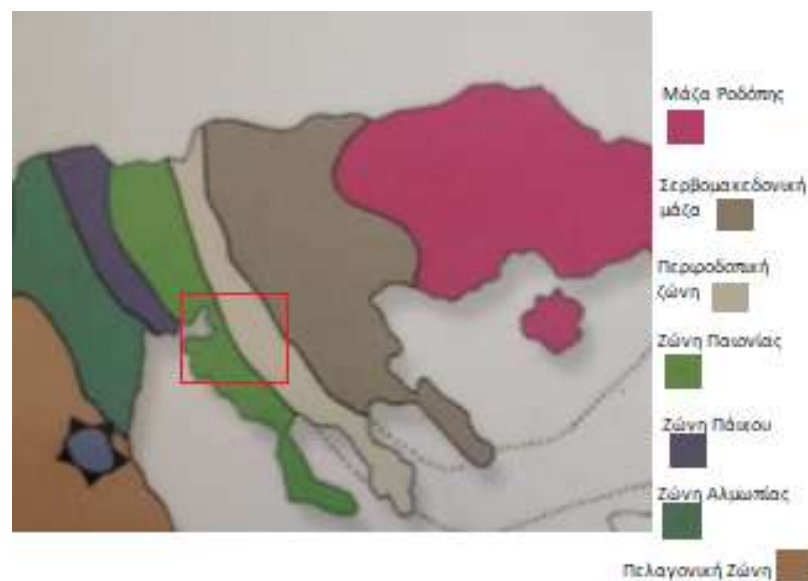


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

### 3.1 Γεωλογία λεκάνης Ανθεμούντα και θέσεων των πηγών.

Η λεκάνη του Ανθεμούντα από γεωλογικής πλευράς, ανήκει στις παρακάτω γεωτεκτονικές ζώνες (Μουντράκης, 1985) :

- Περιοδοπική και υποζώνη Παιονίας, η οποία ανήκει ζώνη Αξιού, που αποτελούν τις εσωτερικές ελληνίδες
- Ένα ΒΔ τμήμα της λεκάνης, ανήκει στην Σερβομακεδονική, η οποία αποτελεί ζώνη της ενδοχώρας. (Σχήμα 3.1)



**Σχήμα 3.1** Χάρτης γεωτεκτονικών ζωνών με την περιοχή έρευνας (Μουντράκης, 1985).

Αναλυτικότερα, η Σερβομακεδονική μάζα, αντιπροσωπεύει ηπειρωτικό φλοιό και θεωρείται πιθανό τμήμα της Ευρασίας. Αποτελείται αποκλειστικά από κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα και διαιρείται σε δύο μεγάλες ενότητες, μια κατώτερη και αρχαιότερη ενότητα των Κερδυλλίων και μια ανώτερη, νεότερη την ενότητα του Βερτίσκου. Στη λεκάνη του Ανθεμούντα συναντάμε την ενότητα του Βερτίσκου, με γνεύσιους.

Η Περιοδοπική ζώνη βρίσκεται στα δυτικά της Σερβομακεδονικής μάζας και αποτελεί την πιο εσωτερική ζώνη των εσωτερικών Ελληνίδων, με πλάτος 10-20 km. Στα δυτικά συνορεύει με την ζώνη Παιονίας, των οποίων το όριο δεν έχει διευκρινισθεί ακόμη, γι' αυτό και θεωρούνται πιθανόν μια κοινή ζώνη. Η κύρια

παλαιογεωγραφική και γεωτεκτονική σημασίας της ζώνης αυτής είναι ότι αποτελούσε κατά τη διάρκεια του Ιουρασικού την ηπειρωτική κατωφέρεια της ηπειρωτικής ενδοχώρας και κυρίως της Σερβομακεδονικής μάζας. Διαιρείται σε τρεις κύριες ενότητες από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά:

- Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά
- Μελισχωρίου – Χολομώντα
- Άσπρης βρύσης – Χορτιάτη

Στη λεκάνη του Ανθεμούντα, η Περιοδοπική ζώνη, καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση και εμφανίζονται οι ενότητες Μελισχωρίου – Δουμπιά με τις τουρβιδιτικές εναλλαγές, γνωστές ως φλύσχης της Σβούλας, ηλικίας Μέσου Ιουρασικού και η Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη, με μαγματικά πετρώματα.

Η υποζώνη Παιονίας, ανήκει στην ζώνη Αξιού και από γεωτεκτονική άποψη αποτελεί τμήμα της παλιάς ωκεάνιας περιοχής της Τηθύος. Καθοριστικό στοιχείο του ωκεάνιου χαρακτήρα της είναι η ύπαρξη οφιολίθων. Στη λεκάνη του Ανθεμούντα παρατηρούνται επίσης, εμφανίσεις ασβεστόλιθων του Ιουρασικού, γνωστοί με το όνομα «Σχηματισμός Γρίβας», οι οποίες ωστόσο είναι μικρές, αφού η υποζώνη Παιονίας καλύπτεται από Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα.

Επομένως, στη λεκάνη του Ανθεμούντα παρατηρείται ένα σύνολο διαφορετικών πετρωμάτων, λόγω των τριών προαναφερθέντων γεωτεκτονικών ζωνών, που την αποτελούν.

Το υπόβαθρο της λεκάνης αποτελείται από προτριτογενείς σχηματισμούς που συναντώνται στο βόρειο και ανατολικό τμήμα της λεκάνης, ενώ λιγότερες εμφανίσεις παρατηρούνται στα νότια. Πρόκειται για πυριγενή (γρανίτης - Νότια, γάββροι, περιδοτίτες, διορίτες - Βόρεια) και ημιμεταμορφωμένα – μεταμορφωμένα πετρώματα, με σχιστότητα (φυλλίτης, γνεύσιος).

Τα ιζήματα που πλήρωσαν τη λεκάνη του Ανθεμούντα είναι Νεογενούς, Πλειστοκαινικής και Ολοκαινικής ηλικίας.

#### 1. NEOGENH IZHMATA:

Διακρίνονται δύο φάσεις αποθέσεων, η φάση των κροκαλών με άμμους, η οποία εμφανίζεται στα νότια τμήματα της λεκάνης, αποτελεί τα πιο παλιά

ιζήματα του Νεογενούς της Δ. Χαλκιδικής και κατά τον Συρίδη, χαρακτηρίζεται ως σχηματισμός Αντωνίου και η φάση των μαργών και αργίλων, λιμναίας – λιμνοθαλάσσιας φάσης, με ποικίλες διευθύνσεις και κλίσεις, η οποία εμφανίζεται ΝΔ της λεκάνης και Β-ΒΔ.

## 2. ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ:

Καταλαμβάνουν κυρίως το πεδινό τμήμα της λεκάνης και εν μέρει τα κράσπεδά της. Αποτελούνται από ερυθροπηλούς, άμμους, ψηφίδες, κροκάλες, λατύπες, ενώ την μεγαλύτερα έκταση καταλαμβάνουν οι αλλουβιακές αποθέσεις, κώνοι χειμάρρων και πλευρικών κορημάτων, αναβαθμίδες (άμμοι με χαλίκια, ερυθροπηλοί με χαλίκια, κροκάλες, άμμο), τραβερτίνη και σύγχρονες προσχώσεις.

Οι περιοχές στις οποίες βρίσκονται οι πηγές «Αγίασμα» και «Βοσκίνα», απέχουν περίπου 4,5 km απόσταση, υπολογισμένη ως οριζόντια απόσταση, χωρίς κλίσεις, αλλά ως ευθεία, μέσω του προγράμματος QGIS. Παρακάτω θα αναφερθούν συγκεκριμένα τα πετρώματα που συναντήθηκαν στις περιοχές των πηγών και περιμετρικά αυτών (Σχήμα 3.3).

Η θέση που βρίσκεται η πηγή της «Βοσκίνας», εντάσσεται στη ΝΑ προέκταση της ζώνης Παιονίας (Μουντράκης, 1985). Εκεί εμφανίζονται:

- Η σειρά ερυθρών αργίλων (*M4-Pli.l*), ερυθρές έως κεραμόχρωμες ιλυώδεις άργιλοι, με μαρμαρυγία και ασβεστιτικά συγκρίματα, λιμναίας έως χερσαίας φάσης, που περιέχουν φακοειδείς ενστρώσεις άμμου, μάργας και κροκαλοπαγούς.
- Τραβερτίνης (*M4-fv*), με εμφανίσεις περιορισμένης έκτασης, αλλά και πάχους. Αποτελούν σφηνοειδείς ενστρώσεις μέσα στη σειρά ερυθρών αργίλων αλλά και στα ανώτερα τμήματα βασικών κροκαλοπαγών. Στην περιοχή της Βοσκίνας, λόγω της διάβρωσης που έχει λάβει χώρα, ο τραβερτίνης εμφανίζεται με μορφή καλυμμάτων, που βρίσκονται πάνω στις ερυθρές αργίλους. Αρχικά, ο τραβερτίνης, αποτελούσε ασβεστολιθικούς τόφφους, που σχηματίστηκαν, ως χημικά ιζήματα, λόγω της δράσης θερμών και μεταλλικών πηγών. Έπειτα, χαρακτηρίστηκε ως τραβερτίνης, εξαιτίας της σπογγώδους υφής τους.



Σχήμα 3.2 Τραβερτίνης, θέση Βοσκίνα

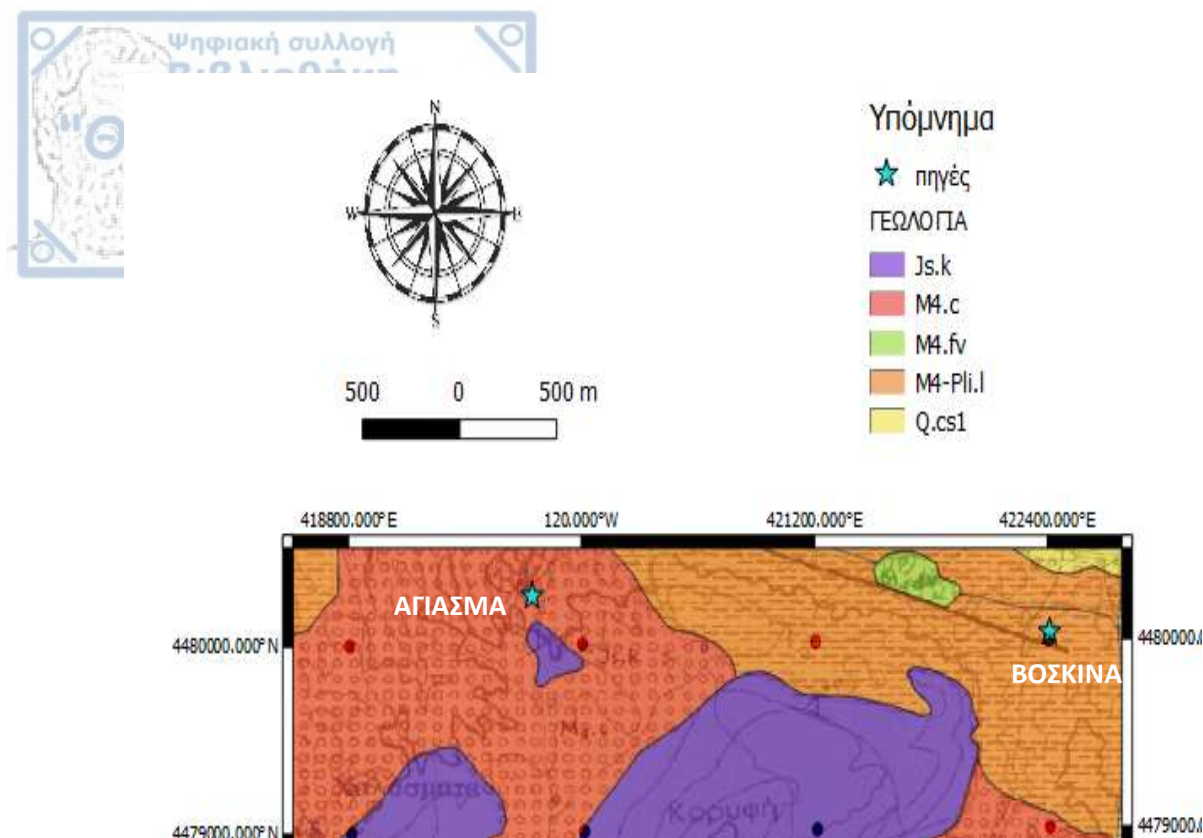
Στην πηγή νερού «Αγίασμα» εμφανίζονται:

- Η βασική σειρά κροκαλοπαγών (*M4.c*), που είναι χαλαροί σχηματισμοί και περιλαμβάνουν αποσφηνωμένες ενστρώσεις ερυθρών αργίλων.
- Επίσης, εμφανίζονται ασβεστόλιθοι (*Js.k*), ηλικίας Ιουρασικού, τεφροί έως γαλαζοπράσινοι, παχυστρωματώδεις, οι οποίοι ανήκουν στην υποζώνη Παιονίας. Μεγάλη εξάπλωση εμφανίζουν και στην ενδιάμεση περιοχή των πηγών, στην κορυφή «Κορυφή».

Όλοι οι παραπάνω σχηματισμοί, εκτός των ασβεστολίθων, είναι ηλικίας Α. Μειοκαίνου – Κ. Πλειοκαίνου.

### 3.2 Τεκτονική λεκάνης Ανθεμούντα και θέσεων των πηγών.

Τεκτονικά η λεκάνη του Ανθεμούντα αποτελεί ένα εκτεταμένο τεκτονικό βύθισμα με γενική διεύθυνση ΔΒΔ – ΑΝΑ στο χώρο της κεντρικής Χαλκιδικής, που προκλήθηκε από έντονη τεκτονική δραστηριότητα κανονικών ρηγμάτων, ως αποτέλεσμα εφελκυστικών τάσεων που έλαβαν χώρα κατά το Μέσο Πλειστόκαινο, στην ευρύτερη περιοχή. (Μουντράκης et al., 1993)



**Σχήμα 3.3** Γεωλογικός χάρτης της περιοχής των πηγών νερού.  
(Τροποποιημένος από το φύλλο του ΙΓΜΕ 1:50000 Βασιλικών)

Σύμφωνα με τον Συρίδη (1990) κατά το ανώτερο Πλειστόκαινο έντονη τεκτονική δραστηριότητα επηρέασε την περιοχή δημιουργώντας το τεκτονικό αυτό βύθισμα, του Ανθεμούντα.

Το βύθισμα αυτό, μαζί με τη λεκάνη Αξιού και Μυγδονίας, πιστεύεται ότι προήλθε από μια έντονη και συνεχή δράση εφελκυστικού πεδίου, από το Μειόκαινο μέχρι και σήμερα, η οποία οδήγησε στη δημιουργία κυρίως κανονικών ρηγμάτων, συνήθως με μικρή συνιστώσα οριζοντίας κίνησης. Τα ρήγματα έχουν κύριες διευθύνσεις Α-Δ μέχρι ΑΒΑ-ΔΝΔ και ΒΔ-ΝΑ, ενώ παρατηρούνται και μερικά με διεύθυνση Β-Ν. Τα περισσότερα από αυτά λειτούργησαν από το Μειόκαινο, ενώ ορισμένα εξακολουθούν μέχρι σήμερα να είναι ενεργά, δίνοντας μικρούς και μεγάλους σεισμούς, ενώ μερικά άλλα είναι αποδεδειγμένο ότι λειτούργησαν στο Τεταρτογενές. (Μουντράκης et al., 1996)

Το κυριότερο ρήγμα στη λεκάνη του Ανθεμούντα, αποτελεί το ομώνυμο ρήγμα του Ανθεμούντα. Βρίσκεται Νότια της πόλης Θεσσαλονίκης, η διεύθυνση του είναι Α-Δ και εκτείνεται τμηματικά στα ανατολικά, από τον Γαλαρινό μέχρι δυτικά, στον οικισμό του Αγγελοχωρίου, κατά μήκος του νότιου μορφολογικού ορίου της λεκάνης, στην ευρύτερη περιοχή των Βασιλικών (Ζερβοπούλου και Παυλίδης, 2005;



Μουντράκης et al., 1996), χαρακτηρίζεται ως ενεργό (Ζερβοπούλου, 2010) και εμφανίζει μετάπτωση προς το Βορρά. Έχει μήκος 32 km περίπου και οριοθετεί τις νεογενείς από τις τεταρτογενείς αποθέσεις.

Η ενεργότητα του ρήγματος προκύπτει λόγω :

- Του προσανατολισμού του (Α-Δ) στο σύγχρονο πεδίο τάσεων (Β-Ν).
- Της ασύμμετρης ανάπτυξης του υδρογραφικού δικτύου, αφού είναι μικρότερη στη νότια πλευρά του ποταμού Ανθεμούντα, σε σχέση με τη βόρεια.
- Της επιρροής που ασκεί σε πρόσφατες αποθέσεις του Τεταρτογενούς.
- Της σύνδεσής του με μια σειρά μικροσεισμικών δονήσεων που έλαβαν χώρα το 1988 στην περιοχή, αλλά και με τον σεισμό στα Βασιλικά το 1667, με πιθανό μέγεθος  $M=6,2$  (Παπαζάχος & Παπαζάχου, 2003).

Σημαντική παρατήρηση είναι ο διαχωρισμός του ρήγματος του Ανθεμούντα, σε τρία τμήματα. Τα κριτήρια διαίρεσης του είναι η παράταξη, η μορφοτεκτονική τους, αλλά και η υποθετική επέκταση του ρήγματος προς την θαλάσσια περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου.



**Σχήμα 3.4** Ενεργά ρήγματα στη Λεκάνη Ανθεμούντα. Με κύκλο το επίκεντρο σεισμού τον 20ο αιώνα, σύμφωνα με κατάλογο του εργαστηρίου Γεωφυσικής ΑΠΘ

Το πρώτο τμήμα (1) εμφανίζεται από τον Γαλαρινό, μέχρι δυτικά του Ν. Ρυσίου με διεύθυνση  $B110^\circ$  και μήκος 17 km περίπου, το δεύτερο (2) εκτείνεται από το Ν. Ρύσιο μέχρι το Ακρωτήριο Μεγάλο Έμβολο (Αγγελοχώρι) με διεύθυνση  $B90^\circ$  και μήκος 15 km. Το τρίτο τμήμα (3) είναι υποθετικό και αποτελεί την πιθανή προέκταση του ρήγματος μέσα στον θαλάσσιο χώρο με διεύθυνση  $B90^\circ$ . (Ζερβοπούλου et al., 2007)



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ – ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

### 4.1 Υδρογεωλογία λεκάνης Ανθεμούντα και πηγών.

Μια βασική παράμετρος των γεωλογικών σχηματισμών, η οποία επηρεάζει άμεσα την υδρογεωλογία, είναι το «πορώδες» των πετρωμάτων, καθώς καθορίζει την αποθηκευτικότητα και την κίνηση του νερού, στους υπόγειους υδροφορείς. Τα πετρώματα κατά τη δημιουργία τους είτε περιέχουν κενά, είτε είναι συνεκτικά. Επομένως, το πορώδες (ολικό) είναι ένα μέτρο των διακένων (ρωγμές, κενά, πόροι) στη μάζα ενός πετρώματος ή σε ένα έδαφος και εκφράζεται με τον λόγο του συνολικού όγκου των διακένων, ως προς τον συνολικό όγκο του πετρώματος/εδάφους, σε  $m^3$  ή  $cm^3$ .

Στα επιφανειακά πετρώματα, σημαντική επίδραση στο πορώδες ασκεί η χημική και φυσική αποσάθρωση, ενώ σε επιφανειακά αλλά και βαθύτερα τμήματα, σημαντικό ρόλο έχει και η τεκτονική δράση που συμβάλλει στην δημιουργία ρωγμών και διακλάσεων. Το πορώδες διακρίνεται σε πρωτογενές, δηλαδή διάκενα που δημιουργήθηκαν κατά τον σχηματισμό των πετρωμάτων και σε δευτερογενές, που αφορά τα διάκενα που δημιουργήθηκαν λόγω τεκτονικής δράσης, αποσάθρωσης, διάλυσης κ.ά.

Εκτός του ολικού πορώδους, υπάρχει και το «ενεργό πορώδες», το οποίο αφορά τα διάκενα που βρίσκονται σε επικοινωνία και επιτρέπουν την κυκλοφορία του υπόγειου νερού, με τη βοήθεια της βαρύτητας ή της υδροστατικής πίεσης, σε σχέση με τον συνολικό όγκο του πετρώματος. Τέλος, το πορώδες εξαρτάται από την κοκκομετρία των υλικών του πετρώματος, τη διάταξη και το σχήμα των κόκκων και έτσι ταξινομούνται σε υδροπερατά, ημιπερατά και αδιαπέρατα πετρώματα.

Λόγω της μεγάλης και συνεχούς ανάγκης νερού για άρδευση και ύδρευση της περιοχής, αλλά και τη γειτνίαση της λεκάνης του Ανθεμούντα με το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης, έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες και έρευνες.

Σύμφωνα λοιπόν με παλιότερες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν, με τη βοήθεια γεωτρήσεων και δημιουργία λιθολογικών τομών, προέκυψε ότι στην περιοχή συναντώνται εναλλαγές άμμου, αργίλου, χαλίκια, ιλύς και κροκάλων, με ποικιλία παχών και κοκκομετρικής σύστασης, επομένως και με διαφορετικό πορώδες. Εντός αυτών των αποθέσεων, δημιουργούνται επάλληλοι υδροφόροι ορίζοντες. Επίσης,

λόγω αυτής της πολυποίκιλης λιθολογικής σύστασης, δημιουργούνται και υδροφορείς που χαρακτηρίζονται από ανομοιογένεια και ανισοτροπία. Τέλος, η τροφοδοσία των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων, στη λεκάνη του Ανθεμούντα, προέρχεται από απευθείας κατείσδυση των κατακρημνισμάτων ή από πλευρική διήθηση στο κέντρο της λεκάνης.

**Πίνακας 4.1** Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά κοκκώδων σχηματισμών (Καλλέργης, 1999)

| Είδος γεωλογικού σχηματισμού | Ολικό πορώδες (%) | Ενεργό πορώδες (%) | Τάξη μεγέθους υδροπερατότητας $k$ (m/s) |
|------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------------------------|
| Άργιλος                      | 45                | 3                  | $<10^{-9}$                              |
| Άμμος                        | 35                | 25                 | $10^{-4} - 10^{-6}$                     |
| Χαλίκια                      | 25                | 22                 | $>10^{-4}$                              |
| Σύναγμα (χαλίκια & άμμος)    | 20                | 16                 | $10^{-5} - 10^{-7}$                     |

#### 4.1.1 Υπόγειοι υδροφορείς

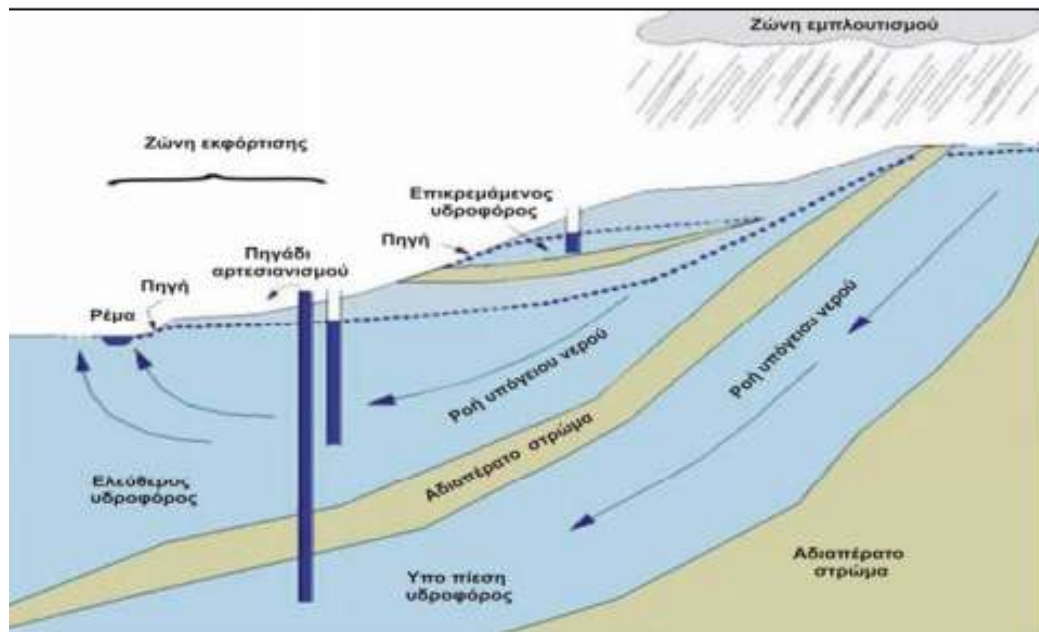
Οι υδροφορείς είναι γεωλογικοί σχηματισμοί που περιέχουν αρκετό κορεσμένο με νερό υλικό, ώστε να τροφοδοτήσουν με σημαντικές ποσότητες νερού γεωτρήσεις ή πηγές. Οι υδροφορείς έχουν αυξημένη ικανότητα να αποθηκεύουν και να μεταβιβάζουν νερό (Βουδούρης, 2009). Σε σχέση με την παρούσα εργασία, είναι σημαντικό να αναφερθούν και να εξηγηθούν εκτενώς τα είδη των υδροφορέων, που εμφανίζονται στην περιοχή έρευνας (Σχήμα 4.1). Αυτοί είναι:

##### 1) Ελεύθεροι υδροφορείς :

Είναι οι υδροφόροι που έχουν ως δάπεδο στεγανό στρώμα και στην οροφή τους δεν παρεμβάλλεται αδιαπέρατο γεωλογικό στρώμα.

##### 2) Υπό πίεση υδροφόροι ή εγκλωβισμένοι ή αρτεσιανοί:

Στα υδροφόρα αυτά στρώματα το νερό είναι εγκλωβισμένο ανάμεσα στα αδιαπέρατα στρώματα του δαπέδου και της οροφής. Είναι κορεσμένοι σε όλο το πάχος τους.



Σχήμα 4.1 Είδη υδροφόρων οριζόντων (www.usgs.gov).

Στην λεκάνη του Ανθεμούντα συναντώνται οι παρακάτω υδροφόροι ορίζοντες (Καζάκης, 2013, Fikos et. al, 2005). Αναλυτικότερες πληροφορίες θα αναφερθούν ωστόσο, μόνο για το είδος του υδροφορέα που εντοπίζεται στις περιοχές των πηγών μελέτης.

1. Εκτεταμένος ελεύθερος υδροφορέας

2. Βαθύτερος υδροφορέας

3. Υπό πίεση υδροφορέας

Αναπτύσσεται νότια του άξονα Ταγαράδες – Σουρωτή και ειδικότερα νότια του ρήγματος του Ανθεμούντα και εντοπίζεται από γεωτρήσεις μέσα στα Νεογενή ιζήματα αλλά και στον ασβεστόλιθο.

4. Ελεύθερος υδροφορέας λεκάνης Γαλάτιστας

Από πετρογραφικής άποψης διακρίνονται οι παρακάτω υδροφορείς:

1. Πορώδεις ή κοκκώδεις υδροφορείς

## 2. Καρστικοί υδροφορείς

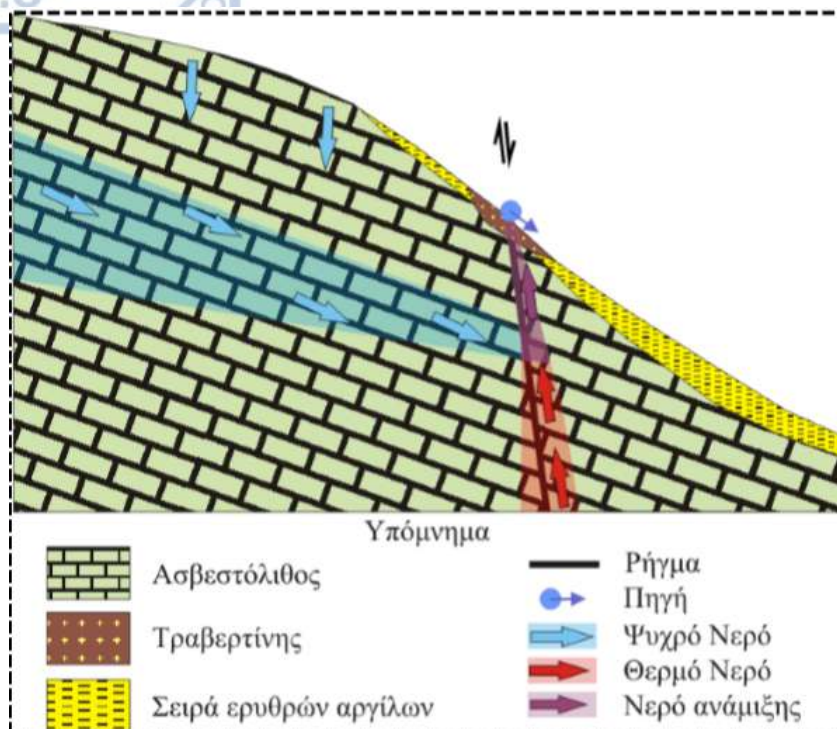
Το καρστικό σύστημα εμφανίζεται μέσα στους μεσοζωικούς ασβεστόλιθους, στο νότιο και κεντρικό τμήμα της περιοχής μεταξύ της Αγίας Παρασκευής και της Σουρωτής. Στη μεγαλύτερη του έκταση υπόκειται ιζηματογενών αποθέσεων, οι οποίες δεν εμφανίζουν υδροφορία. Οι ασβεστόλιθοι εμφανίζονται τεκτονισμένοι και τεμαχισμένοι, λόγω του ρήγματος του Ανθεμούντα, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται κατά μήκος του γεωθερμικές ρηγματογενείς πηγές που συνοδεύονται από αποθέσεις τραβερτίνη. Εκτός από τεκτονισμένοι, εμφανίζονται και ελαφρώς καρστικοποιημένοι, απ' όπου προκύπτει και η ονομασία των υδροφορέων αυτών, λόγω της βροχής, η οποία είναι εμπλουτισμένη με  $\text{CO}_2$  και σχηματίζει ανθρακικό οξύ  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ . Το ανθρακούχο νερό δρα επί των ασβεστολίθων και παρέχει το δισανθρακικό ασβέστιο  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Το δισανθρακικό ασβέστιο πλέον είναι ευδιάλυτο και απομακρύνεται από το νερό, δημιουργώντας έτσι έγκοιλα και κενούς χώρους, που λειτουργούν ως αποθηκευτικοί χώροι του υπόγειου νερού και εκφορτίζονται από πηγές. (Αγίασμα, Βοσκίνα, Σουρωτή)

## 3. Υδροφορείς διερρηγμένων σκληρών πετρωμάτων

### 4.1.2 Μηχανισμός λειτουργίας των πηγών «Βοσκίνα» και «Αγίασμα».

Δυτικά της περιοχής Σουρωτής, υπάρχει η πηγή «Βοσκίνα», με συντεταγμένες X: 421.572,8 / Y: 4.480.425,3 (ΕΓΣΑ 87), η οποία εμφανίζεται πάνω σε ενεργό ρήγμα (Ζερβοπούλου, 2010), με την παρουσία τραβερτίνη γύρω από την περιοχή που εκφορτίζεται. Πρόκειται για μια πηγή με ανάμιξη ψυχρού και θερμού νερού, το ψυχρό προέρχεται από το καρστικό σύστημα, που αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και το γεωθερμικό ρευστό ανέρχεται από το ρήγμα, πάνω στο οποίο βρίσκεται η πηγή. Η διαπίστωση της θέσης της πηγής και του μηχανισμού λειτουργίας της προέρχεται από την παρακολούθηση της θερμοκρασίας του νερού της, η οποία είναι μικρή και μεταβαλλόμενη, αλλά και του συντελεστή ηλεκτρικής αγωγιμότητας της που είναι υψηλός, για μια πηγή που βρίσκεται μέσα σε ασβεστολιθικά πετρώματα. Οι δύο αυτοί ποιοτικοί παράμετροι, με το pH, θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο που αφορά τις εργασίες υπαίθρου και τη

συστηματική παρακολούθηση των πηγών. Παρακάτω, στο Σχήμα 4.2, παρουσιάζεται μια πιθανή εκδοχή του μηχανισμού λειτουργίας της πηγής.



**Σχήμα 4.2** Μηχανισμός λειτουργίας πηγής «Βοσκίνα» (Καζάκης, 2013)

Αντίστοιχα, η πηγή που βρίσκεται ΝΑ του χωριού Αγία Παρασκευή, στη θέση «Αγίασμα», αποτελεί μια ανερχόμενη ρηματογενή γεωθερμική πηγή, δηλαδή αποτελεί αποκλειστικά μια πηγή με θερμό, όξινο, σιδηρούχο νερό.

Η εμφάνιση των δύο παραπάνω πηγών οφείλεται στην τεκτονική δράση που έλαβε χώρα κατά το Κάτω – Μέσο Πλειστόκαινο, η οποία οδήγησε στη δημιουργία του βυθίσματος της λεκάνης του Ανθεμούντα και των θερμών πηγών σε αυτές τις περιοχές.

## 4.2 Υδροχημικά χαρακτηριστικά

Η ποιότητα του νερού, αναφέρεται στα χημικά (pH, νιτρικά, χημικά στοιχεία), φυσικά (θερμοκρασία, αγωγιμότητα, γεύση, οσμή, χρώμα) βιολογικά (μικροοργανισμοί) και ραδιολογικά χαρακτηριστικά του και σε σύγκριση με ένα πρότυπο ποιότητας, μπορεί να καθορισθεί η επιτρεπόμενη χρήση του (άρδευση, ύδρευση, βιομηχανίες κ.ά.). Όταν πρόκειται για υπόγεια νερά, η ποιότητα τους μεταβάλλεται και επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό, από τους γεωλογικούς σχηματισμούς μέσα στους οποίους αποθηκεύονται και κινούνται. Επίσης, η χρήση



λιπασμάτων στο έδαφος, ή η ρήψη αποβλήτων, μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα του νερού, εάν εισέλθει στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. (Βουδούρης, 2009)

Από ερευνητικά προγράμματα του ΙΓΜΕ (Θανάσουλας, Τραγανός, 1985, ερευνητική γεώτρηση Α5) και μελέτες του ΑΠΘ (Καζάκης, Βουδούρης κ.ά., 2015) προέκυψε η ποιοτική ταξινόμηση των νερών της λεκάνης, με βάση τη φθίνουσα σειρά σε ανιόντα και κατιόντα και το επικρατούν ανιόν, σε δύο [2] ομάδες :

- ✓ **Ανθρακικά.** Αφορά τα νερά στα ιζηματογενή πετρώματα του κεντρικού τμήματος της λεκάνης, δηλαδή περιοχές Ν. Ραιδεστού, Αγ. Παρασκευής, Ν.Ρυσίου, Σουρωτής, Βασιλικών και Θέρμης. Σε όλα τα δείγματα εμφανίστηκε αυξημένη περιεκτικότητα σε Mg.



- ✓ **Χλωριούχα.** Αφορά τα νερά στην περιοχή των λουτρών Θέρμης και τα όξινα χλωριονατρίουχα στον άξονα Ταγαράδες – Αγ. Παρασκευή (Αγίασμα) – Σουρωτή (Βοσκίνα).



**Πίνακας 4. 2** Αναλογία Mg/Ca :

|                        |             |
|------------------------|-------------|
| Κεντρικό τμήμα Λεκάνης | 0,75 – 1,35 |
| Πηγές Περιστεράς       | 0,2         |
| Πηγές Αγίασμα-Βοσκίνα  | 0,2 – 0,4   |

Αναλυτικότερα στοιχεία για τους ποιοτικούς παράγοντες (pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, θερμοκρασία κ.ά.) του νερού των πηγών, θα αναφερθούν στο κεφάλαιο 5.

Στο σύνολο της περιοχής του κάτω Ανθεμούντα, δυτικά του Γαλαρινού, διακρίνονται 5 επιμέρους περιοχές με διαφορετικά υδροχημικά χαρακτηριστικά:

- *Κεντρικό τμήμα*
- *Νότιο τμήμα*

Η περιοχή νότια του οδικού άξονα Ν. Ρυσίου – Σουρωτή και νότια του ρήγματος του Ανθεμούντα, με σημαντικά υποβαθμισμένο νερό, λόγω αυξημένης περιεκτικότητας του σε Na, Ca, Cl, HCO<sub>3</sub>, Fe και έντονης παρουσίας CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S.

- *Βόρειο τμήμα*



Τέλος, στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης (υπολεκάνη Άνω Ανθεμούντα) το νερό χαρακτηρίζεται ως οξυανθρακούχο από τα ανιόντα, ενώ συνολικά τα νερά χαρακτηρίζονται από ασβεστομαγνησιακά – ανθρακικά, μέτριας έως καλής ποιότητας.

#### 4.3 Γεωθερμία λεκάνης Ανθεμούντα

Όπως προαναφέρθηκε οι πηγές που μελετήθηκαν κατά την πραγματοποίηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, εμφανίζουν γεωθερμικό ενδιαφέρον, καθώς στην πηγή της Βοσκίνας, αναμινύεται θερμό και ψυχρό νερό, ενώ από την πηγή «Αγίασμα» αναβλύζει αποκλειστικά θερμό νερό. Η λεκάνη Ανθεμούντα ανήκει στις Νεογενείς – Τεταρτογενείς ιζηματογενείς λεκάνες και η δημιουργία της οφείλεται στη τεκτονική δράση, η οποία προκάλεσε αυτό το τεκτονικό βύθισμα. Σύμφωνα με τη γεωλογία, οι τεκτονισμένες περιοχές, είναι ευνοϊκές για τη δημιουργία γεωθερμικών ρευστών, αφού τα κατακόρυφα ή σχεδόν κατακόρυφα ενεργά ρήγματα, επιτρέπουν την κυκλοφορία των ρευστών και την μεταφορά θερμότητας από τα βαθύτερα τμήματα προς την επιφάνεια. Έτσι, δημιουργείται ένα μοντέλο χαμηλής ενθαλπίας, στο οποίο απουσιάζει η εστία θερμότητας με τη μορφή λιωμένου μάγματος, με αποτέλεσμα η θερμική ανωμαλία να είναι σχετικά ασθενής. Επίσης, οι ιζηματογενείς λεκάνες φιλοξενούν πορώδη και υδροπερατά πετρώματα (άμμους, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, ασβεστόλιθους) με οριζόντια συνέχεια, που με τη σειρά τους είναι σε θέση να φιλοξενήσουν θερμά ρευστά.

Στη λεκάνη Ανθεμούντα, σημαντική είναι η ύπαρξη θαλάσσιων ιζηματογενών σχηματισμών Μειοκαινικής ηλικίας, οι οποίοι αποτελούνται από εναλλαγές χαλαρών ψαμμιτών, μικροκροκαλλοπαγών και αργιλικών οριζόντων, ενώ ταυτόχρονα η ποιότητα τους, ως προς το πορώδες κυμαίνεται από 17% – 30% και η υδροπερατότητά τους είναι πολύ καλή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αποτελούν τον κύριο ταμιευτήρα γεωθερμικών ρευστών (Μενδρινός κ.ά., 2003).

Οι εκδηλώσεις θερμότητας στη λεκάνη είναι ελάχιστες, κυρίως στα βόρεια και νότια περιθώριά της.



ΒΟΡΕΙΟ ΤΜΗΜΑ ΛΕΚΑΝΗΣ

→ Ζεστές πηγές  
Λουτρών Θέρμης

} Ανάβλυση πηγών  
από χαλαρά κροκαλοπαγή

ΝΟΤΙΟ ΤΜΗΜΑ ΛΕΚΑΝΗΣ

→ Αγία Παρασκευή

} Ανάβλυση πηγών μέσα  
από ασβεστολιθικές, τρα-  
βερτινοειδείς αποθέσεις.

Οι τιμές της θερμοκρασίας στις παραπάνω πηγές κυμαίνονται από 21°C -28°C και συνοδεύονται από έξοδο CO<sub>2</sub>.

**Πίνακας 4.3** Χαρακτηριστικά γεωθερμικού πεδίου λεκάνης Ανθεμούντα

| ΠΕΡΙΟΧΗ              | Έκταση<br>πεδίου<br>(km <sup>2</sup> ) | Θερμοκρασία<br>Ταμιευτήρα<br>(°C) | Βάθος<br>Ταμιευτήρα<br>(m) | Παροχή<br>(m <sup>3</sup> /h) |
|----------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Λεκάνη<br>Ανθεμούντα | 13                                     | 25-40                             | >100                       | 15                            |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εκτός από τη συλλογή βιβλιογραφικών στοιχείων, για την ευρύτερη περιοχή της λεκάνης Ανθεμούντα, πραγματοποιήθηκαν και εργασίες υπαίθρου, στις περιοχές των πηγών νερού «Αγίασμα» –και «Βοσκίνα», όπου εξετάστηκε η μεταβολή των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των υδάτων, με τη χρήση ειδικών οργάνων. Συγκεκριμένα, η παρακολούθηση πραγματοποιήθηκε με περίοδο επανάληψης ανά 15 ημέρες και οι μετρηθείσες τιμές των φυσικοχημικών παραμέτρων του pH, θερμοκρασίας και ηλεκτρικής αγωγιμότητας, αλλά και της ποσοτικής παραμέτρου της παροχής (Q), καταγράφονταν με σκοπό την δημιουργία διαγραμμάτων χρονικής μεταβολής της κάθε παραμέτρου.

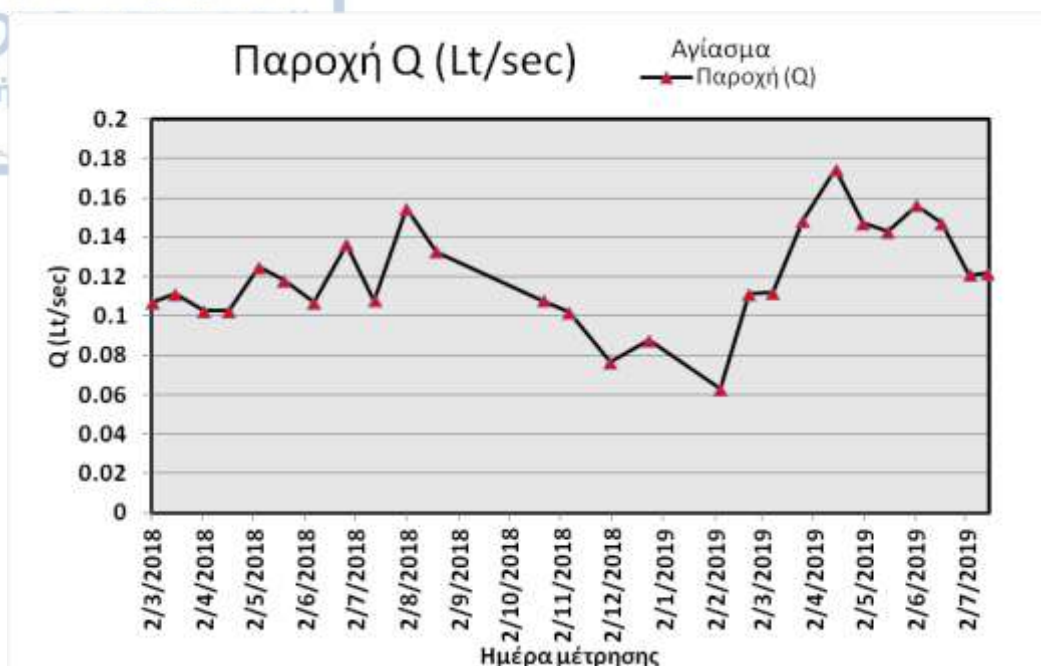
Στο κεφάλαιο αυτό, θα παρουσιαστούν οι τρόποι με τους οποίους έγιναν οι μετρήσεις, διαγράμματα μεταβολών των παραμέτρων, η σημασία τους για την ποιότητα και ποσότητα του νερού, ορισμένα κλιματολογικά δεδομένα συγκριτικά με τις μεταβολές των παραμέτρων στο χρόνο, καθώς και φωτογραφίες οπτικών μεταβολών που παρατηρήθηκαν στο νερό, κατά τη διάρκεια παρακολούθησής του.

### 5.1 Ποσοτική συστηματική παρακολούθηση των πηγών

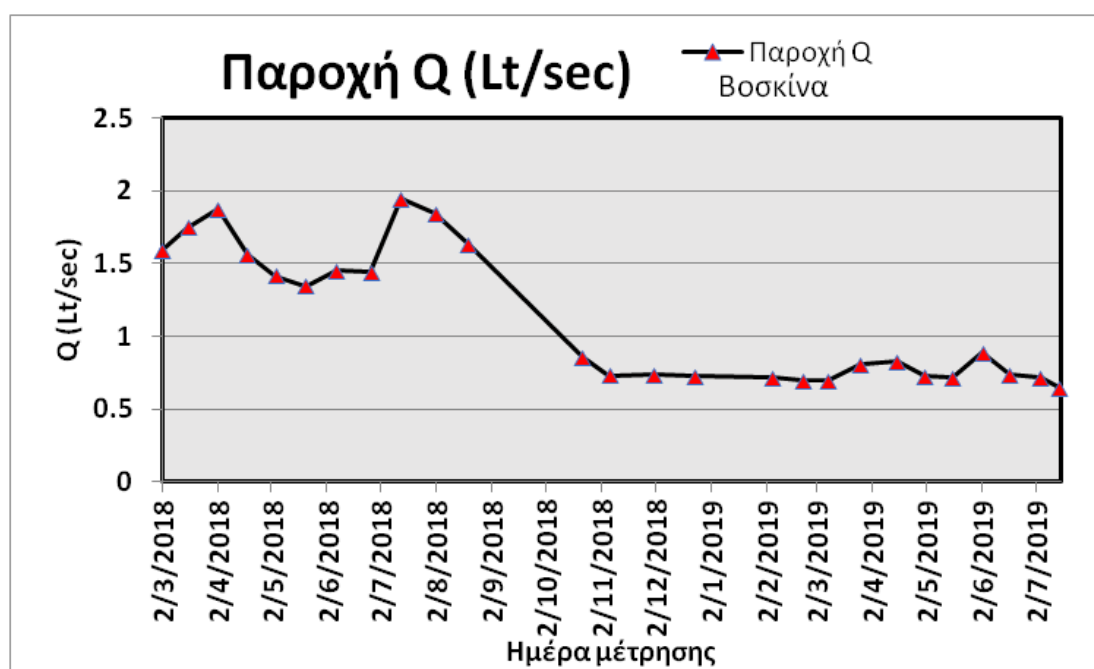
Η ποσοτική παρακολούθηση των πηγών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ενός ογκομετρικού βαρελιού 35 λίτρων (L), για την πηγή της Βοσκίνας, ένα μπουκάλι εμφιαλωμένου νερού 1,5 L, για την πηγή στη θέση Αγίασμα και ένα χρονόμετρο. Η παράμετρος που παρακολουθήθηκε ποσοτικά, ονομάζεται **παροχή (Q)** και ορίζεται ως το πηλίκο του όγκου V του νερού, που διέρχεται από τη διατομή ενός υδροφορέα, ως προς το χρόνο t.

$$Q = \frac{V}{t} \frac{m^3}{sec}$$

Ο τρόπος παρακολούθησης της παραμέτρου αυτής ήταν η μέτρηση του χρόνου σε sec, μέχρι την πλήρωση του ογκομετρικού βαρελιού και του μπουκαλιού, αντίστοιχα για κάθε πηγή, με έναν συγκεκριμένο όγκο νερού σε L. Η μέτρηση σε κάθε πηγή, επαναλήφθηκε τρεις (3) φορές και σημειώθηκε, ως τελικό δεδομένο χρόνου, ο μέσος όρος αυτών. Έπειτα, στο πρόγραμμα του excel MSoffice, δημιουργήθηκαν τα παρακάτω διαγράμματα:



Σχήμα 5.1 Διάγραμμα μεταβολών παροχής Q, πηγή Αγίασμα.



Όπως φαίνεται στα διαγράμματα, στα σημεία όπου ο χρόνος πλήρωσης είναι μεγαλύτερος, αντιστοιχούν μικρότερες τιμές παροχής και το αντίστροφο.

Στον παρακάτω πίνακα και στα διαγράμματα παροχής, φαίνεται ότι για την πηγή Αγίασμα η μέγιστη παροχή εμφανίζεται κατά το μήνα Απρίλιο του 2019, με 0,17 L/s και για τη Βοσκίνα το μήνα Ιούλιο 2018, με 1,94 L/s. Επιπλέον, η πηγή της Βοσκίνας εμφανίζει σημαντικά μεγαλύτερη παροχή κατά τη διάρκεια των μηνών Μάρτιο έως Ιούλιο για το έτος 2018, σε σχέση με τους αντίστοιχους μήνες του 2019, αλλά και υψηλότερες διακυμάνσεις των τιμών της παροχής συνολικά, μέχρι και μία μονάδα. Αντίθετα, για την πηγή Αγίασμα, οι τιμές εμφανίζονται σχεδόν σταθερές μεταξύ των δύο ετών, αλλά αυξομειώνονται σε σχέση με την εποχή. Δηλαδή, κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών εμφανίζει μείωση παροχής, ενώ τους υπόλοιπους μήνες αυξάνεται. Ωστόσο οι διακυμάνσεις είναι μικρότερες της μίας μονάδας, σε αντίθεση με τη Βοσκίνα.

**Πίνακας 5.1** Τιμές παροχής (L/ s) στις πηγές νερού.

| ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ          | ΑΓΙΑΣΜΑ | ΒΟΣΚΙΝΑ |
|---------------------|---------|---------|
| 2 Μαρτίου 2018      | 0.11    | 1.59    |
| 16 Μαρτίου 2018     | 0.11    | 1.75    |
| 2 Απριλίου 2018     | 0.10    | 1.87    |
| 18 Απριλίου 2018    | 0.10    | 1.56    |
| 4 Μαΐου 2018        | 0.13    | 1.42    |
| 21 Μαΐου 2018       | 0.12    | 1.35    |
| 7 Ιουνίου 2018      | 0.11    | 1.45    |
| 26 Ιουνίου 2018     | 0.14    | 1.44    |
| 13 Ιουλίου 2018     | 0.11    | 1.94    |
| 1 Αυγούστου 2018    | 0.16    | 1.84    |
| 19 Αυγούστου 2018   | 0.13    | 1.64    |
| 22 Οκτωβρίου 2018   | 0.11    | 0.85    |
| 6 Νοεμβρίου 2018    | 0.10    | 0.73    |
| 1 Δεκεμβρίου 2018   | 0.08    | 0.73    |
| 24 Δεκεμβρίου 2018  | 0.09    | 0.73    |
| 5 Φεβρουαρίου 2019  | 0.06    | 0.72    |
| 22 Φεβρουαρίου 2019 | 0.11    | 0.7     |

|                      |             |             |
|----------------------|-------------|-------------|
| 8 Μαρτίου 2019       | 0.11        | 0.7         |
| 26 Μαρτίου 2019      | 0.15        | 0.8         |
| 15 Απριλίου 2019     | 0.17        | 0.83        |
| 1 Μαΐου 2019         | 0.15        | 0.73        |
| 16 Μαΐου 2019        | 0.14        | 0.72        |
| 2 Ιουνίου 2019       | 0.16        | 0.89        |
| 17 Ιουνίου 2019      | 0.15        | 0.73        |
| 4 Ιουλίου 2019       | 0.12        | 0.71        |
| 15 Ιουλίου 2019      | 0.12        | 0.65        |
| <i>Μέγιστη τιμή</i>  | <b>0.17</b> | <b>1.94</b> |
| <i>Ελάχιστη τιμή</i> | <b>0.06</b> | <b>0.65</b> |

### 5.1.1 Σύγκριση παροχής - Βροχόπτωσης.

Όπως προαναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η παροχή μιας πηγής εξαρτάται άμεσα από τη βροχόπτωση και το ύψος βροχής που προκλήθηκε (Σχήμα 5.5,

Σχήμα 5.6). Γι' αυτό κρίθηκε αναγκαία η συλλογή και επεξεργασία βροχομετρικών δεδομένων, τα οποία δόθηκαν από το Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών, στην περιοχή της Νέας Ραιδεστού (Δ. Θέρμης), όπου είχαν εγκατεστημένο μετεωρολογικό σταθμό. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα μηνιαίου ύψους βροχής για τα έτη 2018 – 2019.

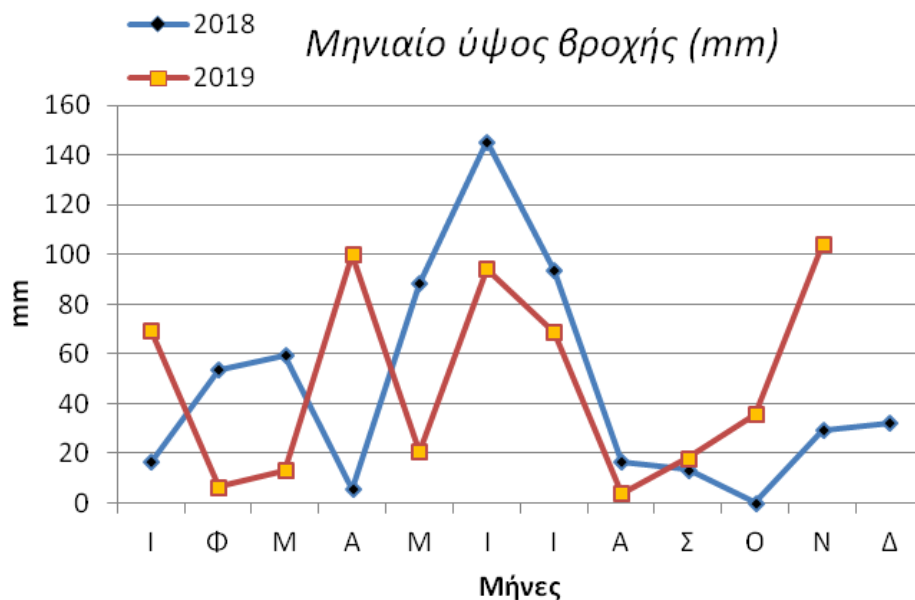


Σχήμα 5.3 Φωτογραφία Μετεωρολογικού σταθμού (Ινστιτούτο δασικών ερευνών)



**Πίνακας 5.2** Τιμές ύψους βροχής σε mm

| Έτη  | Ι  | Φ  | Μ  | Α   | Μ  | Ι   | Ι  | Α  | Σ  | Ο  | Ν   | Δ  | Σύνολο |
|------|----|----|----|-----|----|-----|----|----|----|----|-----|----|--------|
| 2018 | 17 | 54 | 59 | 5   | 88 | 145 | 94 | 16 | 13 | 0  | 29  | 32 | 552    |
| 2019 | 69 | 6  | 13 | 100 | 20 | 94  | 69 | 4  | 18 | 36 | 104 | -  | 533    |



**Σχήμα 5.4** Διάγραμμα Μηνιαίου ύψους βροχής (mm) για τα έτη 2018-2019

Συγκρίνοντας τις τιμές του ύψους βροχής μεταξύ των δύο ετών, 2018 και 2019, το συνολικό ετήσιο ύψος βροχής είναι σχεδόν ίσο. Ωστόσο, μεταξύ των αντίστοιχων μηνών κάθε έτους, υπάρχουν διαφορές. Πιο αναλυτικά, στο έτος 2018, η μέγιστη βροχόπτωση εμφανίζεται κατά τον θερινό μήνα, Ιούνιο, ενώ στο έτος 2019, παρατηρείται τον μήνα Νοέμβριο, με μικρή διαφορά από τον μήνα Απρίλιο.

Κατά το υδρολογικό έτος 2018-2019, το σύνολο των κατακρημνισμάτων ισούται με 454 mm. Κατά την υγρή περίοδο, που αφορά το πρώτο εξάμηνο του έτους, αναμένονται και τα μεγαλύτερα ύψη βροχής. Σύμφωνα όμως με το διάγραμμα και τις τιμές για κάθε μήνα, συμπεραίνουμε ότι για το συγκεκριμένο υδρολογικό έτος, δεν ισχύει ο διαχωρισμός και το κριτήριο των δύο περιόδων, αφού το σύνολο των κατακρημνισμάτων της υγρής περιόδου ισούται με 149 mm, ενώ για την ξηρή περίοδο 302 mm.

Παρατηρώντας τις μεταβολές της παροχής των δύο πηγών, Αγίασμα και Βοσκίνα, στον Πίνακα 5.1, διακρίνουμε μέγιστες και ελάχιστες τιμές, για το κάθε έτος. Μετά

από σύγκριση των διακυμάνσεων της βροχόπτωσης, μεταξύ των μηνών, φαίνεται πως πράγματι η παροχή των πηγών επηρεάζεται από τα κατακρημνίσματα. Συγκεκριμένα, κατά το έτος 2018, η μέγιστη τιμή παροχής, παρατηρείται κατά τη διάρκεια του Ιουλίου, ενώ το μέγιστο ύψος βροχής του ίδιου έτους, εμφανίζεται κατά την περίοδο του Ιουνίου. Ενώ έπειτα η παροχή ακολουθεί πτωτική τάση, η οποία φαίνεται να συμπίπτει και με την μεταβολή του ύψους βροχής. Τις ίδιες τάσεις μεταβολής διακρίνουμε και στην πηγή Αγίασμα, κατά τη διάρκεια του Αυγούστου. Το φαινόμενο αυτό, είναι φυσιολογικό, καθώς οι υπόγειοι υδροφορείς εμπλουτίζονται με νερό, λόγω των κατακρημνισμάτων και γι' αυτόν το λόγο, όταν εκτονώνονται μέσω των πηγών, αυξάνεται η παροχή. Ο χρόνος που μεσολαβεί για να αυξηθεί η παροχή, οφείλεται στο γεγονός ότι τα κατακρημνίσματα, αρχικά διαπερνούν το έδαφος πραγματοποιώντας τη λειτουργία της διήθησης, σε μεγάλα υψόμετρα, φτάνουν στον υπόγειο υδροφορέα και διανύουν κάποια απόσταση, προς τα χαμηλότερα, μέχρι να φτάσουν στις πηγές, όπου συμβαίνει η εκτόνωση και ως επακόλουθο της βροχόπτωσης, η αύξηση της παροχής.

Σύμφωνα με την παραπάνω θεωρία, θα περίμενε κανείς, η αύξηση της παροχής στην περιοχή του Αγιάσματος, να γίνεται νωρίτερα, σε σχέση με τη Βοσκίνα, αφού βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο και το υπόγειο νερό διανύει μικρότερη απόσταση μέχρι να φτάσει στην πηγή. Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει. Οι αιτίες στις οποίες μπορεί να οφείλεται η αναίρεση της παραπάνω θεωρίας, είναι είτε ότι ο υδροφορέας που δημιουργεί την πηγή Αγίασμα, πιθανώς να εκτονώνεται και σε άλλες πηγές, σε μεγαλύτερα υψόμετρα, επομένως να καθυστερεί η αύξηση της παροχής, σε μικρότερα υψόμετρα, είτε ότι επηρεάζεται από το πορώδες των πετρωμάτων του υποβάθρου και την ικανότητα αποθηκευτικότητας νερού του υδροφορέα, αφού σύμφωνα με το Σχήμα 3.3, οι δύο πηγές εμφανίζονται σε διαφορετικές πετρολογικές ενότητες, με διαφορετικές ιδιότητες.

Όσον αφορά το έτος 2019, η αύξηση της παροχής στην πηγή Βοσκίνα και Αγίασμα, παρατηρείται τον μήνα Απρίλιο και Ιούνιο, με ελάχιστη διαφορά στις τιμές τους, το οποίο φαίνεται σύμφωνο με τις παρατηρήσεις που αφορούν το 2018, καθώς το ύψος βροχής κατά τη διάρκεια του έτους αγγίζει τις μέγιστες τιμές, τους αντίστοιχους μήνες. Η μόνη διαφορά που διακρίνουμε μεταξύ των δύο ετών, είναι ότι οι πηγές δεν εμφανίζουν καθυστέρηση στην αύξηση της παροχής, σε σχέση με την αύξηση της βροχόπτωσης, όπως συνέβη κατά το 2018.

Μια ακόμη παρατήρηση, για την πηγή της Βοσκίνας, μεταξύ των δύο ετών είναι η μεταβολή της παροχής έως και 1 L/s. Πιο συγκεκριμένα, τον μήνα Ιούλιο του 2018 διακρίνεται η μέγιστη τιμή παροχής, κατά τη συνολική διάρκεια της ποσοτικής παρακολούθησης του νερού της πηγής, ενώ τον μήνα Ιούλιο του 2019, η ελάχιστη τιμή της παροχής, με διαφορά  $1,94 - 0,65 = 1,29$  L/s.

**Πίνακας 5.3** Συνολικά ύψη βροχής και παροχή πηγής στη θέση Βοσκίνα.

| ΕΤΟΣ | Σύνολο ύψους βροχής προηγούμενων μηνών (mm) | Σύνολο ύψους βροχής 12 ημερών (mm) | ΠΑΡΟΧΗ (L/s) Ιουλίου |
|------|---------------------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| 2018 | 368                                         | 9,2                                | 1,94                 |
| 2019 | 302                                         | 33,4                               | 0,65                 |

Εξετάζοντας ξεχωριστά για κάθε έτος, τις συνολικές τιμές του ύψους βροχής, για τους μήνες Ιανουάριο μέχρι και τον Ιούνιο, παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια του έτους 2018, τα κατακρημνίσματα, ήταν περισσότερα, απ' ό,τι το 2019. Επομένως, ήταν προβλέψιμο, πως η τιμή της παροχής για το μήνα Ιούλιο, συγκριτικά με τον ίδιο μήνα του επόμενου έτους, θα εμφανιζόταν μεγαλύτερη. Ωστόσο, υπολογίζοντας τη συνολική τιμή του ύψους βροχής προ 12 ημερών της μέτρησης παροχής, από τα ημερήσια δεδομένα που συλλέχθηκαν, παρατηρείται ότι κατά το έτος 2019, το συνολικό ύψος βροχής είναι μεγαλύτερο από την τιμή του προηγούμενου έτους. Παρ' όλα αυτά η μέτρηση της παροχής του Ιουλίου 2019, παραμένει μικρότερη απ' ό,τι αυτής του 2018. Άρα, συμπεραίνουμε ότι η επίδραση των κατακρημνισμάτων δεν είναι άμεση, αλλά απαιτείται κάποιος χρόνος από τη στιγμή που λαμβάνει χώρα η βροχόπτωση μέχρι να παρατηρηθεί μεταβολή στην παροχή του νερού της πηγής.

Στην πηγή Αγίασμα, όπως έχει προαναφερθεί η διακύμανση της παροχής είναι ελάχιστη. Η σύγκριση των τιμών παροχής έγινε για το μήνα Απρίλιο, για τα έτη 2018 και 2019. Η διαφορά στην παροχή μεταξύ αυτών των δύο μηνών είναι ίση με 0,07 L/s, με τη μέγιστη τιμή να εμφανίζεται τον Απρίλιο του 2019.

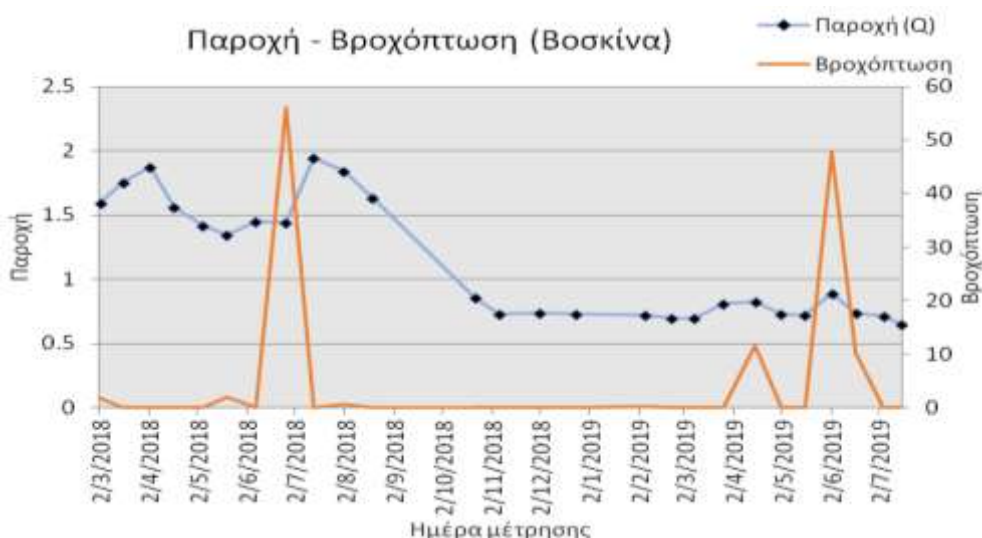
**Πίνακας 5.4** Συνολικά ύψη βροχής και παροχή πηγής στη θέση Αγίασμα.

| ΕΤΟΣ | Σύνολο ύψους βροχής προηγούμενων μηνών (mm) | Σύνολο ύψους βροχής 12 ημερών (mm) | ΠΑΡΟΧΗ (L/s) Ιουλίου |
|------|---------------------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| 2018 | 130                                         | 37                                 | 0,10                 |
| 2019 | 88                                          | 58                                 | 0,17                 |

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.4, το συνολικό ύψος βροχής των προηγούμενων μηνών είναι μεγαλύτερο κατά το έτος 2018, σε σχέση με το 2019. Ωστόσο, η τιμή της παροχής εμφανίζεται μικρότερη, για το 2018. Αντίθετα, το συνολικό άθροισμα των κατακρημνισμάτων 12 ημερών, πριν την μέτρηση της παροχής, είναι μικρότερο για το έτος 2018, συγκριτικά με αυτό του 2019. Άρα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η πηγή Αγίασμα, διαφέρει λειτουργικά από αυτήν στη Βοσκίνα. Η επιρροή που ασκεί στην παροχή της, η πρόκληση ή μη, βροχόπτωσης, είναι πιο άμεση. Δηλαδή, δεν απαιτείται μεγάλη χρονική μεσολάβηση, περιόδου μηνών, για να γίνουν ορατά τα αποτελέσματα της αύξησης ή μείωσης των κατακρημνισμάτων στην παροχή της πηγής, όπως διαπιστώθηκε ότι συμβαίνει στην πηγή Βοσκίνα. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα συσχέτισης των μεταβολών της παροχής, για κάθε πηγή, με την αυξομείωση του ύψους βροχής.



Σχήμα 5.5 Διάγραμμα συσχέτισης μεταβολών παροχής στην πηγή «Αγίασμα» και βροχόπτωσης.



Σχήμα 5.6 Διάγραμμα συσχέτισης μεταβολών παροχής στην πηγή «Βοσκίνα» και βροχόπτωσης

## 5.2 Ποιοτική συστηματική παρακολούθηση των πηγών

Η ποιότητα του νερού αφορά τα χημικά, φυσικά, βιολογικά και ραδιολογικά χαρακτηριστικά του. Ορίζεται από ένα σύνολο παραμέτρων, όπως pH, θερμοκρασία, ηλεκτρική αγωγιμότητα, αλκαλικότητα, σκληρότητα κ.ά. και έπειτα οι τιμές που προκύπτουν από τη μέτρηση τους, συγκρίνονται με αυτές, των πρότυπων δειγμάτων νερού, με σκοπό τον καθορισμό της αξιοποίησης του (βιομηχανική χρήση, πόση, γεωργία κ.ά.). Οι κατάλληλες τιμές, δηλαδή τα πρότυπα δείγματα, καθορίζονται από την σκοπούμενη χρήση. Για παράδειγμα, στη βιομηχανία νερό με διαλυμένα υλικά, όπως ασβέστιο και μαγνήσιο, κρίνεται ακατάλληλο και απαιτείται μείωση της σκληρότητας του, ώστε να μην προκαλέσει φθορά σε μηχανήματα, δημιουργώντας σκληρά θειικά άλατα. Αντίθετα, το νερό με μεγάλη σκληρότητα, προτιμάται από το λιγότερο σκληρό, για την ανθρώπινη κατανάλωση, αφού πολλά προβλήματα υγείας οφείλονται σε έλλειψη ασβεστίου και μαγνησίου, επομένως ο οργανισμός μπορεί με αυτόν τον τρόπο να αντλήσει ποσά των αντίστοιχων στοιχείων, από αυτό. Γίνεται λοιπόν κατανοητό, ότι η παρακολούθηση της ποιότητας νερού, είναι σημαντική, για οποιαδήποτε χρήση και αν προορίζεται, ιδιαίτερα όταν αφορά την πόση από τον άνθρωπο, αφού το 70% του ανθρώπινου σώματος αποτελείται από νερό και είναι απαραίτητο για την επιβίωση του. Επιπλέον, το πρόβλημα της ρύπανσης του νερού, είναι ένας ακόμη εξίσου σημαντικός λόγος, που οδηγεί στην ποιοτική παρακολούθησή του.

### 5.2.1 Φυσικοχημικές παράμετροι νερού

Οι παράμετροι που αποτελούν την ποιοτική παρακολούθηση ενός δείγματος νερού διακρίνονται σε:

- **ΦΥΣΙΚΟΥΣ:** Θερμοκρασία, χρώμα, θολότητα, οσμή, γεύση, ραδιενέργεια.
- **ΧΗΜΙΚΟΥΣ:** pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, σκληρότητα, περιεκτικότητα ιόντων, βαρέων μετάλλων και αερίων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία οι φυσικοχημικές παράμετροι που παρακολουθήθηκαν συστηματικά είναι η θερμοκρασία του νερού, το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, καθώς και οπτικές μεταβολές του νερού από λήψεις φωτογραφιών.

### 5.2.1 Θερμοκρασία νερού

Η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει την βιολογική δραστηριότητα και ανάπτυξη διαφόρων ειδών ζωντανών οργανισμών, που μπορούν να ζήσουν σε αυτό. Μια ακόμη



επιρροή που ασκεί η θερμοκρασία και την καθιστά σημαντική, είναι στον χημισμό του νερού. Πιο συγκεκριμένα, ο ρυθμός των χημικών αντιδράσεων, αυξάνεται, όσο αυξάνεται και η θερμοκρασία. Το νερό και ειδικότερα, το υπόγειο νερό, επηρεάζεται από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων που το περιβάλλουν, αλλά και από τις μεταβολές της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφορέα. Οι θερμοκρασίες του υπόγειου νερού, τείνουν να παραμένουν σταθερές, ενώ στα επιφανειακά ύδατα παρατηρείται μεταβολή, λόγω της ηλιακής ενέργειας πάνω στην επιφάνεια της γης.

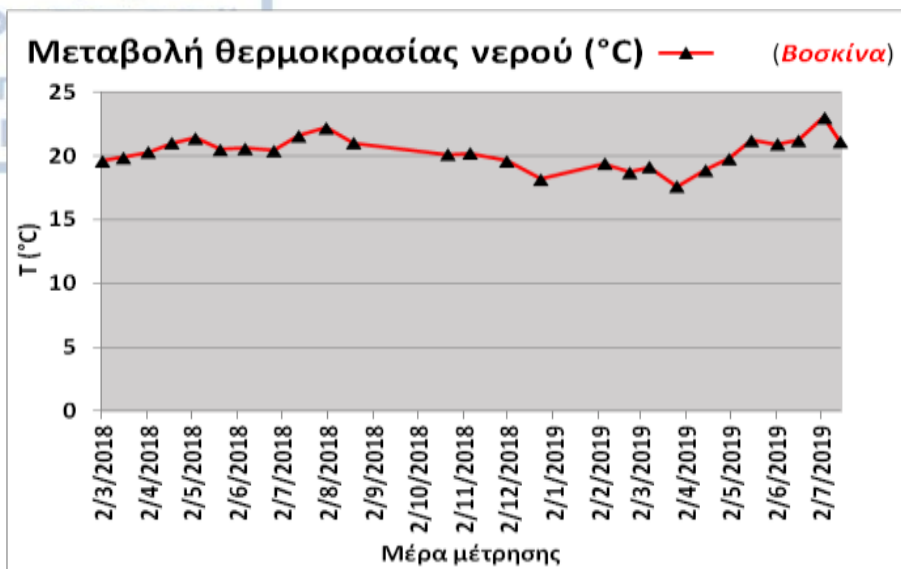
Μια ιδιότητα των υπόγειων υδάτων, που μεταβάλλεται κατά την αύξηση της θερμοκρασίας, είναι η ικανότητα τους να διαλύουν και να συμπαρασύρουν περισσότερα ορυκτά-χημικά στοιχεία από τα περιβάλλοντα πετρώματα. Το παραπάνω φαινόμενο ονομάζεται διάλυση και αφορά είτε στερεά, είτε αέρια. Η διάλυση των αερίων, καθιστά το νερό ως ασθενές όξινο, δηλαδή χημικά δραστικό. Τη χημική αυτή διαδικασία, εκτός από τη θερμοκρασία του νερού, επηρεάζει και η διαλυτότητα των ορυκτών από τα οποία αποτελούνται τα πετρώματα, η ποσότητα του νερού κ.ά. Αποτέλεσμα της διάλυσης, είναι η έναρξη της εξέλιξης του χημισμού του νερού, καθώς και η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του, επομένως θα είναι ενδιαφέρουσα μια σύγκριση των μεταβολών αυτών των δύο παραμέτρων, που παρακολουθήθηκαν κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, σε επόμενη παράγραφο. Τέλος, η διάλυση έχει μεγάλη σημασία στα ασβεστολιθικά πετρώματα, λόγω της μεγάλης εξάπλωσης και των καρστικών μορφών που εμφανίζουν.

Είναι σημαντικό να γίνει αναφορά και στη θερμοκρασία του εδάφους, αφού επηρεάζει τη θερμοκρασία των πετρωμάτων σε βαθύτερα τμήματα, που περιβάλλουν και μεταβάλλουν τη θερμοκρασία του υπόγειου νερού. Η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζεται από τους παρακάτω παράγοντες(Σαχσαμάνογλου, 2014):

- Την ποσότητα της θερμότητας που δέχεται από την ηλιακή ακτινοβολία
- Την ποσότητα της θερμότητας που ανακλά
- Τα φυσικά συστατικά από τα οποία αποτελείται
- Την υγρασία που περιέχει το έδαφος

Παρακάτω παραθέτονται τα διαγράμματα μεταβολής της θερμοκρασίας του νερού για τις πηγές στη θέση Βοσκίνα και Αγίασμα, μεταβολής θερμοκρασίας εδάφους, καθώς και υγρασίας του.





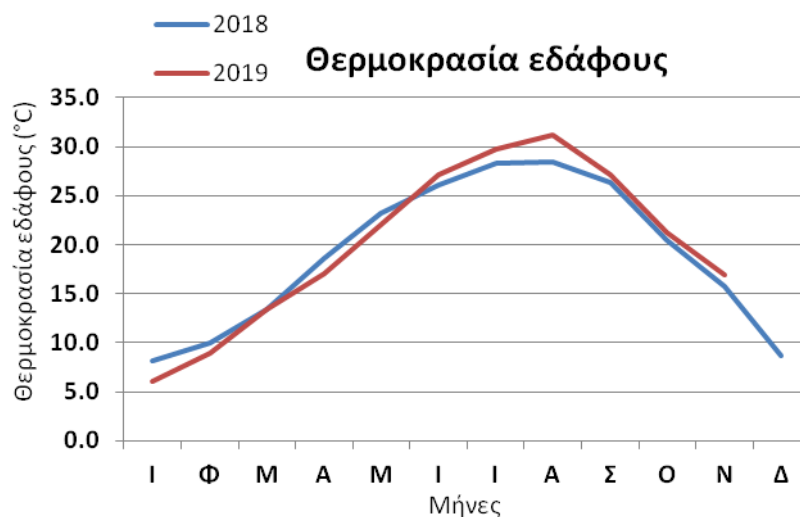
**Σχήμα 5.7** Διάγραμμα μεταβολών θερμοκρασίας νερού στην πηγή Βοσκίνα.

**Πίνακας 5.5** Τιμές θερμοκρασίας στην πηγή Βοσκίνα

| ΒΟΣΚΙΝΑ     | Μέγιστη τιμή          | Ελάχιστη τιμή           | Μέση τιμή     |
|-------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
| Θερμοκρασία | <b>23 °C (7/2019)</b> | <b>17.5 °C (3/2019)</b> | <b>20.3°C</b> |

Όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, η θερμοκρασία του υπόγειου νερού, επηρεάζεται από τα περιβάλλοντα πετρώματα, επομένως τη θερμοκρασία του εδάφους. Παρατηρώντας το Σχήμα 5.8, είναι φανερό ότι η θερμοκρασία του εδάφους ακολουθεί αυξητική τάση, από τον Φεβρουάριο έως τον Ιούλιο και τα δύο έτη, ενώ μέχρι τον Αύγουστο για το έτος 2019. Γι' αυτό λοιπόν, σύμφωνα με την παραπάνω θεωρία, θα έπρεπε να παρατηρείται και συνεχής αύξηση της θερμοκρασίας του νερού. Ωστόσο κατά τη διάρκεια του Μαΐου μέχρι και τον Ιούνιο, εντοπίζεται μείωση της θερμοκρασίας κατά 1° C, ενώ η θερμοκρασία του εδάφους εκείνη την περίοδο, συνεχίζει να αυξάνεται. Την ίδια μεταβολή, αλλά λιγότερο έντονη παρατηρείται και τον Ιούνιο του 2019. Μελετώντας τα δεδομένα που δόθηκαν από το Ινστιτούτο Δασικών ερευνών, για τη θερμοκρασία και υγρασία του εδάφους, καθώς και την εξάτμιση, παρατηρήθηκε ότι 2 μήνες πριν, δηλαδή κατά τον Μάρτιο και Απρίλιο, η υγρασία του εδάφους αυξήθηκε. Ισχύει ότι, όταν το έδαφος είναι πιο υγρό, η θερμότητα μεταφέρεται δυσκολότερα στα περιβάλλοντα πετρώματα, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες. Επομένως, μια εξήγηση είναι ότι η μείωση της θερμοκρασίας του νερού κατά τον μήνα Μάιο-Ιούνιο, οφείλεται στο ότι τα πετρώματα που περιβάλλουν τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, είναι πολύ πιθανό, να μην θερμάνθηκαν τόσο όσο η επιφάνεια του εδάφους, λόγω της περιεχόμενης υγρασίας του. Αντίθετα, από τον

μήνα Ιούλιο έως και Αύγουστο, παρατηρείται σύμφωνη μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού, με τη θερμοκρασία του εδάφους, δηλαδή αυξητική. Βλέποντας τα δεδομένα υγρασίας των προηγούμενων μηνών, Μάιο και Ιούλιο, φαίνεται ότι το έδαφος ήταν λιγότερο υγρό, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία να διαδίδεται από την επιφάνεια του εδάφους στα ενδότερα, πιο εύκολα.



Σχήμα 5.8 Διάγραμμα θερμοκρασίας εδάφους (Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών).



Σχήμα 5.9 Διάγραμμα μεταβολής υγρασίας εδάφους (Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών).

Πίνακας 5.6 Τιμές θερμοκρασίας στην πηγή Αγίασμα.

| ΑΓΙΑΣΜΑ     | Μέγιστη τιμή     | Ελάχιστη τιμή    | Μέση τιμή |
|-------------|------------------|------------------|-----------|
| Θερμοκρασία | 25.3 °C (8/2018) | 14.5 °C (3/2018) | 19.3°C    |

Λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές του Πίνακα 5.6 και λόγω του γεγονότος ότι η πηγή στη θέση Αγίασμα, αποτελείται αποκλειστικά από θερμό νερό, θα αναμέναμε μικρότερη διακύμανση της θερμοκρασίας, σε σχέση με την πηγή της Βοσκίνας, η

οποία αποτελείται από ανάμειξη ψυχρού και θερμού νερού. Ωστόσο, η διακύμανση της θερμοκρασίας, εμφανίζει μεγαλύτερο εύρος, περίπου 11° C.



**Σχήμα 5.10** Διάγραμμα μεταβολής θερμοκρασίας νερού στη θέση Αγίασμα.

Από πληροφορίες που συλλέχθηκαν, μια πιθανή αιτία που συμβαίνει αυτό είναι ότι:

Αν ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας είναι κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, το νερό θα εκφορτίζεται από την πηγή, με θερμοκρασία επηρεασμένη από τη μέση μηνιαία θερμοκρασία του εδάφους. Λόγω του ότι ο υδροφορέας περιβάλλεται από ψυχρότερα πετρώματα, το θερμότερο υπόγειο νερό που ρέει μέσα σε αυτόν, ψύχεται. Ο χρόνος ροής του νερού, στο εσωτερικό του υδροφορέα είναι αρκετός, ώστε η θερμότητα να διαχυθεί από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα και η θερμοκρασία του νερού να μειωθεί, μέχρι να φτάσει στην πηγή. Για να διαπιστωθεί όμως, αν πράγματι ισχύει η παραπάνω θεωρία, χρειάζονται γεωφυσικές διασκοπήσεις, για τον εντοπισμό του υδροφόρου ορίζοντα και τον υπολογισμό της απόστασης του από την επιφάνεια του εδάφους. Από παλιότερες μελέτες που έχουν γίνει, το βάθος του θερμού υδροφορέα στη θέση Αγίασμα, είναι στα 70 m, το οποίο πράγματι δεν είναι πολύ μεγάλο, άρα πιθανόν να επηρεάζεται από τη θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους.

Κλείνοντας, οι παρατηρήσεις που προκύπτουν από το Σχήμα 5.10, συμπίπτουν με αυτές που παρατέθηκαν για την πηγή στη θέση «Βοσκίνα». Δηλαδή, η θερμοκρασία του νερού, μειώνεται κατά τη διάρκεια του Ιουνίου μέχρι τον Ιούλιο και στα δύο έτη. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αυτό μπορεί να οφείλεται στο ποσοστό υγρασίας

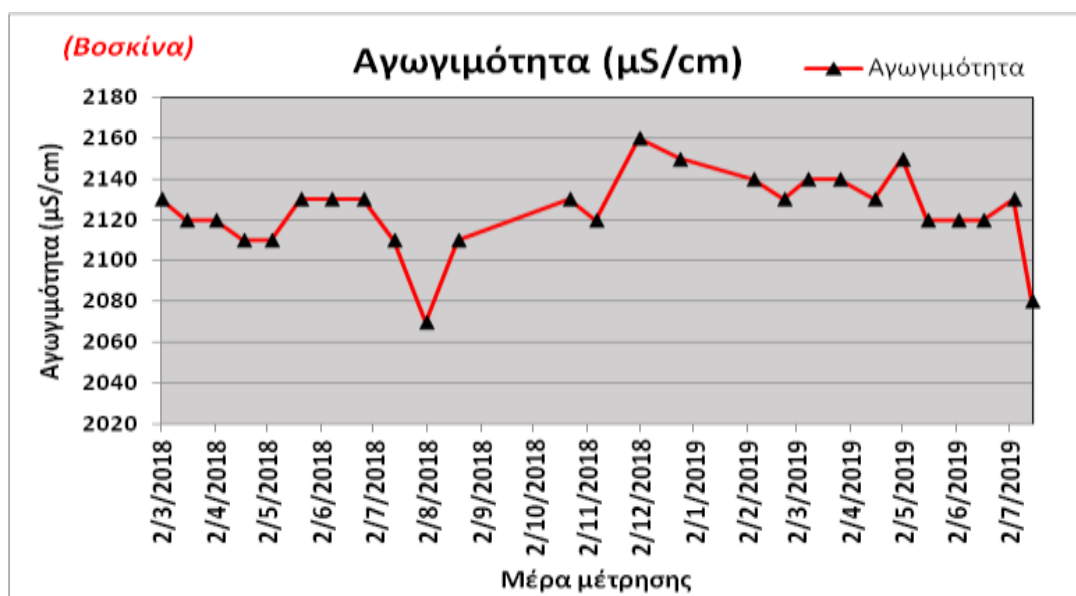
που περιέχεται στο έδαφος, η οποία εμποδίζει την εύκολη διάχυση θερμότητας σε μεγαλύτερα βάθη.

### 5.2.1 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ορίζει την ικανότητα ενός υδατικού διαλύματος να άγει ηλεκτρικό ρεύμα. Οι μονάδες μέτρησης του μεγέθους αυτού είναι  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Εκτός από τον προσδιορισμό αυτής της ιδιότητας του νερού, στην προκειμένη περίπτωση, είναι επίσης ένας δείκτης που σχετίζεται άμεσα με τη συγκέντρωση των αλάτων (ασβέστιο, μαγνήσιο, κάλιο, νάτριο, χλωρίδια, διττανθρακικά, θειικά άλατα, νιτρικά κ.ά.) που διαλύονται σε αυτό, άρα και με την παράμετρο TDS (συνολικά διαλυμένα στερεά - Αλατότητα υπόγειου νερού). Τέλος, η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας εξαρτάται από την θερμοκρασία του νερού. Υποστηρίζεται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας κατά  $1^\circ \text{C}$ , αυξάνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα 2-3% (Smart fertilizer). Στη συνέχεια ακολουθεί η μελέτη της μεταβολής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο νερό των πηγών, Αγίασμα και Βοσκίνα, με σκοπό τη συσχέτιση της με την θερμοκρασία του νερού.

**Πίνακας 5.7** Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην πηγή Βοσκίνα

| ΒΟΣΚΙΝΑ                                 | Μέγιστη τιμή          | Ελάχιστη τιμή        | Μέση τιμή |
|-----------------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------|
| Αγωγιμότητα ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | <b>2160</b> (12/2018) | <b>2070</b> (8/2018) | 2120      |



**Σχήμα 5.11** Διάγραμμα μεταβολών ηλεκτρικής αγωγιμότητας στη θέση Βοσκίνα.

Παρατηρώντας τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για την πηγή της Βοσκίνας, αρχικά βλέπουμε μικρή διακύμανση των τιμών, λιγότερο από 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Έπειτα, συγκρίνοντας τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τις θερμοκρασιακές μεταβολές, στο σχήμα 5.13, εξάγεται το συμπέρασμα ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, οι δύο αυτές μεταβολές των τιμών, είναι αντιστρόφως ανάλογες. Ιδιαίτερα έντονη απόδειξη, είναι η περίπτωση της μέτρησης κατά τον μήνα Αύγουστο, όπου παρατηρείται η ελάχιστη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, 2070  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ενώ την ίδια ημέρα μέτρησης, η θερμοκρασία του νερού λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της για το έτος 2018. Οι μόνες περιπτώσεις, όπου φαίνεται να ισχύει ο κανόνας που υποστηρίζει, ότι όσο αυξάνει η θερμοκρασία, αυξάνει και η ηλεκτρική αγωγιμότητα ή αντίστροφα, είναι από τον Ιούνιο έως τον Ιούλιο του 2019. Από αυτήν την παρατήρηση, προκύπτει το συμπέρασμα, ότι η επιρροή που ασκείται στην ηλεκτρική αγωγιμότητα και προκαλεί τις μεταβολές της, είναι κυρίως από την περιεκτικότητα του νερού σε διαλυμένα άλατα και όχι από τη θερμοκρασία. Το παραπάνω συμπέρασμα ήταν σχετικά προβλέψιμο, καθώς η διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού στην πηγή Βοσκίνα, είναι μικρού εύρους και οι μεταβολές της αφορούν μικρές διαφορές από μέτρηση σε μέτρηση. Ωστόσο, η επιλογή των διαλυμένων αλάτων, ως βασική αιτία της μεταβολής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, είναι μια υπόθεση, αφού δεν πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις δειγμάτων, ώστε να έχουμε μια επιβεβαιωμένη εικόνα του χημισμού του νερού, για κάθε μέτρηση. Ασχέτως της χημικής ανάλυσης, η παραπάνω υπόθεση, μπορεί να υποστηριχθεί από το γεγονός ότι, στη θέση της Βοσκίνας, το πέτρωμα που εντοπίζεται είναι ο τραβερτίνης, ο οποίος αποτελείται από ανθρακικό ασβέστιο. Επομένως, ο υπόγειος υδροφορέας, είναι πιθανό να περιβάλλεται επίσης από τραβερτίνη. Όταν η θερμοκρασία του νερού αυξηθεί, τότε αυτό μπορεί να αποσπάσει από τα πετρώματα στοιχεία και να τα συμπαρασύρει στη μάζα του, όπως πιθανόν συμβαίνει με το ασβέστιο (συμπεριλαμβάνεται στο TDS). Επιπλέον, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι από παλιότερες χημικές αναλύσεις που έχουν γίνει στην πηγή αυτή, τα χημικά στοιχεία που εμφανίζονται να υπερτερούν στη σύσταση του νερού ανήκουν στα στοιχεία του δείκτη TDS που επηρεάζει άμεσα την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

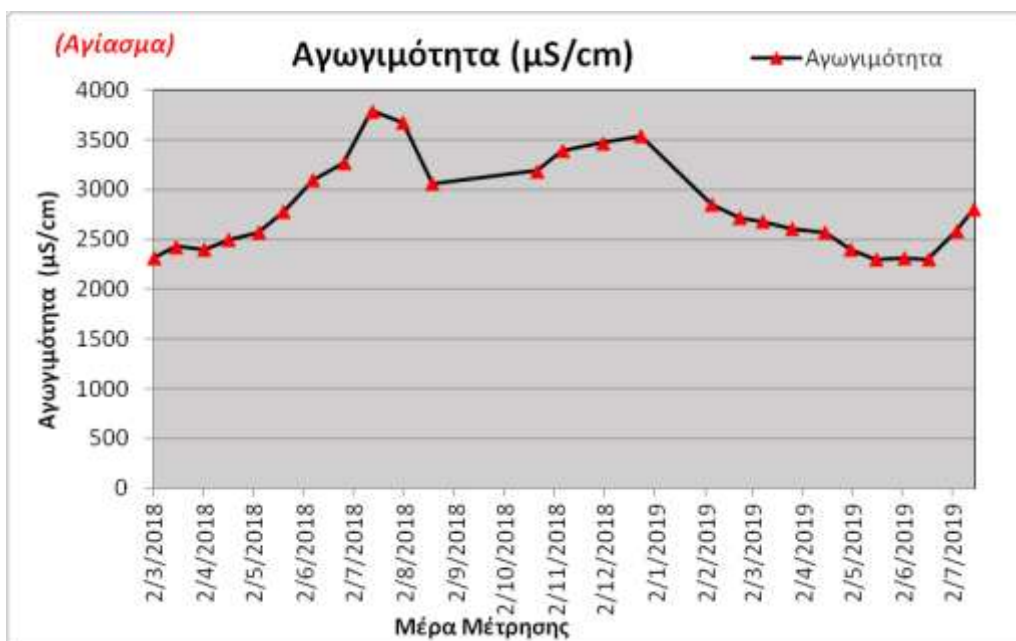
**Χημικά στοιχεία πηγής Βοσκίνα: Ca, HCO<sub>3</sub>, Na, Cl και >300ppm CO<sub>2</sub>**



Μια ακόμη πιθανή αιτία της αύξησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, μπορεί να είναι και η ρύπανση του νερού, από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως η χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Τα φυτοφάρμακα και τα λιπάσματα διεισδύουν στους βαθύτερους ορίζοντες, άλλες φορές με ταχεία διείσδυση και άλλες όχι, ανάλογα με το πορώδες των ιζημάτων και των πετρωμάτων, μέχρι που φτάνουν τελικά στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και μεταβάλλουν την ποιότητα του νερού. Τέλος, αυτή η ανωμαλία που παρατηρείται σε σχέση με τη θερμοκρασία και την ηλεκτρική αγωγιμότητα, μπορεί να οφείλεται στην επίδραση γεωθερμικού ρευστού, που λαμβάνει χώρα στην πηγή «Βοσκίνα» και εμπλουτίζει το υπόγειο νερό με Na και  $\text{HCO}_3$ .

**Πίνακας 5. 8** Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην πηγή Αγίασμα.

| ΑΓΙΑΣΜΑ                             | Μέγιστη τιμή         | Ελάχιστη τιμή          | Μέση τιμή   |
|-------------------------------------|----------------------|------------------------|-------------|
| Αγωγιμότητα<br>( $\mu\text{S/cm}$ ) | <b>3790</b> (7/2018) | <b>2300</b> (5-6/2019) | <b>2830</b> |



**Σχήμα 5.12** Διάγραμμα μεταβολής ηλεκτρικής αγωγιμότητας στη θέση Αγίασμα.

Συνεχίζοντας στην πηγή Αγίασμα, παρατηρείται αρχικά ότι οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας εμφανίζουν μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης τιμής. Η διακύμανση ορίζεται έως και  $1490 \mu\text{S/cm}$ . Συγκρίνοντας τις μεταβολές της θερμοκρασίας του νερού και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, αρχικά εμφανίζονται ανάλογες, δηλαδή όσο αυξάνει η θερμοκρασία, αυξάνει και η αγωγιμότητα, ενώ όταν



αρχίζει να μειώνεται η μια παράμετρος, μειώνει και η άλλη. Μετά το πέρας του Αυγούστου 2018, παρατηρείται ότι οι μεταβολές των δύο παραμέτρων, εμφανίζονται αντιστρόφως ανάλογες και όταν η θερμοκρασία αυξάνει, η αγωγιμότητα του νερού, μειώνεται. Όπως προαναφέρθηκε, σε προηγούμενο κεφάλαιο, η πηγή Αγίασμα, αποτελείται αποκλειστικά από γεωθερμικά ρευστά και τα πετρώματα που εντοπίζονται σε αυτή τη θέση είναι οι ασβεστόλιθοι. Λόγω των ασβεστόλιθων, σύμφωνα με παλιές έρευνες και χημικές αναλύσεις, η ποσότητα του Ca, που υπολογίζεται εκεί είναι περίπου 60-80 mg/L. Επίσης, αυξημένη είναι και η περιεκτικότητα του νερού σε Na, κάτι το οποίο μπορεί να οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα ή σε βιομηχανικά απόβλητα, είτε ακόμα και σε διαρροές στραγγισμάτων, που εντοπίστηκαν, από την χωματερή των Ταγαράδων, στο ρέμα της Αγίας Παρασκευής και είναι ικανές να προκαλέσουν και την αύξηση των Νιτρικών ιόντων στο χημισμό του νερού. Πράγματι, από χημικές αναλύσεις, τα νιτρικά ιόντα του νερού της πηγής στη θέση Αγίασμα, εμφανίζονται αυξημένα (35 mg/L), γεγονός που αποδεικνύει ότι το υπόγειο νερό επηρεάζεται από τα επιφανειακά νερά. Συμπερασματικά, ενώ αρχικά η σύγκριση των δύο παραμέτρων, οδήγησε στο συμπέρασμα ότι πράγματι η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει την αγωγιμότητά του, τελικά φαίνεται ότι και στην περίπτωση της πηγής «Αγίασμα», η παράμετρος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, εξαρτάται και από τον δείκτη TDS, δηλαδή την περιεκτικότητα του νερού σε διαλυμένα άλατα, αλλά επηρεάζεται και από την ανθρώπινη δραστηριότητα, τα επιφανειακά νερά, λόγω του βάθους του γεωθερμικού υδροφορέα.



Σχήμα 5.13 Διάγραμμα σύγκρισης μεταβολής αγωγιμότητας - θερμοκρασίας στις θέσεις Βοσκίνα, Αγίασμα.

### 5.2.1 Ενεργός οξύτητα (pH)

Το pH είναι ένα μέτρο που δηλώνει πόσο βασικό ή όξινο είναι το νερό και καθορίζεται από τη συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου, σε αυτό. Οι τιμές που λαμβάνει αυτή η παράμετρος είναι από 0 έως 14. Κατά μέσο όρο, η φυσιολογική τιμή pH, για τα υπόγεια υδροφόρα συστήματα 6 - 8,5.

Η τιμή που λαμβάνει το pH, μαζί με τον έλεγχο άλλων παραμέτρων, καθορίζει τον προορισμό αξιοποίησης του νερού. Ένα δείγμα νερού με υψηλό pH, προκαλεί διαφοροποίηση στη γεύση του νερού, επίσης λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας του σε μεταλλικά στοιχεία, οδηγεί στην απόθεση αυτών σε σωλήνες και στη σταδιακή φθορά τους και τέλος, μειώνει την απολυμαντική ικανότητα των απορρυπαντικών/σαπουνιών. Από την άλλη, ένα δείγμα νερού με χαμηλό pH, είναι πιθανό να περιέχει αυξημένα επίπεδα τοξικών μετάλλων, έχει αυξημένη ικανότητα διάβρωσης, με αποτέλεσμα να διαβρώνει σωληνώσεις, να συμπαρασύρει μεταλλικά ιόντα και να καθιστά το νερό ακατάλληλο για πόση ή οικιακή χρήση.

Μερικοί από τους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν το pH του νερού, σε επιφανειακούς ή υπόγειους υδροφορείς είναι:

- Το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο ενσωματώνεται στο βρόχινο νερό μέσω της ατμόσφαιρας και όταν φτάσει στους υδροφορείς μπορεί να μετασχηματιστεί σε ανθρακικό οξύ. Οδηγεί στη μείωση του pH.
- Τα πετρώματα που περιβάλλουν τους υδροφόρους ορίζοντες. Σε μια θέση με οφιολιθικά πετρώματα, το  $pH > 7$ , ενώ αν υπάρχουν ασβεστολιθικά και αλλουβιακές αποθέσεις, τότε το  $pH < 7$
- Το νερό άρδευσης, που διεισδύει σε υπόγειο υδροφορέα ή εμπλουτίζει επιφανειακούς, το οποίο μπορεί να περιέχει φυτοφάρμακα, λιπάσματα, προκαλώντας μεταβολές στο χημισμό του
- Η μεταβολική δραστηριότητα υδρόβιων οργανισμών (φωτοσύνθεση, αναπνοή)

Συνεχίζοντας, θα παρατηρήσουμε τις μεταβολές του pH για τις δύο πηγές νερού στις θέσεις, Βοσκίνα και Αγίασμα. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ο τρόπος που αλληλεπιδρούν το pH με τις δύο προηγούμενες παραμέτρους, ώστε να τα συσχετίσουμε. Κατά βάση ισχύει ότι, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού το pH μειώνεται (Σχήμα 5.14, Σχήμα 5.16). Ωστόσο, μεταξύ του pH και της ηλεκτρικής

αγωγιμότητας, δεν υπάρχει κάποια αποδεδειγμένη σχέση που να τα συνδέει. Ορισμένοι υποστηρίζουν ότι όσο αυξάνει η ηλεκτρική αγωγιμότητα, επομένως και τα διαλυμένα άλατα στο νερό, μειώνεται το pH. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα μεταβολών του pH, σε σχέση με της θερμοκρασίας, της αγωγιμότητας και της παροχής, για κάθε πηγή νερού.



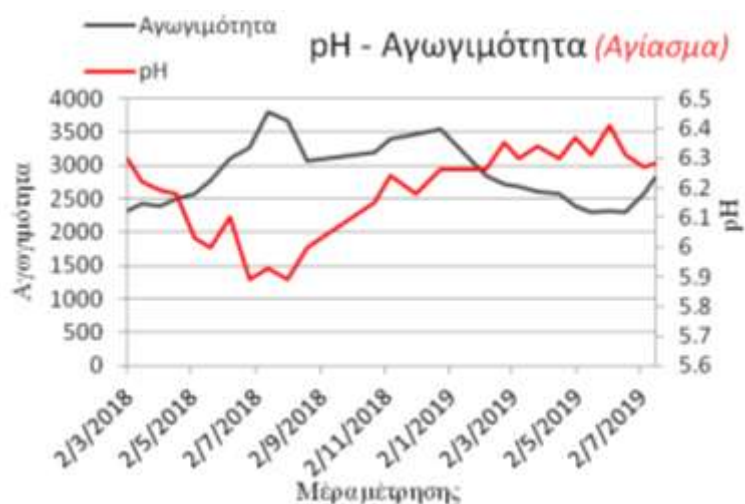
**Σχήμα 5.14** Διάγραμμα σύγκρισης μεταβολών Θερμοκρασίας – pH στη θέση Βοσκίνα.



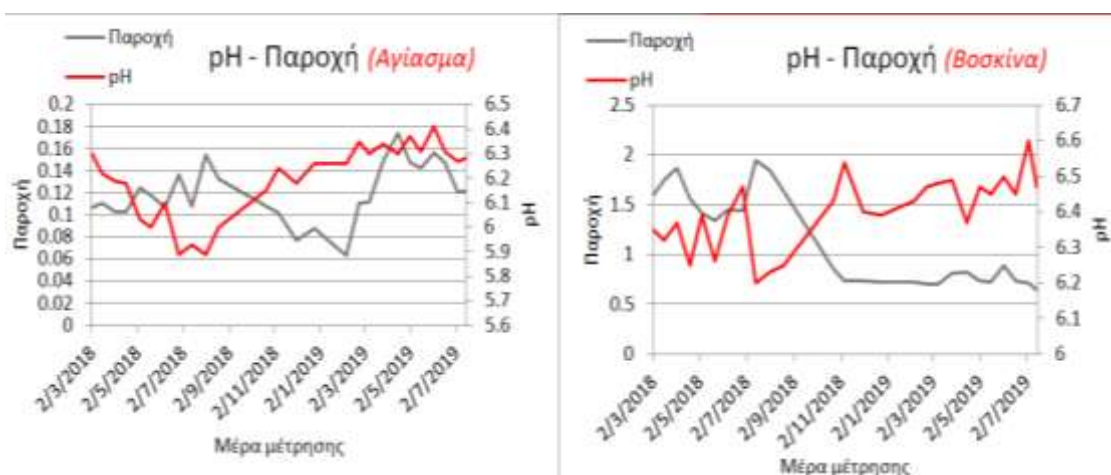
**Σχήμα 5.15** Διάγραμμα σύγκρισης μεταβολών Αγωγιμότητας – pH στη θέση Βοσκίνα.



Σχήμα 5.16 Διάγραμμα σύγκρισης μεταβολών Θερμοκρασίας – pH στη θέση Αγίασμα.



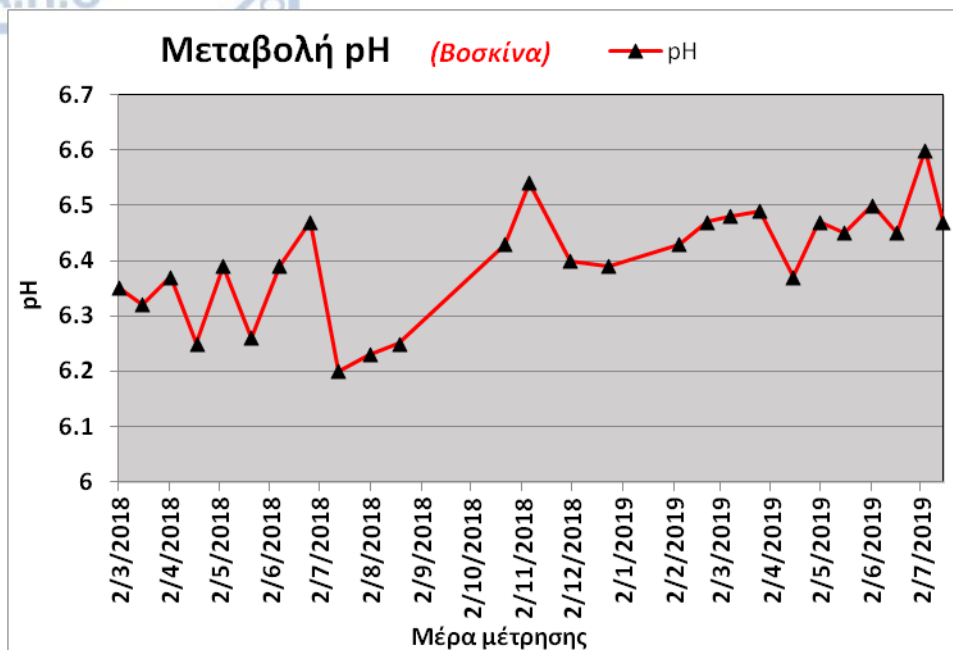
Σχήμα 5.17 Διάγραμμα σύγκρισης μεταβολών Αγωγιμότητας – pH στη θέση Αγίασμα.



Σχήμα 5.18 Διάγραμμα σύγκρισης μεταβολών pH - Παροχής στις θέσεις Αγίασμα , Βοσκίνα.

Παρατηρώντας τις μεταβολές της παροχής σε σχέση με το pH στο προηγούμενο σχήμα (5.18) , φαίνεται ότι η αύξηση της παροχής, μεταβάλλει κατά βάση την τιμή

του pH σε πιο όξινη και αντιστρόφως, η μείωση της παροχής, αυξάνει το pH, δηλαδή το νερό γίνεται βασικότερο.



Σχήμα 5.19 Διάγραμμα μεταβολής pH στη θέση Βοσκίνα

Πίνακας 5.9 Τιμές pH στη θέση Βοσκίνα

| ΒΟΣΚΙΝΑ | Μέγιστη τιμή | Ελάχιστη τιμή | Μέση τιμή |
|---------|--------------|---------------|-----------|
| pH      | 6,6          | 6,2           | 6,4       |

Οι τιμές που λαμβάνει το pH για το νερό της πηγής «Βοσκίνα», εκφράζουν τον όξινο χαρακτήρα του, καθώς είναι  $<7$ , καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Σύμφωνα με παλιότερες έρευνες που έχουν γίνει, για τον χημισμό του νερού, στη θέση αυτή, η περιεκτικότητα του σε  $\text{CO}_2$  είναι υψηλή ( $>300$  ppm). Η προσθήκη μικρής ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα στο νερό, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του pH. Ακόμα, εντοπίστηκαν ποσότητες αρσενικού ( $10,8 \text{ } \mu\text{g/L}$ ), το οποίο θεωρείται τοξικό, με αποτέλεσμα να μειώνει επίσης το pH του νερού. Η προέλευση του αρσενικού μπορεί να οφείλεται είτε στα γεωργικά φάρμακα, είτε στην ανάμιξη των γεωθερμικών ρευστών με τους ψυχρούς υδροφόρους ορίζοντες, στη θέση αυτή. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό, που δικαιολογεί την τιμή του  $\text{pH} < 7$ , είναι τα ασβεστολιθικά (τραβερτίνης) πετρώματα που εμφανίζονται στη θέση της πηγής. Το Ca, αποτελεί στοιχείο του δείκτη TDS. Όταν αυξάνεται η ικανότητα του νερού να αποσπάει χημικά στοιχεία και ορυκτά από τα πετρώματα που περιβάλλουν τον υδροφορέα, τότε η περιεκτικότητα σε Ca, άρα και σε διαλυμένα άλατα – TDS, στο νερό, αυξάνεται. Όσο

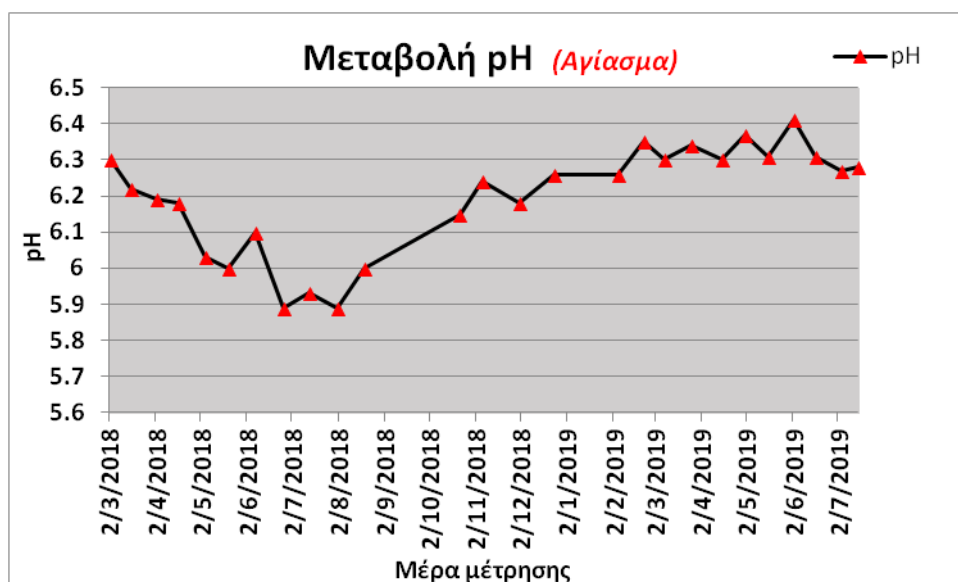


μεγαλύτερη η τιμή του TDS, τόσο πιο όξινο το νερό, σύμφωνα με τον άτυπο κανόνα της σχέσης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και του pH. Πράγματι, αυτό αποδεικνύεται, από παλιότερα αποτελέσματα χημικών αναλύσεων του νερού της πηγής (Π1) και άλλων θέσεων. Στον πίνακα 5.9, βλέπουμε ότι με την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των διαλυμένων αλάτων – TDS (Ca, Na, Cl, HCO<sub>3</sub>), το pH μειώνεται. Κλείνοντας, συγκρίνοντας τις μεταβολές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH (Σχήμα 5.15), του νερού, αυτής της πηγής, παρατηρείται πως σε ορισμένες περιπτώσεις, πράγματι με την μείωση της αγωγιμότητας, επέρχεται αύξηση του pH και αντίστροφα, αλλά διακρίνουμε και μετρήσεις που εμφανίζουν ανωμαλία. Η πιο πιθανή αιτιολόγηση, για το φαινόμενο αυτό, είναι λόγω της επίδρασης των γεωθερμικών ρευστών στον ψυχρό υπόγειο υδροφορέα και της ανάμιξης αυτών των δύο.

**Πίνακας 5.10** Χημική ανάλυση νερού, Μάιος 2010. (Καζάκης, 2013)

Π1 πηγή Βοσκίνα.

| A/A | pH               | EC(μS/cm) | T               | TDS             | Ca   | Mg  | Na   | K  |
|-----|------------------|-----------|-----------------|-----------------|------|-----|------|----|
| Π1  | 6,4              | 2280      | 20.2            | 1415            | 218  | 30  | 154  | 6  |
| A/A | HCO <sub>3</sub> | Cl        | SO <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> | As   | Cr  | Mn   | Fe |
| Π1  | 565              | 276       | 56              | 8               | 10.8 | <10 | 95.6 | 25 |



**Σχήμα 5.20** Διάγραμμα μεταβολής pH στη θέση Αγίασμα.

**Πίνακας 5.11** Τιμές pH θέσης Αγίασμα.

| ΑΓΙΑΣΜΑ | Μέγιστη τιμή | Ελάχιστη τιμή | Μέση τιμή   |
|---------|--------------|---------------|-------------|
| pH      | <b>6,41</b>  | <b>5,89</b>   | <b>6,19</b> |



Στην περίπτωση της πηγής «Αγίασμα», το νερό, σύμφωνα με τις τιμές pH που λαμβάνει, εμφανίζει επίσης όξινο χαρακτήρα, αλλά είναι ελαφρά πιο επιβαρυνμένο, σε σχέση με αυτό στη «Βοσκίνα», αφού η ελάχιστη τιμή του pH είναι ίση με 5,89.

Συγκρίνοντας, τα διαγράμματα ηλεκτρικής αγωγιμότητας και pH, παρατηρείται ότι οι μεταβολές των παραμέτρων είναι πράγματι κατά βάση αντιστρόφως ανάλογες (Σχήμα 5.17). Η πηγή αυτή, αποτελείται αποκλειστικά από θερμό νερό, επηρεασμένο δηλαδή από γεωθερμικό ρευστό, με αποτέλεσμα οι τιμές του Cl, Na, καθώς και του As να είναι αυξημένες. Επιπλέον, σύμφωνα με άλλες μελέτες, αυξημένες είναι και οι ποσότητες των νιτρικών ιόντων (34,8 mg/L). Τα νιτρικά ιόντα προέρχονται πιθανότατα από την έκπλυση γεωργικών αζωτούχων λιπασμάτων, κατά την άρδευση και τη διείσδυση αυτών, στους υπόγειους υδροφορείς, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητάς τους. Ο όξινος χαρακτήρας του νερού, στη θέση της πηγής Αγίασμα, ενδέχεται να οφείλεται κατά ένα μέρος και στις διαρροές στραγγισμάτων, από την χωματερή που είχε λειτουργήσει στην περιοχή των Ταγαράδων. Τέλος, όπως προαναφέρθηκε και στην περίπτωση της Βοσκίνας, σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του νερού, επομένως στο pH του, διαδραματίζει και η παρουσία ασβεστολιθικών πετρωμάτων, τα οποία αντιδρούν με την κατείσδυση νερού, πλούσιο σε CO<sub>2</sub> και έτσι ελευθερώνονται κατιόντα Ca.

### 5.3 Οπτικές μεταβολές νερού στις πηγές

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων που λήφθηκαν, στις πηγές νερού, εκτός από τις φυσικοχημικές μεταβολές στην ποιότητα του νερού, παρατηρήθηκαν και αλλαγές στο χρώμα του νερού. Παρακάτω παρατίθενται οι μεταβολές αυτές, σε εικόνες.



Σχήμα 5. 21 Οπτικές παρατηρήσεις στο νερό της πηγής «Αγίασμα».

Όπως είναι εμφανές, στην 3<sup>η</sup> περίπτωση η ιδιότητα της θολότητας του νερού (διάφανο), του χρώματος (άχρωμο) αλλά και γενικότερα η οπτική του κατάσταση, μπορεί να χαρακτηριστεί ως καλή – φυσιολογική. Αυτή η κατάσταση του νερού, παρατηρείται κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες από Δεκέμβρη έως αρχές Φεβρουαρίου. Αντίθετα, στην 2<sup>η</sup> περίπτωση, το νερό δημιουργεί μια εικόνα σαν «καθρέφτη», επομένως μεταβάλλεται η ιδιότητα της θολότητας του και του χρώματος. Αυτό το φαινόμενο είναι πιθανό να οφείλεται στην απόρριψη ελαίων (απόβλητα ελαιουργείων) στο νερό, επομένως προέρχεται από ανθρώπινη δραστηριότητα. Η εμφάνιση αυτού του φαινομένου, έγινε στα τέλη του Φεβρουαρίου, καθώς και του Ιουνίου 2019, όπως φαίνεται στις εικόνες του παραρτήματος. Τέλος, η 1<sup>η</sup> περίπτωση, όπου εμφανίζεται συγκέντρωση χλωρίδας στο νερό, η οποία πιθανώς οφείλεται σε χημικές αντιδράσεις, εμφανίζεται συνήθως μετά από την απόρριψη ελαίων, δηλαδή την περίπτωση 2, κατά τη διάρκεια του Μαρτίου έως και τον Ιούλιο, εκτός από τον Ιούνιο, όπου εμφανίζεται ξανά το φαινόμενο του «καθρέφτη» στο νερό. Επομένως, είναι πιθανό, η απόρριψη των ελαίων από ανθρώπινη δραστηριότητα, να διευκολύνουν τη δημιουργία και συσσώρευση χλωρίδας, σε αυτό.



**Σχήμα 5.22** Οπτικές παρατηρήσεις στο νερό της πηγής «Βοσκίνα».

Αντίθετα, στην πηγή «Βοσκίνα», κατά τους χειμερινούς μήνες Δεκέμβρη έως Φεβρουάριο, παρατηρείται συσσώρευση χλωρίδας στη θέση όπου συγκεντρώνεται το νερό που εκτονώνεται από τον υδροφορέα. Αυτό φαίνεται στις φωτογραφίες του παραρτήματος για τους αντίστοιχους μήνες. Τέλος, κατά τη διάρκεια των υπόλοιπων μηνών το νερό εμφανίζει φυσιολογική κατάσταση, με ελάχιστες συγκεντρώσεις χλωρίδας.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρούσα διπλωματική εργασία, προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

Οι πηγές επηρεάζονται ποσοτικά από εποχικές κλιματικές μεταβολές, δηλαδή μεταβολές της βροχόπτωσης. Ωστόσο, η πηγή στη θέση της «Βοσκίνας», εμφανίζει λιγότερο άμεση επιρροή, σε σχέση με την πηγή στη θέση «Αγίασμα». Δηλαδή, ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της αύξησης του ύψους βροχόπτωσης και της αύξησης παροχής νερού, είναι μεγαλύτερος (μεγαλύτερη υστέρηση) για τη θέση «Βοσκίνα», από τη θέση «Αγίασμα».

Η θερμοκρασία του νερού στις πηγές επηρεάζεται από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων του υδροφορέα, συνεπώς από τη θερμοκρασία του εδάφους, την πιθανή ανάμιξη ψυχρού νερού με γεωθερμικά ρευστά, την υγρασία του εδάφους και τέλος, το βάθος του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα από την επιφάνεια.

Η θερμοκρασία του νερού, δεν εμφανίζεται ανάλογη της ηλεκτρικής αγωγιμότητάς του.

Το νερό των πηγών εμφανίζει  $pH < 7$  (όξινος χαρακτήρας).

Η ποιοτική παρακολούθηση και προστασία του υπόγειου υδροφορέα, ο οποίος εκτονώνεται στη θέση Αγίασμα, κρίνεται απαραίτητη, αφού εντοπίστηκαν επεισόδια ρύπανσης, στο διάστημα της παρακολούθησης, κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Προτείνεται η συνεχής παρακολούθηση των ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων των δύο πηγών, καθώς η υδρογεωλογική συμπεριφορά τους μπορεί να συνεισφέρει στην προστασία των υδατικών πόρων στη λεκάνη του Ανθεμούντα.

Αγγελίδης Ζ., Μανασής Μ., Γαβριηλίδης Γ., Καραμήτσιος Ν., 2000, *Μελέτη ανακήρυξης ως ιαματικής πηγής «Βόσκινα» Δήμου Βασιλικών Θεσσαλονίκης*.

Αντωνόπουλος Β., 2008, *Ποιότητα Νερού και Ρύπανση Υδατικών Πόρων*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σελ. 4-5.

Βαλκανιώτης Σ., Ζερβοπούλου Α., Γκανάς Α. και Παυλίδης Σ., 2005, *Πολεοδομική επέκταση των Μητροπόλεων και αύξηση της Σεισμικής Επικινδυνότητας: Τα παραδείγματα της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Πρακτικά Επιστημονικού Συνεδρίου, σελ. 9-15.

Βουδούρης Κ., 2009, *Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος, Υπόγεια Νερά και Περιβάλλον*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Ζερβοπούλου Α., Παυλίδης Σ., 2005, *Μορφοτεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής Θεσ/νίκης για τη χαρτογράφηση νεοτεκτονικών ρηγμάτων*, Αθήνα, τομ. XXXVIII. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, σελ. 30-37.

Καζάκης Ν., Βουδούρης Κ., Τζόλλας Ν., Παύλου Α., Σωτηριάδης Μ. και Καντηράνης Ν., 2015. Ποιοτικά χαρακτηριστικά του υπογείου νερού στη λεκάνη του Ανθεμούντα, Βόρεια Ελλάδα. *Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Γεωλογίας, Ειδικός Τόμος 103*, σελ. 17-20

Καζάκης Ν., 2013, *Εκτίμηση της διακινδύνευσης εσωτερικής ρύπανσης των υπογείων νερών, Εφαρμογή στη λεκάνη του Ανθεμούντα*, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ

Καλεράντες Δ, 2010, Πτυχιακή Εργασία, *Παράμετροι ποιότητας νερού και δείκτες ρύπανσης*, Επιβλέπουσα Καθηγ. Νικολάου, Ν., Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη, Σελ. 9-50.

Μουντράκης Δ., 2010, *Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας*, University Studio Press A.E., σελ. 62 - 80

Σουρωτή Α.Ε., 2009, *Υδρογεωλογική-Γεωλογική Μελέτη για την αναγνώριση του νερού της γεώτρησης Γ1 της Σουρωτής του Δήμου Βασιλικών Ν. Θεσσαλονίκης, ως ιαματικού*, Θεσσαλονίκη, Σελ. 22-26, 54-55.



Τσιώκος Α., 2007, Μεταπτυχιακή Εργασία, *Γεωλογική και Μορφοτεκτονική μελέτη του ρήγματος Περαιάς Δήμου Θερμαϊκού, Νομού Θεσσαλονίκης*, Επιβλέπων Καθηγ. Ζούρος Ν., Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.

Φίκος Η., 2010, Διδακτορική Διατριβή, *Αντιστροφή γεωηλεκτρικών τομογραφικών Δεδομένων: Εφαρμογή στη λεκάνη Ανθεμούντα*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Φίκος Η., Ζιάνκας Γ., Καλαϊτζίδης Α., Φάμελλος Σ., Πίττας Α., Ριζοπούλου Α., 2005, *Ορθολογική Αξιοποίηση Υδατικού Δυναμικού Λεκάνης Ανθεμούντα*, 5<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο Ελληνικής Επιτροπής Διαχείρισης Υδάτων.

Φίκος Η., Ζιάνκας Γ., Παυλίδου Ε., Φάμελλος Σ., 2005, *Ολοκληρωμένη Διαχείριση υδατικού δυναμικού λεκάνης Ανθεμούντα*, Αναπτυξιακή Ανατολικής Θεσσαλονίκης «ANATOLIKH A.E.», 2ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονίας, Θεσ/νίκη.

#### Ξένη Βιβλιογραφία

Al-Kayssi A.W., Al-Karaghoul A.A., Hasson A.M., Beker S.A., 1990, *Influence of soil moisture content on soil temperature and heat storage under greenhouse conditions*, J. agric engng res.

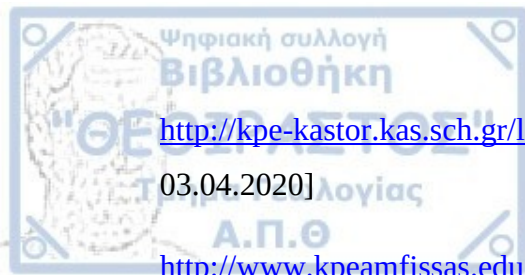
Gwadera M., Larwa B. and Kupiec K., 2017, *Article Undisturbed Ground Temperature-Different Methods of Determination*, Faculty of Chemical Engineering and Technology, Cracow University of Technology, Πολωνία.

Kazakis N., Voudouris K., Vargemezis G. and Pavlou A., 2013, *Hydrogeological Regime and Groundwater Occurrence in the Anthemountas River Basin, Northern Greece*, Aristotle University of Thessaloniki.

#### Διαδικτυακές Πηγές

Σχέδιο Στρατηγικού Σχεδιασμού Δήμου Θέρμης 2011-2014, 2009, [http://www.thermi.gov.gr/info/wp-content/2009/01/EP-Thermis\\_A-fasi\\_SYNOPSIS-Diavoulefsis.pdf](http://www.thermi.gov.gr/info/wp-content/2009/01/EP-Thermis_A-fasi_SYNOPSIS-Diavoulefsis.pdf) [Ανακτήθηκε την 21.04.2020]

AGU Advancing Earth and Space Science, 2004 <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2003WR002905> [Ανακτήθηκε την 27.03.2020]



<http://kpe-kastor.kas.sch.gr/limnology/limnology/acidity.htm>

[Ανακτήθηκε την

03.04.2020]

[http://www.kpeamfissas.edu.gr/wp-content/uploads/2016/04/Thermokrasia\\_ThermikiRypansiNerou3.pdf](http://www.kpeamfissas.edu.gr/wp-content/uploads/2016/04/Thermokrasia_ThermikiRypansiNerou3.pdf)

[Ανακτήθηκε

την 21.04.2020)

NRDC, 2018, <https://www.nrdc.org/stories/water-pollution-everything-you-need-know> [Ανακτήθηκε την 08.04.2020]

SMART Fertilizer Management, <https://www.smart-fertilizer.com/articles/electrical-conductivity/> [Ανακτήθηκε την 27.03.2020]

USGS Science for a Changing World, 1965, [https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/ph-and-water?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/ph-and-water?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects) (**pH**) [Ανακτήθηκε την 29.03.2020]

USGS Science for a Changing World, 1965, [https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/temperature-and-water?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/temperature-and-water?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects) (θερμοκρασία) [Ανακτήθηκε την 30.03.2020]



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Α. Εικόνες από εργασία υπαίθρου.



**Σχήμα 1.1** Αγωγιμόμετρο για τη μέτρηση pH, θερμοκρασίας νερού και ηλεκτρικής αγωγιμότητας.



**Σχίμα 1.2** Αριστερά, όργανο μέτρησης παροχής πηγής «Αγίασμα», μπουκάλι χωρητικότητας 1,5 Lt. Δεξιά, όργανο μέτρησης παροχής πηγής «Βοσκίνα», ογκομετρικό βαρέλι χωρητικότητας 35 Lt.

**Β. Φωτογραφίες από τη θέση «Αγίασμα»**



**Σχήμα Β.1** Φωτογραφία 18/4/2018



**Σχήμα Β.2** Φωτογραφία 11/6/2018 || **Σχήμα Β.3** Φωτογραφία 12/2018 ||



**Σχήμα Β.4** Φωτογραφία 2/2/2019





**Σχήμα Β.5** Φωτογραφία  
22/2/2019



**Σχήμα Β.6** Φωτογραφία 3/2019



**Σχήμα Β.7** Φωτογραφία 4/2019



**Σχήμα Β.8** Φωτογραφία 5/2019



**Σχήμα Β.9** Φωτογραφία 6/2019



**Σχήμα Β.10** Φωτογραφία  
7/2019



Σχήμα Γ.1 Φωτογραφία 4/2018



Σχήμα Γ.2 Φωτογραφία 10/2018



Σχήμα Γ.3 Φωτογραφία 11/2018



Σχήμα Γ.4 Φωτογραφία 12/2018





Σχήμα Γ.5 Φωτογραφία 2/2019



Σχήμα Γ.6 Φωτογραφία 3/2019



Σχήμα Γ.7 Φωτογραφία 4/2019 ||



Σχήμα Γ.8 Φωτογραφία 5/2019