



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΕΠΙΣΤΗΜΗ &  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»**

**Διερεύνηση της προέλευσης της  
επιφανειακής απορροής της λεκάνης  
του Λυκορέματος Πεντέλης**

Δάφνος Α. Ιωάννης

Αθήνα, Οκτώβριος 2019

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ  
ΥΔΑΤΙΚΩΝ  
ΠΟΡΩΝ»**

Επιβλέπων Καθηγητής: Ανδρέας Καλλιώρας, Επικ.  
Καθ. Ε.Μ.Π.

## Πρόλογος

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Διασχολικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» του ΕΜΠ, υπό την επίβλεψη του κ. Α. Καλλιώρα, Επικ. Καθηγητή του τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π.

Η εν λόγω μεταπτυχιακή διατριβή πραγματεύεται τη διερεύνηση της προέλευσης της επιφανειακής απορροής της λεκάνης του Λυκορέματος Πεντέλης, ειδικότερα στο τμήμα ανάντη του καταρράκτη Βαλανάρη. Για την ολοκλήρωση της έρευνας έγινε συλλογή βιβλιογραφικών δεδομένων, από παλαιότερες μελέτες στη συγκεκριμένη περιοχή, ενώ πραγματοποιήθηκε γεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:5.000, με σκοπό την ανάλυση του υδρογεωλογικού εννοιολογικού μοντέλου της περιοχής έρευνας. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν συστηματικές δειγματοληψίες επιφανειακού νερού κατά μήκος του υδατορέματος για τον προσδιορισμό των χημικών και ισοτοπικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων. Παράλληλα εγκαταστάθηκε βροχοσυλλέκτης με στόχο τον προσδιορισμό των ισοτοπικών υπογραφών του μετεωρικού νερού σε όλη την έκταση της περιοχής έρευνας.

Η σύνθεση των παραπάνω, συμβάλλει στην ανάλυση και αποσαφήνιση του υδρολογικού και υδρογεωλογικού καθεστώτος της εν λόγω περιοχής, και κατά συνέπεια την ποσοτικό διαχωρισμό των επιφανειακών και υπόγειων νερών που συμβάλουν στην επιφανειακή απορροή της λεκάνης του Λυκορέματος.

## Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος.....	2
Κατάλογος Σχημάτων .....	4
Κατάλογος Πινάκων .....	6
Περίληψη.....	7
Abstract .....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή.....	11
1.1.    Καρστική υδρολογία.....	11
1.2.    Στοιχεία ισοτοπικής υδρολογίας .....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Γεωλογικές συνθήκες.....	20
2.1. Γεωλογική δομή – λιθοστρωματογραφική διάρθρωση.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Στοιχεία υδρογεωλογίας.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Υδροκλιματικές συνθήκες.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Υδρολογικές μετρήσεις .....	39
5.1. Υδατομετρήσεις.....	39
5.2. Χημικά χαρακτηριστικά δειγμάτων νερού.....	42
5.3. Ισοτοπικές αναλύσεις.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Συμπεράσματα-Συζήτηση .....	61
Βιβλιογραφία .....	62

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Χάρτης Σλοβενίας, η περιοχή του καρστ- Karst ( <a href="https://www.google.gr">https://www.google.gr</a> )...12	
Σχήμα 2. Ανθρακικά πετρώματα ( <a href="https://eastmediterranean.wordpress.com">https://eastmediterranean.wordpress.com</a> ) .....12	
Σχήμα 3. Δολίνη κατακρήμνιση ( <a href="http://geologikathemata.blogspot.com/2013/04/blog-post_19.html">http://geologikathemata.blogspot.com/2013/04/blog-post_19.html</a> ).....17	
Σχήμα 4. Πόλγη του Οροπεδίου Λασιθίου στα Όρη Δίκτης στην Κρήτη ( <a href="http://geologikathemata.blogspot.com/2013/04/blog-post_19.html">http://geologikathemata.blogspot.com/2013/04/blog-post_19.html</a> ).....17	
Σχήμα 5. Καταβόθρα στην Αμερική ( <a href="http://geologikathemata.blogspot.com/2013/04/blog-post_19.html">http://geologikathemata.blogspot.com/2013/04/blog-post_19.html</a> ).....17	
Σχήμα 7. Χάρτης της περιοχής μελέτης κλίμακας 1:30.000 [1. επαφή μαρμάρων – σχιστολίθου (μπλε σκούρο), 2. Τοποθεσία βροχοσυλλέκτη, 3. περιοχή μελέτης οριοθετημένη από τον υδροκρίτη (γαλάζιο)]. .....20	
Σχήμα 8. Στρωματογραφική στήλη ( <a href="https://docplayer.gr/46405624-Eisagogi-sti-geologia-tis-attikis-kai-tis-peloponnisoy-dr-skoyrtsos-emmanoyil.html">https://docplayer.gr/46405624-Eisagogi-sti-geologia-tis-attikis-kai-tis-peloponnisoy-dr-skoyrtsos-emmanoyil.html</a> ) .....21	
Σχήμα 9. Φύλλο Κηφισία, ΙΓΜΕ/2001.....22	
Σχήμα 10. Επαφή (κόκκινη γραμμή) Μαρμάρων (NA – ΒΔ παράταξης, πράσινη γραμμή) με σχιστόλιθο .....26	
Σχήμα 11. Συνθετική στρωματογραφική στήλη Περιοχής Έρευνας, ΙΓΜΕ/2001 .....26	
Σχήμα 12. Εμφάνιση μαρμάρων στο καταρράκτη .....27	
Σχήμα 13. Επαφή Μαρμάρου – Σχιστόλιθου (κλίμακα 1:20000) .....28	
Σχήμα 14. Επαφή Μαρμάρου – Σχιστόλιθου (κλίμακα 1:5000) με φωτογραφία του ρήγματος.....29	
Σχήμα 15. Επαφή Μαρμάρου – Σχιστόλιθου (κλίμακα 1:5000) με φωτογραφία του κέντρου από καπέλο ασβεστολίθου .....30	
Σχήμα 16. Ανω Κρητιδικά μάρμαρα στην περιοχή μελέτης.....32	
Σχήμα 17. Όγκος κροκαλοπαγών στην περιοχή μελέτης, λίγα μέτρα κατάντι του καταράκτη Βαλανάρη .....32	
Σχήμα 18. Σχιστόλιθος της περιοχής μελέτης με φακό μαρμάρου μέσα σε αυτόν. Το ανθρακικό υλικό πλήρωσε την ρωγμή του σχιστολίθου. ....33	
Σχήμα 18. Διακύμανση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας στο Σταθμού Πεντέλης (Ε.Α.Α.) για το έτος 2018.....34	
Σχήμα 19. Διακύμανση της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στο Σταθμού Πεντέλης (Ε.Α.Α.) για το έτος 2018.....35	
Σχήμα 20. Διακύμανση του ημερήσιου ύψους βροχής (mm) και μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (°C) στο Σταθμού Πεντέλης (Ε.Α.Α.) για τον Ιούλιο 2018.....36	
Σχήμα 21. Διακύμανση του ημερήσιου ύψους βροχής (mm) και μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (°C) στο Σταθμού Πεντέλης (Ε.Α.Α.) για το Σεπτέμβριο 2018. ....36	
Σχήμα 22. Διακύμανση του ημερήσιου ύψους βροχής (mm) και μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (°C) στο Σταθμού Πεντέλης (Ε.Α.Α.) για το Νοέμβριο 2018.....37	
Σχήμα 23. Διακύμανση του ημερήσιου ύψους βροχής (mm) και μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (°C) στο Σταθμού Πεντέλης (Ε.Α.Α.) για τον Ιανουάριο 2019. ....37	
Σχήμα 24. Χάρτης κλίμακας 1:10000, Θέση καταρράκτη (μαύρη κουκίδα) και βροχοσυλλέκτη (πράσινη κουκίδα) .....38	
Σχήμα 26. Χάρτης κλίμακας 1:5000 με τις θέσεις των μετρήσεων (ροζ κουκίδες), πάνω στο γενικό χάρτη της περιοχής μελέτης. ....40	

Σχήμα 28. Διακύμανση στάθμης (cm) για την περίοδο 7/2018-2/2019 σε κατάντη σημείο (Σταθμός Ντράφι, Η.Ο.Α. Ε.Μ.Π.).....	41
Σχήμα 29. Θέση εγκατεστημένου σταθμού του σε κατάντη σημείο (Σταθμός Ντράφι, Η.Ο.Α. Ε.Μ.Π.) .....	41
Σχήμα 30. Θέσεις δειγματοληψιών .....	44
Σχήμα 31. Σημείο Δ3 .....	45
Σχήμα 32. Σημείο Δ6 .....	45
Σχήμα 33. Παλαιοί νερόμυλοι .....	46
Σχήμα 34. Σημείο Δ2 .....	46
Σχήμα 35. Σημείο Δ2 .....	47
Σχήμα 36. Θέση Δ1.....	47
Σχήμα 37. Σημείο Δ1 .....	48
Σχήμα 38. Πολυπαραμετρικό όργανο επί τόπου ανάλυσης φυσικοχημικών χαρακτηριστικών νερού.....	49
Σχήμα 39. Φασματοφωτόμετρο επί τόπου ανάλυσης χημικών χαρακτηριστικών νερού.....	49
Σχήμα 40. Φλογοφωτόμετρο για μέτρηση συγκέντρωσης ιόντων $K^+$ και $Na^+$ .....	50
Σχήμα 46. Θέση δειγματοληψίας του σημείο Δ4 (κόκκινο βέλος), όπου παρατηρείται τροφοδοσία υπόγειου νερού .....	54
Σχήμα 47. Χάρτης με τα σημεία δειγματοληψίας Δ4 και Δ5. ....	55
Σχήμα 48. Δημιουργία διαγραμμάτων Piper με τη χρήση QGIS – FREEWAT - akvaGIS .....	55
Σχήμα 49. Διάγραμμα Durov με τη χρήση QGIS – FREEWAT - akvaGIS .....	56
Σχήμα 50. Διάγραμμα Piper με τη χρήση QGIS – FREEWAT - akvaGIS.....	57
Σχήμα 51. Ιστοπικές υπογραφές δειγμάτων νερού της περιοχής έρευνας.....	60

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Συγκεντρωτικά στοιχεία υδατομετρήσεων στην περιοχή έρευνας.....	39
Πίνακας 2. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων για τη δειγματοληψία Ιουλίου 2018. .....	51
Πίνακας 3. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων για τη δειγματοληψία Σεπτεμβρίου 2018. ....	51
Πίνακας 4. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων για τη δειγματοληψία Νοεμβρίου 2018. ....	52
Πίνακας 5. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων για τη δειγματοληψία Ιανουαρίου 2019. ....	52
Πίνακας 6. Συντεταγμένες για τις θέσεις των σημείων Δ1-Δ5 (Δ3 και Δ6 καταρράκτης). ....	53

## Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του διασχολικού μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» του ΕΜΠ. Διήρκησε από τον Ιούλιο του 2018 έως τον Σεπτέμβριο του 2019, υπό την επίβλεψη του κ. Α. Καλλιώρα, Επ. Καθηγητή του τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών.

Το αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής πραγματεύεται τη διερεύνηση της προέλευσης της επιφανειακής απορροής της λεκάνης του Λυκορέματος Πεντέλης, ειδικότερα στο τμήμα ανάντη του καταρράκτη Βαλανάρη. Το ρέμα του Λυκορέματος εμφανίζει συνθήκες μόνιμη ροή, τόσο κατά την υγρή όσο και κατά την ξηρή περίοδο, τουλάχιστον κατά το διάστημα εκτέλεσης της τρέχουσας έρευνας.

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, με αφορμή το παραπάνω γεγονός, έχει σαν σκοπό την διερεύνηση καθώς και την αποσαφήνιση του υδρολογικού και υδρογεωλογικού καθεστώτος της εν λόγω περιοχής, και κατά συνέπεια τον ποσοτικό διαχωρισμό των επιφανειακών και υπόγειων νερών που συμβάλουν στην επιφανειακή απορροή της λεκάνης του Λυκορέματος.

Για την πραγματοποίηση των παραπάνω, πραγματοποιήθηκε γεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:5.000 και συλλογή δειγμάτων νερού από το υδατόρεμα και από τον εγκαταστημένο βροχοσυλλέκτη. Παράλληλα διενεργήθηκε βιβλιογραφική έρευνα και σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα από τις παρατηρήσεις πεδίου αποσαφηνίστηκε το υδρολογικό και υδρογεωλογικό καθεστώς της εν λόγω περιοχής, και κατά συνέπεια ο διαχωρισμός των επιφανειακών και υπόγειων νερών που συμβάλουν στην επιφανειακή απορροή της λεκάνης του Λυκορέματος.

Τα κύρια προϊόντα της παρούσας διατριβής είναι ο γεωλογικός χάρτης σε κλίμακα 1:5000, ανάντη του καταρράκτη Βαλανάρη καθώς και οι χημικές και

ισοτοπικές αναλύσεις των δειγμάτων νερού που συλλέχθηκαν. Οι αναλύσεις αυτές μας επιβεβαιώνουν την τροφοδοσία υπόγειου νερού από τον γειτονικό ανθρακικό (Ανωκρητιδικά Μάρμαρα) καρστικοποιημένο ορεινό όγκο της Πεντέλης.

Η διατριβή διαρθρώνεται στις παρακάτω ενότητες:

– Εισαγωγή

Οι ενότητες είναι οι ακόλουθες:

- Καρστική υδρολογία
  - Βασικές αρχές
  - Τι είναι το Καρστ και που δημιουργείται
  - Κατηγορίες Καρστ
  - Υδρολογία ιχνηθετήσεων – Εφαρμογές στην καρστική υδρολογία
- Ισοτοπική υδρολογία
  - Εφαρμογές στις υδρολογικές επιστήμες
  - Σταθερά ισότοπα
- Αλληλεπίδραση υπόγειων-επιφανειακών νερών

– Γεωλογικές συνθήκες

– Υδρογεωλογικές συνθήκες

– Υδροκλιματικές συνθήκες

– Ανάλυση αποτελεσμάτων

- Υδρομετρήσεις
- Δειγματοληψίες - Χημικές αναλύσεις
- Ισοτοπικές αναλύσεις

– Συμπεράσματα-Συζήτηση



## **Abstract**

This postgraduate thesis was carried out as part of the interdisciplinary postgraduate program “Water Resources Science & Technology”. It was conducted between July 2018 and September 2019, under the supervision of Assistant Professor A. Kalioras, Section of Geological Sciences at the School of Mining and Metallurgical Engineering, National Technical University of Athens.

The scope of this postgraduate thesis was to investigate the origin of the surface runoff of Lycorema Penteli basin, particularly in the upstream section of the Balanaris Waterfall. The stream of Lycorema shows an almost permanent flow, during both the wet and dry period.

The present postgraduate thesis aims at investigating and clarifying the hydrological and hydrogeological status of the area in question, and thus the quantitative separation of surface and groundwater which contribute to the surface runoff of the basin of Lycorema.

To accomplish the above, a 1: 5,000 scale geological mapping was performed and samples were collected from the stream and from the installed rainwater collector. At the same time, a bibliographical investigation was carried out and the hydrological and hydrogeological status of the area was clarified in conjunction with the results of the field analyzes, and thus the quantitative separation of surface and groundwater contributing to the basin surface runoff of Lycorema.

The thesis is structured in the following sections:

– Introduction

The sub-sections are as follows:

- Karst hydrology
- Basic principles
- What is karst and where is created
- Categories of karst

- Tracking hydrology - Applications to karst hydrology
  - Isotopic hydrology
  - Applications in hydrological sciences
  - Isotope hydrology
  - Groundwater-surface interaction
- Geologic conditions
  - Hydrogeologic conditions
  - Hydrologic conditions
  - Analysis of results
    - Measurements of width and flow velocity
    - Sampling - Chemical analysis
    - Isotopic analyzes
  - Conclusions-Discussion

The main outcomes of this thesis are the 1:5,000 scale geological map upstream of the Balanaris waterfall as well as the chemical and isotopic measurements of the collected surface- and ground-water samples. Based on the aforementioned analyses, it was confirmed that groundwater from the surrounding karstified carbonate units (Anorthite Marbles) is a main source of surface runoff during dry period.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή

## 1.1. Καρστική υδρολογία

Ένας υγιής ασβεστολιθικός όγκος αποτελεί ένα σχεδόν αδιαπέρατο σχηματισμό, βάσει του πρωτογενούς πορώδους. Όμως σπάνιες είναι οι περιπτώσεις όπου ασβεστόλιθοι μετά τον σχηματισμό του στο θαλάσσιο χώρο και την ανάδυσή τους με τις διεργασίες της ορογένεσης παραμένουν τεκτονικά ανέπαφοι. Έτσι δημιουργούνται συστήματα διακλάσεων και ρηγμάτων στα οποία είναι δυνατόν να κατεισδύει το επιφανειακό νερό. Τα συστήματα αυτά συμβάλουν στην ανάπτυξη του λεγόμενου δευτερογενούς πορώδους του πετρώματος.

Υδρολογικά η κατεισδυτική ικανότητα των ασβεστόλιθων είναι εξαιρετικά μεγάλη. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να φτάσει και το 80% της συνολικής ποσότητας του νερού που προσπίπτει στην επιφάνεια. Το υπόγειο νερό απορρέει υπόγεια διαμέσου των υπόγειων αγωγών προς τη θάλασσα όπου αναβλύζει με τη μορφή υποθαλάσσιων πηγών ή προς στις γύρω πλαγιές με τη μορφή καρστικών πηγών.

Οι ταχύτητες των υπόγειων νερών κυμαίνονται από μερικά δεκάδες έως μερικά εκατοντάδες μέτρα την ώρα.

Ο χρόνος που χρειάζεται το νερό της βροχής να καταλήξει σε μια καρστική πηγή είναι πολλές φορές μόνο μερικές ώρες. Έτσι δεν είναι δυνατή η φυσική του διύλιση και ο φυσικός καθαρισμός του, με αποτέλεσμα τα νερά των καρστικών πηγών να είναι πολλές φορές μολυσμένα.

Ο όρος ΚΑΡΣΤ προέρχεται από την Ινδό- ευρωπαϊκή λέξη karra/gara που σημαίνει «το πετρώδες έδαφος, βράχος» (Gams 1973, 1991, 2003, Kranjc ,2001). Υπάρχει και η άποψη ότι είναι αποτέλεσμα της γλωσσικής εξέλιξης Kar(r)a – Kars – Kras (Ford & Williams, 2007), όπου Kras είναι μία περιοχή η οποία βρίσκεται στα σύνορα της Σλοβενίας με την Ιταλία και αποτελείται από ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθους). Στην περιοχή αυτή, ιστορικά, το έδαφος ήταν πετρώδες και άγονο, λόγω της καταστροφής των δασών της και της ανεξέλεγκτης υπερβόσκησης που είχαν οδηγήσει στην απώλεια μεγάλου μέρους του εδαφικού μανδύα στις δολίνες και στα σπήλαια (Gams,1993).



Σχήμα 1. Χάρτης Σλοβενίας, η περιοχή του καρστ- Karst (<https://www.google.gr>)

Γενικά, Καρστ είναι ο γεωμορφολογικός όρος, που περιγράφει έναν ιδιαίτερο τύπο επιφανειακής και υπόγειας μορφολογίας, ο οποίος προκύπτει από τη διαλυτική δράση του νερού σε ανθρακικά πετρώματα, όπως ο ασβεστόλιθος, το μάρμαρο, ο δολομίτης και εβαπορίτες (γύψος, ανυδρίτες).



Σχήμα 2. Ανθρακικά πετρώματα (<https://eastmediterranean.wordpress.com>)

Το κύριο χαρακτηριστικό, αυτών των πετρωμάτων, είναι η μεγάλη ικανότητα της χημικής διάβρωσης και αποσάθρωσης (χημικής και μηχανικής) καθώς και της δευτερογενούς περατότητας της μάζας τους σε σχέση με τα άλλα

πετρώματα. Αποτέλεσμα αυτών των διαδικασιών είναι το φαινόμενο της καρστικοποίησης.

### *Κατηγορίες Καρστ*

Το καρστ περιλαμβάνει ένα σύμπλεγμα επιφανειακών και υπόγειων καρστικών μορφών που εμφανίζουν ιδιαίτερα γεωμορφολογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα αυτές κατανέμονται ως εξής:

Επιφανειακές καρστικές μορφές:

- Μεγάλες Καρστικές Μορφές

- Δολίνες

- Ουβάλες

- Πόλγες

- Μικρές Καρστικές μορφές

- Κοιλώματα διάλυσης (Kamenitzas)

- Επιφανειακές Χύτρες (effluent runnels)

- Δαχτυλογλυφές (Rillenkarren)

- Αυλακοειδείς Γλυφές (Rinnenkarren)

- Μαιανδροειδείς Γλυφές (Meanderkarren)

- Γλυφές τοιχωμάτων (Wandkarren)

- Ίχνη βροχής (Rainpits)

- Υπόγειες καρστικές μορφές:

- Καταβόθρες

- Καρστικά φρέατα-Βάραθρα

- Σπήλαια

- Υπόγειοι Οχετοί

- Έγκοιλα

### *Δολίνες*

Οι δολίνες είναι μεγάλες μονάδες επιφανειακής καρστικής διάβρωσης από τα φρέατα. Η δολίνη είναι μία κλειστή κυκλική εκβάθυνση σε μία καρστική περιοχή. Η διάμετρος του κοιλώματος κυμαίνεται μεταξύ 20 και εκατοντάδων μέτρων, με βάθος από 2 έως 100m. Οι κλίσεις των τοιχωμάτων των δολινών χαρακτηρίζονται από ήπιες έως κατακόρυφες, ενώ τα χαμηλότερα σημεία τους

είναι συχνά κοντά στο κέντρο τους, ενώ μπορεί να είναι και κοντά στις πλευρές τους. Σύμφωνα με το Νικod (1976) οι δολίνες σε ασβεστόλιθο δεν πάνε σε μεγάλο βάθος, αλλά οι δολίνες, οι οποίες είναι κάτω από το έδαφος συνεχίζουν ακόμα και σήμερα να αναπτύσσονται. Η ταξινόμηση των δολινών μπορεί να γίνει με βάση την λιθολογία τους, όπως δολίνες ασβεστόλιθων, δολίνες γύψου κ.α., και με βάση τα γεωλογικά στρώματα και τον τεκτονισμό που επικρατεί στην συγκεκριμένη περιοχή, όπου εμφανίζεται η δολίνη. Έτσι μπορούν να διακριθούν σε *εγκατακρημνισιγενείς*, όταν προέρχονται από την κατάρρευση της οροφής ενός σπηλαίου και σε *χοανοειδείς* όταν προέρχονται από τη χημική διάλυση των πετρωμάτων. Στην πρώτη περίπτωση οι κλιτύες είναι απότομες και οι πυθμένες επίπεδοι. Το μεγαλύτερο ποσοστό των δολινών συνδέεται άμεσα με το υπόγειο καρστικό σύστημα. Πολλές δολίνες λειτουργούν ως σημεία εισόδου του νερού στη ζώνη κατείσδυσης, διοχετεύοντας το στο καρστικό υδροφορέα. Οι όροι δολίνη και καταβόθρα ουσιαστικά περιγράφουν τον ίδιο καρστικό σχηματισμό, ο πρώτος το επιφανειακό του τμήμα και ο δεύτερος το υπόγειο του.

### Ουβάλες

Οι ουβάλες αποτελούν την εξέλιξη των δολινών, δηλαδή η δημιουργία τους οφείλεται στην συνένωση δολινών, λόγω της συνεχούς διάβρωσης και διάλυσης του πετρώματος. Στη βάση μιας ουβάλας μπορεί να υπάρχει υπολειμματικό ασβεστολιθικό πέτρωμα, το οποίο προκύπτει λόγω της μείωσης του χάσματος που υπήρχε στις χωρισμένες δολίνες. Καθώς τα χωρίσματα των δολινών διαβρώνονται, μειώνεται το ύψος τους ενώ οι πυθμένες των διαφόρων δολινών, οι οποίοι έχουν ενωθεί, έχουν συνήθως κυματοειδές σχήμα. Το μήκος και το πλάτος των ουβαλών εκτείνεται από μερικές δεκάδες μέτρα μέχρι και χιλιόμετρα και συνήθως αποτελεί το μεταβατικό στάδιο ανάμεσα στις δολίνες και τις πόλγες.

### Πόλγες

Οι πόλγες, σύμφωνα με τον Gams, (1973) είναι μεγάλες κλειστές καρστικές λεκάνες με επίπεδο πυθμένα, με απότομες κλίσεις στις πλαγιές τους και με αποστράγγιση των επιφανειακών νερών. Περιβάλλονται από όρη και βρίσκονται σε διάφορα υψόμετρα, από πολύ κοντά στην επιφάνεια της

θάλασσας έως και πάνω από 1000 μέτρα. Οι πόλγες που βρίσκονται σε χαμηλά υψόμετρα κατακλύζονται συνήθως από νερά και μετατρέπονται σε λίμνες και έλη. Γενικά, οι πόλγες είναι επιμηκυσμένες και κλειστές ή ημίκλειστες καρστικές μορφές. Στον πυθμένα κάθε πόλγης, υπάρχει συγκέντρωση αργιλικού υλικού, το μήκος και το πλάτος της κυμαίνεται μεταξύ χιλιομέτρου και δεκάδων χιλιομέτρων, ενώ το βάθος μέχρι και εκατοντάδες μέτρα.

#### Επιφανειακές Χύτρες (Effluent Runnels)

Οι Επιφανειακές Χύτρες (Effluent Runnels) δημιουργούνται όταν στην επιφάνεια υπάρχει μία μικρή εκβάθυνση και στη συνέχεια πληρωθεί με βρόχινο νερό, το οποίο όμως μπορεί να υπερχειλίσει από το ένα περιθώριο του κοιλώματος, και έτσι να προκύψουν οι συγκεκριμένες καρστικές μορφές (εικόνα 6). Δημιουργείται σε δύο φάσεις, κατά την πρώτη λόγω της ύπαρξης βρόχινου νερού μέσα στο κοίλωμα, αρχίζει η διάβρωση των πλευρών του κοιλώματος και ακολουθεί η απογύμνωση του πετρώματος. Στη δεύτερη φάση το κοίλωμα διευρύνεται πλευρικά, στη βάση του κοιλώματος υπάρχουν πεσμένα τεμάχια, λόγω της διάβρωσης και οργανικό και εδαφικό υλικό, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν μικρές εγκοπές, συνοδευόμενες από την εκροή του νερού (Gines, et al.,2009). Στη συνέχεια, λόγω της εκροής του νερού, μειώνεται η πλευρά του κοιλώματος και έτσι διοχετεύεται έξω από το κοίλωμα, με αποτέλεσμα το σχηματισμό των επιφανειακών χύτρων (effluent runnels).

#### Δαχτυλογλυφές (Rillenkarren - Solution Flutes)

Τα Rillenkarren είναι μικρά ρηχά κανάλια, που δημιουργούνται άμεσα από την πρόσκρουση της σταγόνας του νερού της βροχόπτωσης, σε διαλυτά πετρώματα όπως είναι ο ασβεστόλιθος και σε επιφάνειες με μεγάλη κλίση (από 40ο μέχρι και 80ο ). Το μήκος τους εξαρτάται από την κλίση της επιφάνειας, που δημιουργούνται και συνήθως είναι 100 - 300mm, το πλάτος τους είναι 12 - 25mm και το βάθος τους είναι 2 – 6mm.

#### Αυλακοειδείς Γλυφές (Rinnenkarren - Solution Channels)

Τα rinnenkarren είναι οι γλυφές, οι οποίες έχουν σχήμα αυλακιών, με απότομα τοιχώματα και με επίπεδο πυθμένα στον οποίο συγκεντρώνεται το τρεχούμενο νερό. Η ύπαρξη μεγάλης ποσότητας νερού, έχει ως αποτέλεσμα την

μεγαλύτερη εκβάθυνση των rinnenkarren. Σπάνια δημιουργούνται κάτω από την εδαφική κάλυψη.

**Μαιανδρώδεις Γλυφές (Meanderkarren)** Οι μαιανδρώδεις γλυφές (Meanderkarren) είναι ένας ειδικός τύπος των rinnenkarren. Αποτελούν γλυφές με μορφή αυλακιών και το σχήμα τους είναι ελικοειδής. Όταν η ταχύτητα της ροής του νερού είναι χαμηλή, τότε αναπτύσσονται τα Meanderkarren (Ford & Williams, 1989).

**Τοιχώματα διάλυσης (Wandkarren)**

Τα Wandkarren (wall solutional runnels) δημιουργούνται σε επιφάνειες με κλίση εξαιτίας τη ροή του νερού. Είναι παράλληλα το ένα με το άλλο και έχουν ημικυκλική τομή (Bogli, 1960) Αναπτύσσονται σε κάθετα τοιχώματα (για παράδειγμα τα τοιχώματα ενός πηγαδιού). Επίσης, σε περιοχές που έχουν αναβαθμίδες, όπως τα περιθώρια της πόλγης ή της δολίνης.

**Ίχνη βροχής (Rainpits)**

Αυτές οι μορφές καρστικής διάλυσης αποτελούν μικρές κοιλότητες διαμέτρου μέχρι και 1cm και δημιουργούνται από σταγόνες βροχής οι οποίες δε ρέουν και διαλύουν τοπικά το πέτρωμα.

**Υπόγειες καρστικές μορφές**

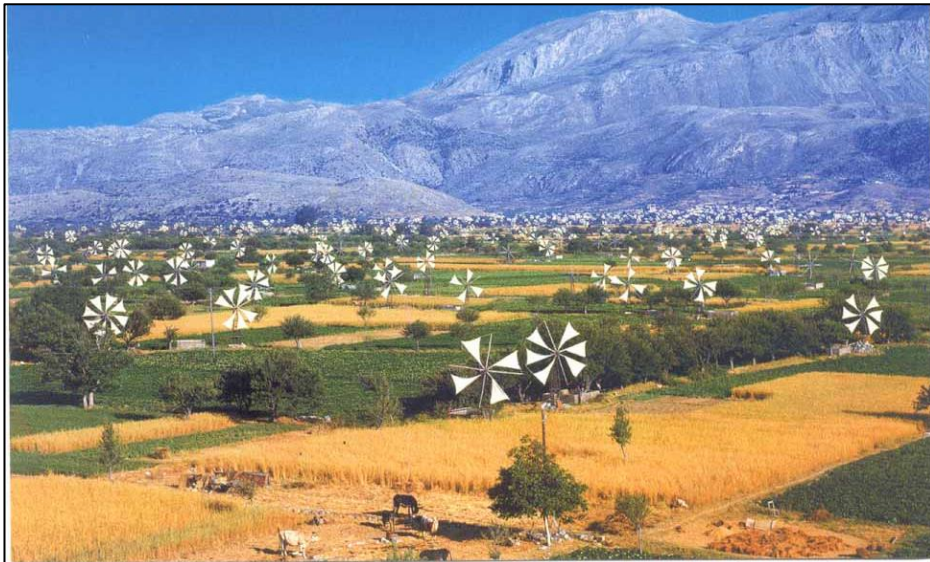
Οι υπόγειες καρστικές μορφές θεωρούνται το αποτέλεσμα της καρστικής διάλυσης. Πρόκειται για αγωγίμους από το καρστικό νερό χώρους, οι οποίοι διευρύνουν τις διαστάσεις τους όσο προχωράει η καρστική διάλυση. Βασική προϋπόθεση της ύπαρξης τους είναι η υπόγεια διάλυση να είναι ταχύτερη της επιφανειακής (Palmer, 2003). Οι αγωγοί, οι οποίοι βρίσκονται ακριβώς κάτω από τις δολίνες και απάγουν το νερό τους ονομάζονται *καταβόθρες*. *Η εξέλιξη τους οδηγεί σε μορφές που τις περισσότερες φορές δεν έχουν σχέση με κατεΐσδυση μεγάλων ποσοτήτων νερού και ονομάζονται καρστικά φρέατα – βάραθρα. Τα βάραθρα αποτελούν υποκατηγορία των σπηλαίων. Ως σπήλαιο ονομάζουμε το υπόγειο έγκοιλο στο οποίο έχει πρόσβαση ο άνθρωπος διαμέσου εισόδου – στομίου. Οι κενοί καρστικοί χώροι στους οποίους δεν έχει πρόσβαση ο άνθρωπος και αποτελούν μέρος του υπόγειου καρστικού*



συστήματος ονομάζονται *έγκοιλα*. Τα *έγκοιλα* μπορεί να είναι πληρωμένα με νερό ή *ιζήματα*.



Σχήμα 3. Δολίνη κατακρήμνισης ([http://geologikathemata.blogspot.com/2013/04/blog-post\\_19.html](http://geologikathemata.blogspot.com/2013/04/blog-post_19.html))



Σχήμα 4. Πόλη του Οροπεδίου Λασιθίου στα Όρη Δίκτης στην Κρήτη ([http://geologikathemata.blogspot.com/2013/04/blog-post\\_19.html](http://geologikathemata.blogspot.com/2013/04/blog-post_19.html))



Σχήμα 5. Καταβόθρα στην Αμερική ([http://geologikathemata.blogspot.com/2013/04/blog-post\\_19.html](http://geologikathemata.blogspot.com/2013/04/blog-post_19.html))

Τα νερά που συμμετέχουν στη διεργασία της καρστικοποίησης μπορούν να είναι μετεωρικά, θαλάσσια, από τις βαθιές ιζηματογενείς λεκάνες και από τα μαγματικά πετρώματα, καθώς και από ανάμιξη δύο ή περισσότερων ειδών νερού, με διαφορετικές αναλογίες. Η καρστική εξέλιξη, δηλαδή η εξέλιξη του καρστικού αναγλύφου, είναι αργή και συνεχόμενη που διαρκεί εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια, εξελισσόμενη σε μεγάλες επιφανειακές και υπόγειες εκτάσεις πολλών τετραγωνικών χιλιομέτρων. Στην ανάπτυξη των επιφανειακών και υπόγειων μορφών του καρστικού αναγλύφου εκτός από τη χημική διάλυση, την αποσάθρωση και την απογύμνωση, δεν μπορούμε να παραλείψουμε και τον ρόλο της λιθολογίας, της γεωλογικής δομής και των τεκτονικών μετακινήσεων, όπως επίσης και της υδρογεωλογίας, του κλίματος και της βλάστησης. Ο Huntson (1995) καθόρισε το καρστ ως εξής: Το σύστημα το καρστ, είναι ένα ενσωματωμένο σύστημα της μάζας των διαλυτών πετρωμάτων, που με την επίδραση του νερού που κυκλοφορεί στα ίδια τα ορυκτά, και με την διαλυτότητα και την περατότητα τους, διαμορφώνονται καρστικές μορφές των κατακλάσεων, ρηγματώσεων, αγωγών που διευκολύνουν την κυκλοφορία του νερού. Αυτός ο καθορισμός δεν απαιτεί τα πετρώματα να έχουν μια συγκεκριμένη λιθολογία, ούτε να υπάρχει μια συγκεκριμένη διαδικασία της διάλυσης τους. Το κυκλοφορούμενο υγρό δεν περιορίζεται μόνο στο νερό, αν και αυτό είναι το κυρίαρχο στοιχείο στο καρστ. Αυτός ο ορισμός είναι αρκετά ευρύς για να περιγράψει το σύστημα της κυκλοφορίας του νερού στις ελεύθερες και περιορισμένες γεωλογικές δομές, στις ρηχές και βαθιές επιφανειακές ή υπόγειες περιοχές του υποβάθρου (Klimchouk, Ford, 2000). Υπολογίζεται ότι τα καρστικά τοπία καταλαμβάνουν μέχρι 12% της επιφάνειας της γης, και ότι το 25% του παγκόσμιου πληθυσμού εκμεταλλεύεται και χρησιμοποιεί τα καρστικά νερά (κυρίως για την κάλυψη υδρευτικών αναγκών). Στην Ελλάδα το 33% του αναγλύφου της επιφάνειας καλύπτεται από ανθρακικά πετρώματα (Παπαδοπούλου, 2000). Λόγω της ευρύτατης εξάπλωσης αυτών των πετρωμάτων, η ανθρωπογενής δραστηριότητα και εκμετάλλευση των καρστικών περιοχών είναι σημαντική σε σχέση με τα πλούτη του καρστ, όπως είναι το νερό, ο ορυκτός πλούτος και η φυσική ομορφιά του, που είναι συνδεδεμένες με την ορυκτό- μεταλλευτική βιομηχανία, την κατασκευή των δρόμων, κτηρίων και των υπόγειων και άλλων δομών που στηρίζονται στα ασταθή τοπία του καρστ.

## 1.2. Στοιχεία ισοτοπικής υδρολογίας

Η χρήση τεχνητών ιχνηθετών ξεκίνησε στα συστήματα υπογείων υδάτων, για την άμεση ανίχνευση των υδραυλικών διασυνδέσεων. Αυτή περιορίζεται σε φρεάτια που είναι δεκάδες σε απόσταση μεταξύ τους, ενώ στα καρστικά συστήματα μπορεί να φτάσει σε λίγα χιλιόμετρα. Για πειράματα μεγάλης κλίμακας χρειάζονται τεράστιες ποσότητες ιχνηθετών, γεγονός που κάνει την χρήση τους δαπανηρή, ενώ σπάνια είναι εξουσιοδοτημένη από τις τοπικές αρχές.

Γενικότερα, γίνεται χρήση περιβαλλοντικών ισοτοπικών ιχνηθετών για την παρατήρηση τόσο της επιφανειακής όσο και της υπόγεια ροής. Τα σταθερά ισότοπα υδρογόνου, οξυγόνου και τριτίου είναι καλοί ιχνηθέτες για την κατανόηση των υδρολογικών συστημάτων.

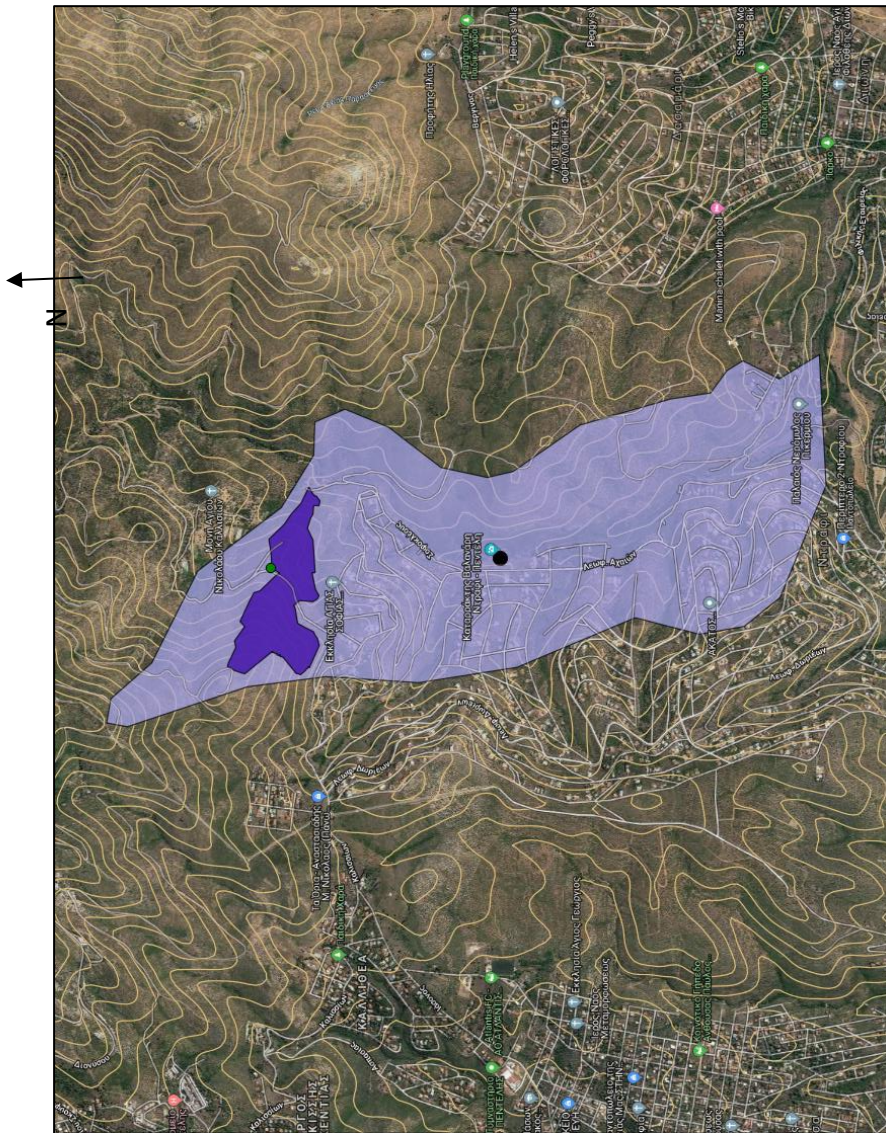
Κατά την διαδικασία βροχόπτωσης-απορροής, η δημιουργία ροής είναι βασική συνιστώσα του υδρολογικού κύκλου, και τα σταθερά ισότοπα όπως το δευτέριο και το οξυγόνο <sup>18</sup> υπήρξαν αποτελεσματικοί ιχνηθέτες για την αποσαφήνιση της πηγής και της σύστασης του νερού απορροής κατά τη διάρκεια των καταιγίδων. Είναι γνωστό ότι η ισοτοπική σύνθεση των βροχοπτώσεων ποικίλλει από την καταιγίδα σε καταιγίδα σε μια δεδομένη περιοχή, συνεπώς οι βροχοπτώσεις σε οποιαδήποτε από τις καταιγίδες μπορεί να διαφέρουν ισοτοπικά από τα υπόγεια ύδατα που αποθηκεύονται στη λεκάνη απορροής πριν την καταιγίδα. Σταθερά ισότοπα υδρογόνου και οξυγόνου και τριτίου έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση της κυκλοφορίας του νερού σε διάφορες κλίμακες σε χρόνο και χώρο.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Γεωλογικές συνθήκες

Η περιοχή μελέτης τοποθετείται στην Ανατολική πλευρά του όρους Πεντέλη του νομού Αττικής, στην περιοχή του Ντράφι. Η λεκάνη ανήκει διοικητικά στις κοινότητες Πικερμίου και Παλαιάς Πεντέλης.

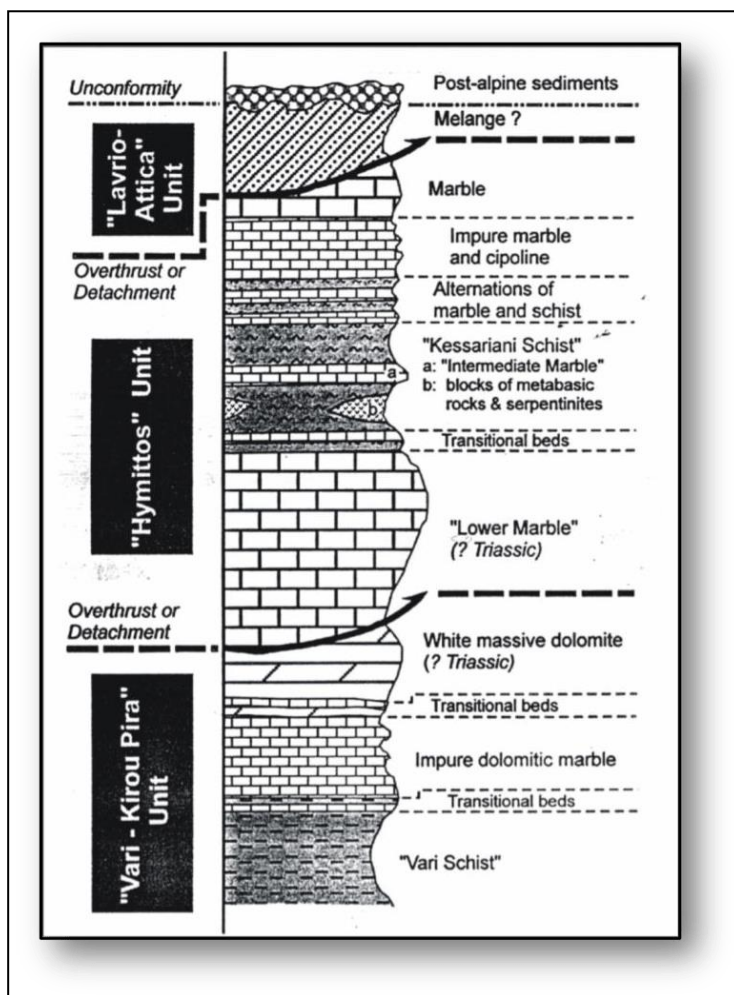
Η πειραματική λεκάνη απορροής (χείμαρρος Λυκόρεμα) έχει έκταση 3,4Κm<sup>2</sup> και περίμετρο 9Κm. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της γεωμορφολογίας της λεκάνης είναι το έντονο ανάγλυφο και οι μεγάλες κλίσεις. Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης είναι πυκνό και περιλαμβάνει κλάδους έως και πέμπτης τάξεως σύμφωνα με τη μέθοδο Strahler (1952).



Σχήμα 6. Χάρτης της περιοχής μελέτης κλίμακας 1:30.000 [1. επαφή μαρμάρων – σχιστολιθίου (μπλε σκούρο), 2. Τοποθεσία βροχοσυλλέκτη, 3. περιοχή μελέτης οριοθετημένη από τον υδροκρίτη (γαλάζιο)].

Η περιοχή μελέτης αποτελείται από πετρώματα, τα οποία αντιπροσωπεύονται από μάρμαρα, δολομίτες, σχιστόλιθους και κροκαλοπαγή του φλύσχη ηλικίας Άνω Παλαιοζωικού – Παλαιογενούς. Οι λιθολογικοί σχηματισμοί έχουν υποστεί την επίδραση τεκτονικών κινήσεων.

Γενικότερα αποτελεί τμήμα της Αττικοκυκλαδικής μάζας. Χαρακτηριστικό είναι ότι τα μάρμαρα της περιοχής έχουν ελαφρύ σκουροτεφρο χρώμα και είναι έντονα καρστικοποιημένα.



Σχήμα 7. Στρωματογραφική στήλη (<https://docplayer.gr/46405624-Eisagogi-sti-geologia-tis-attikis-kai-tis-peloponnisoy-dr-skoyrtsos-emmanoyil.html>)

## 2.1. Γεωλογική δομή – λιθοστρωματογραφική διάρθρωση

Η περιοχή μελέτης γενικότερα εντάσσεται στην γεωλογική ενότητα της Αττικοκυκλαδικής Μάζας, σύμφωνα με το **Φύλλο «Κηφισιά»**, ΙΓΜΕ/2001.

Η στρωματογραφική ακολουθία από του νεότερους προς τους παλαιότερους σχηματισμούς, είναι η ακόλουθη:







### **2.1.1. Σχηματισμοί Νεογενούς – Ανώτερου Μειοκαίνου**

Πρόκειται για ανδρομερείς ποτάμιους και λιμναίους σχηματισμούς των παρυφών της Πάρνηθας και του Πεντελικού όρους. Κυρίως είναι παλαιοί (Άνω – Μειώκαινου) σχηματισμοί δέλτα, ριπιδίων και κώνοι κορημάτων. Στις περιοχές που γειτνιάζουν με τους ορεινούς όγκους της Πάρνηθας και του Πεντελικού, είναι λατυπτοπαγείς και κροκαλολατυπτοπαγείς σχηματισμοί, που εναλλάσσονται με πιο λεπτομερείς σχηματισμούς σε περιοχές που είναι απομακρυσμένες από αυτούς τους ορεινούς όγκους. Κατά θέσεις παρεμβάλλονται ερυθροί πυλοί και μαργαϊκά υλικά καθώς και ενστρώσεις μαργαϊκών και τραβερτινοειδών ασβεστολίθων.

### **2.1.2. Αυτόχθονη Ενότητα Αλμυροποτάμου – Αττικής**

Πρόκειται για μια σειρά από μάρμαρα Μεσοζωικής και Μέσο – Ηωκαινικής ηλικίας, που παρουσιάζουν μεγάλο πάχος. Αυτά συνοδεύονται από σχηματισμούς μεταφλύσχη, από μεταμορφωμένους σχηματισμούς Κάτω και Μέσω – Τριαδικής ηλικίας και πιθανόν από σχηματισμούς Νέο – Παλαιοζωικής ηλικίας. Σχηματισμοί αυτής της εν λόγω Ενότητας απαντώνται στη νότια Εύβοια (Αλμυροπόταμος) και στην Αττική.

Η ενότητα Αλμυροποτάμου συνίσταται από μια παχιά (~ 2000 m) ακολουθία ανθρακικών ιζημάτων πλατφόρμας, μεσοζωικής - καινοζωικής ηλικίας που έχουν μεταμορφωθεί σε μάρμαρα. Υπερκείμενα αυτών βρίσκεται μια παχιά ακολουθία (~1500m) μεταχαλαζιτών και μεταπηλιτών με μερικούς οριζοντες μαρμάρων, που θεωρείται σαν μεταφλύσχη. Ρουδιστές και νουμουλιτικό hardground που έχει βρεθεί στην οροφή της ακολουθίας των μαρμάρων δείχνουν ότι η ιζηματογένεση στην ανθρακική πλατφόρμα διήρκεσε τουλάχιστον μέχρι το μέσο Ηώκαινο (Υπρέσσιο - Λουτήτιο). Τα πρόσφατα ευρήματα (Shaked et al, 2000) υπολειμμάτων γλαυκοφανή και φενγκιτών πλούσιων σε πυρίτιο κυρίως στην ενότητα του μεταφλύσχη, δείχνουν ότι η μεταμορφική βαθμίδα σε αυτήν την ενότητα έχει φτάσει σε συνθήκες γλαυκοφανιτικής φάσης (8 - 10 kbar /~350°C). Βασιζόμενοι σε χρονοστρωματογραφικά κριτήρια πολλοί συγγραφείς επισημαίνουν ότι το μεταμορφικό γεγονός έχει ολιγοκαινική ηλικία, ωστόσο σύγχρονες εργασίες (Ring and Reischmann,2002) χρησιμοποιώντας την μέθοδο Rb/Sr σε

φενγκιτικούς μοσχοβίτες από την ενότητα του μεταφλύσχη δείχνουν ότι η ηλικία του μεταμορφικού γεγονότος είναι 23 Ma (κάτω μειόκαινο). Οι Brocker et al αντίθετα υποστηρίζουν ότι το μεταμορφικό επεισόδιο υψηλών πιέσεων είναι προ – μειοκαινικό, και κάτω μειοκαινικό το γεγονός σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής φάσης, επιβεβαιώνοντας τις χρονοστρωματογραφικές ερμηνείες που προτείνουν ότι το επεισόδιο υψηλών πιέσεων συνέβη το Άνω Ηώκαινο – Ολιγόκαινο (Avigad et al, 1997). Από παλαιογεωγραφική σκοπιά και με βάση την ιζηματογενή ιστορία της η ενότητα του Αλμυροποτάμου είναι συγκρίσιμη με την παρα - αυτόχθονη ενότητα Ολύμπου - Όσας που υπόκειται κάτω τριτογενών μεταμορφωμένων πετρωμάτων (HP/LT) στην περιοχή του Ολύμπου (Βόρεια Ελλάδα).

Η στρωματογραφία της Ενότητας Αλμυροποτάμου- Αττικής από του νεότερους προς τους παλαιότερους σχηματισμούς, είναι η ακόλουθη:

### **2.1.3. Μάρμαρα βορειοανατολικής Αττικής**

Πρόκειται για σχηματισμούς που καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις στην περιοχή του Μαραθώνα, Γραμματικού, Καλεντζίου, Νέας Μάκρης, Υμηττού καθώς και στις παρυφές του Πεντελικού όρους. Είναι κυρίως μεσοστρωματώδη, χονδροκρυσταλλικά που έχουν υποστεί καρστικοποίηση και συχνά με βολβούς και διαστρώσεις πυριπολίθων. Κατά θέσεις παρουσιάζονται παχυσρωματώδη έως άστρωτα και σπανίως λεπτοστρωματώδη. Επίσης συχνά παρεμβάλλονται δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι. Το χρώμα αυτών των μαρμάρων είναι υπόλευκο, ανοικτότεφρο έως σκοτεινότεφρο και κατά θέσεις υποκύανο. Τα εν λόγω μάρμαρα είναι έντονα πτυχωμένα και συχνά παρατηρούνται πολύ μεγάλες πτυχές (μεγαπτυχές), με αποτέλεσμα οι υποκείμενοι αυτών σχιστολιθικοί σχηματισμοί της βορειοανατολικής Αττικής, μερικές φορές να υπέρκεινται αυτών, όπως αυτό συμβαίνει στις περιοχές Βρανά και Γραμματικού. Τέλος το πάχος των μαρμάρων αυτών είναι περίπου 500 m και υπολογίζονται να είναι ηλικίας Μεσοζωικής έως Μέσο Ηώκαινου.

### **2.1.4. Σχιστολιθικοί σχηματισμοί βορειοανατολικής Αττικής**

Μεγάλες εμφανίσεις αυτών των σχηματισμών απαντώνται στον ορεινό όγκο της Πεντέλης καθώς και στις περιοχές Διονύσου, Καλεντζίου, Γραμματικού,

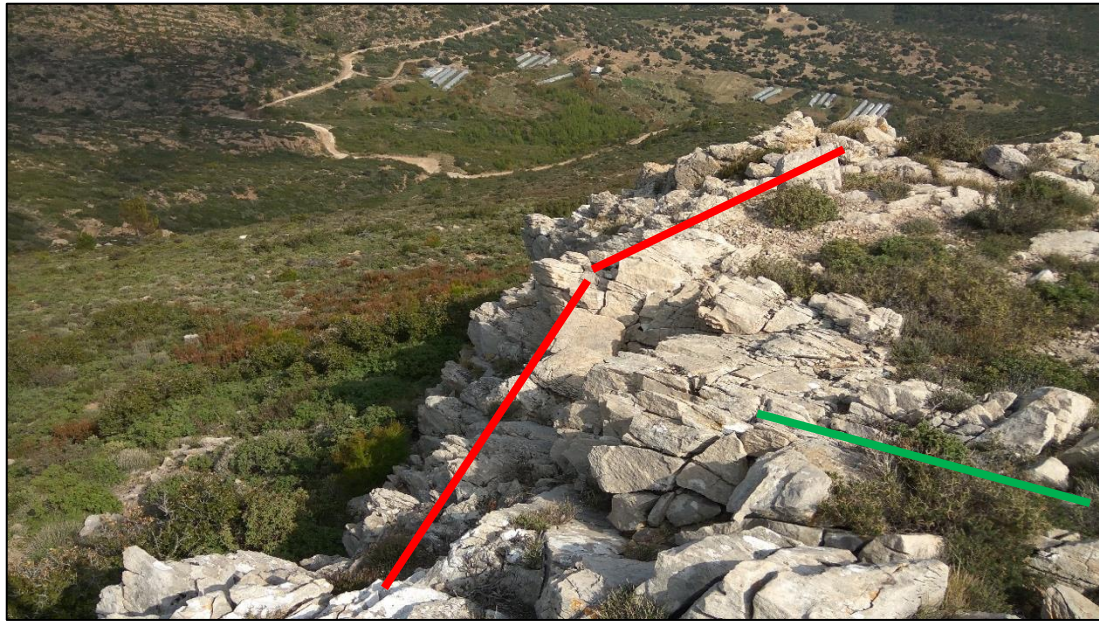


Μαραθώνα. Πρόκειται κυρίως για μοσχοβιτικούς, επιδοιτικούς - χλωριτικούς - αλβιτικούς, χαλαζιακούς και ανθρακικούς σχιστόλιθους. Επίσης απαντώνται επιδοιτικοί αμφιβολίτες, ενστρώσεις μαρμάρων (ποικίλου πάχους, χρώματος και υφής) με βολβούς και διαστρώσεις πυριτολίθων, λατυποπαγών μαρμάρων και σιπολινών (μάρμαρα που περιέχουν σερίκητη χλωρίτη). Στο ανώτερο τμήμα αυτών των σχηματισμών παρεμβάλλονται, κατά κανόνα, βασικά ηφαιστειακά πετρώματα και μικρές ποσότητες από σερπεντίνη. Πρέπει να τονισθεί ότι το ανώτερο τμήμα, των εν λόγω σχιστολιθικών σχηματισμών, συνοδεύεται από έντονη βασική υποθαλάσσια ηφαιστειότητα, η οποία γενικά παρατηρείται σε σχεδόν όλες της γεωτεκτονικές ζώνες του ελλαδικού χώρου κατά το Κατώτερο – Μέσο Τριαδικό. Με βάση τα παραπάνω μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι τουλάχιστον το ανώτερο τμήμα των σχηματισμών αυτών είναι Κάτω – Μέσο Τριαδικής ηλικίας. Τέλος το ορατό πάχος αυτών των σχηματισμών εκτιμάται στα 600 m περίπου.

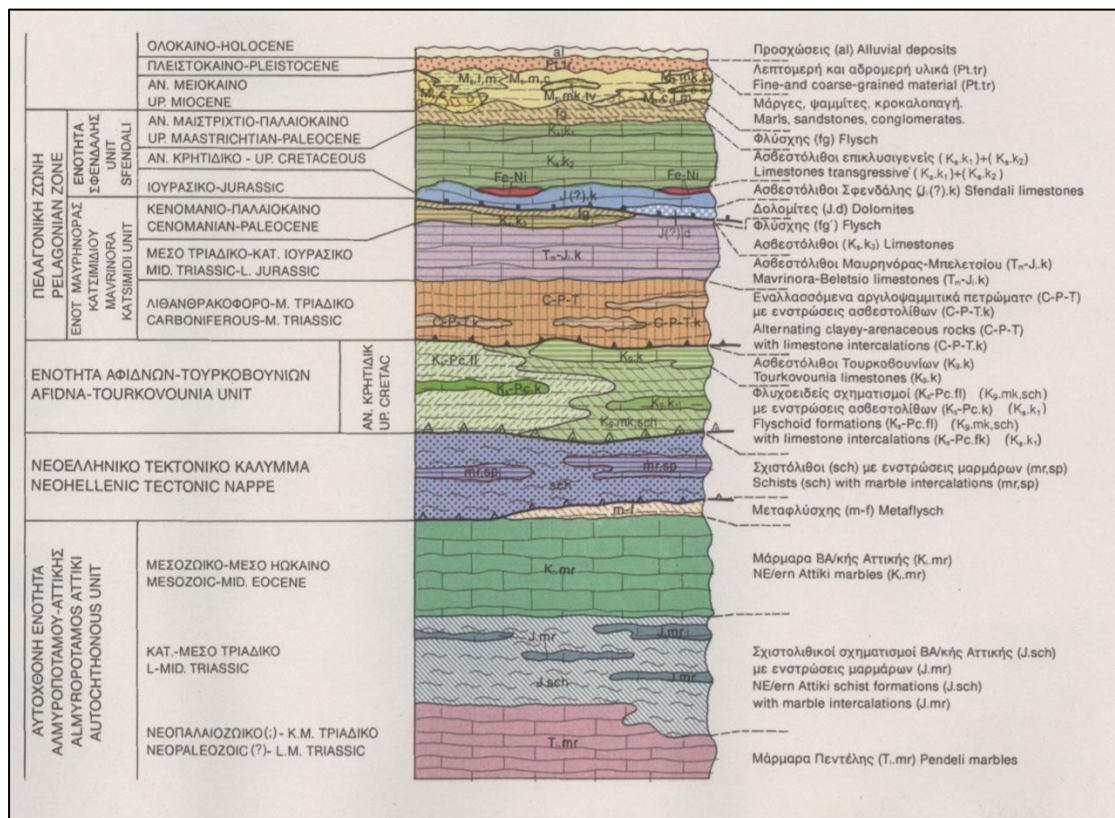
#### **2.1.5. Μάρμαρα Πεντέλης**

Πρόκειται για σχηματισμούς λευκού, λευκότεφρου ή κυανού χρώματος. Είναι λεπτοκρυσταλλικά έως χονδροκρυσταλλικά, μεσοστρωματώδη έως παχυστρωματώδη και κάποιες φορές άστρωτα. Κατά θέσεις είναι δολομιτικά ή σιπολινικά και παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό καρστικοποίησης. Στα ανώτερα τμήματά τους παρεμβάλλονται, κυρίως, ενστρώσεις μικρού πάχους από σχιστόλιθους και πρασινίτες (είναι πετρώματα που περιέχουν αλβίτη, ζωισίτη, χλωρίτη – επίδοτο). Το ορατό πάχος τους εκτιμάται στα 250 m περίπου και οι σχηματισμοί αυτοί είναι Κάτω – Μέσο Τριαδικής ηλικίας.

Στην περιοχή μελέτης εντοπίζονται τα μάρμαρα της ΒΑκης Αττικής. Η παράταξη των στρωμάτων του μαρμάρου είναι ΝΑ - ΒΔκή. Στην περιοχή μελέτης παρατηρείται ένα κεντρικό σύστημα παρακατακορύφων κατακλάσεων, με διεύθυνση αυτής της παράταξης, και ένα δευτερεύον σύστημα επίσης παρακατακορύφων κατακλάσεων, κάθετο στο κεντρικό πρωτεύον.

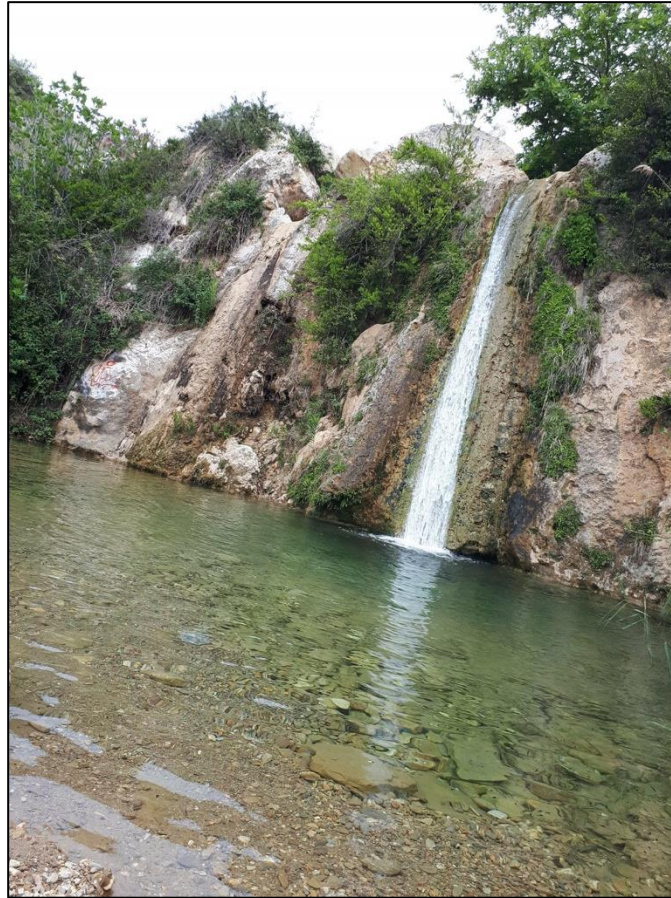


Σχήμα 9. Επαφή (κόκκινη γραμμή) Μαρμάρων (NA – ΒΔ παράταξης, πράσινη γραμμή) με σχιστόλιθο



Σχήμα 10. Συνθετική στρωματογραφική στήλη Περιοχής Έρευνας, ΙΓΜΕ/2001

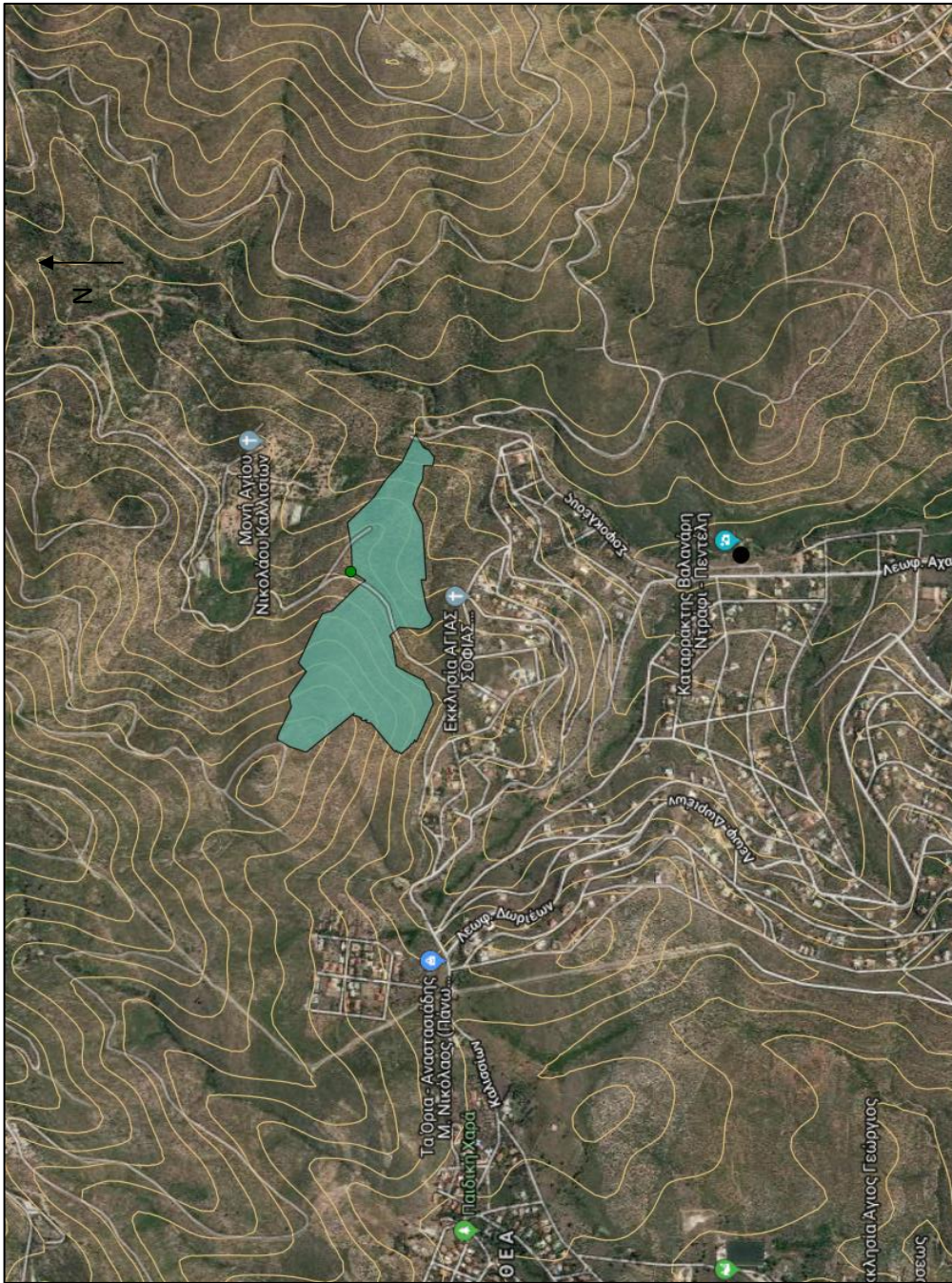
Κατά το μήκος του ποταμού, παρατηρούμε σχιστολίθους, οι οποίοι υπόκεινται στα κροκαλοπαγή. Στο σημείο του καταρράκτη έχουμε την εμφάνιση μαρμάρων, ενώ εκτιμάται ότι υπάρχει μία εις βάθος διάβρωση από το ποτάμι.



*Σχήμα 11. Εμφάνιση μαρμάρων στο καταρράκτη*

Επιφανειακή απορροή στο υδατόρεμα παρατηρείται σε όλο το υδρολογικό έτος, εξαιτίας της συμβολής των υπόγειων υδροφορέων της περιοχής. Το υπόγειο νερό βρίσκεται σε μικρή ποσότητα μέσα στις ρωγμές του σχιστολίθου, ενώ η κύρια πηγή τροφοδοσίας είναι ο ανθρακικός λόφος που βρίσκεται στα ΒΒΑ του καταρράκτη. Ο λόφος αυτός είναι έντονα κατακερματισμένος, ενώ εντοπίστηκε και ρήγμα στην ανατολική του πλευρά (σχήμα 14).





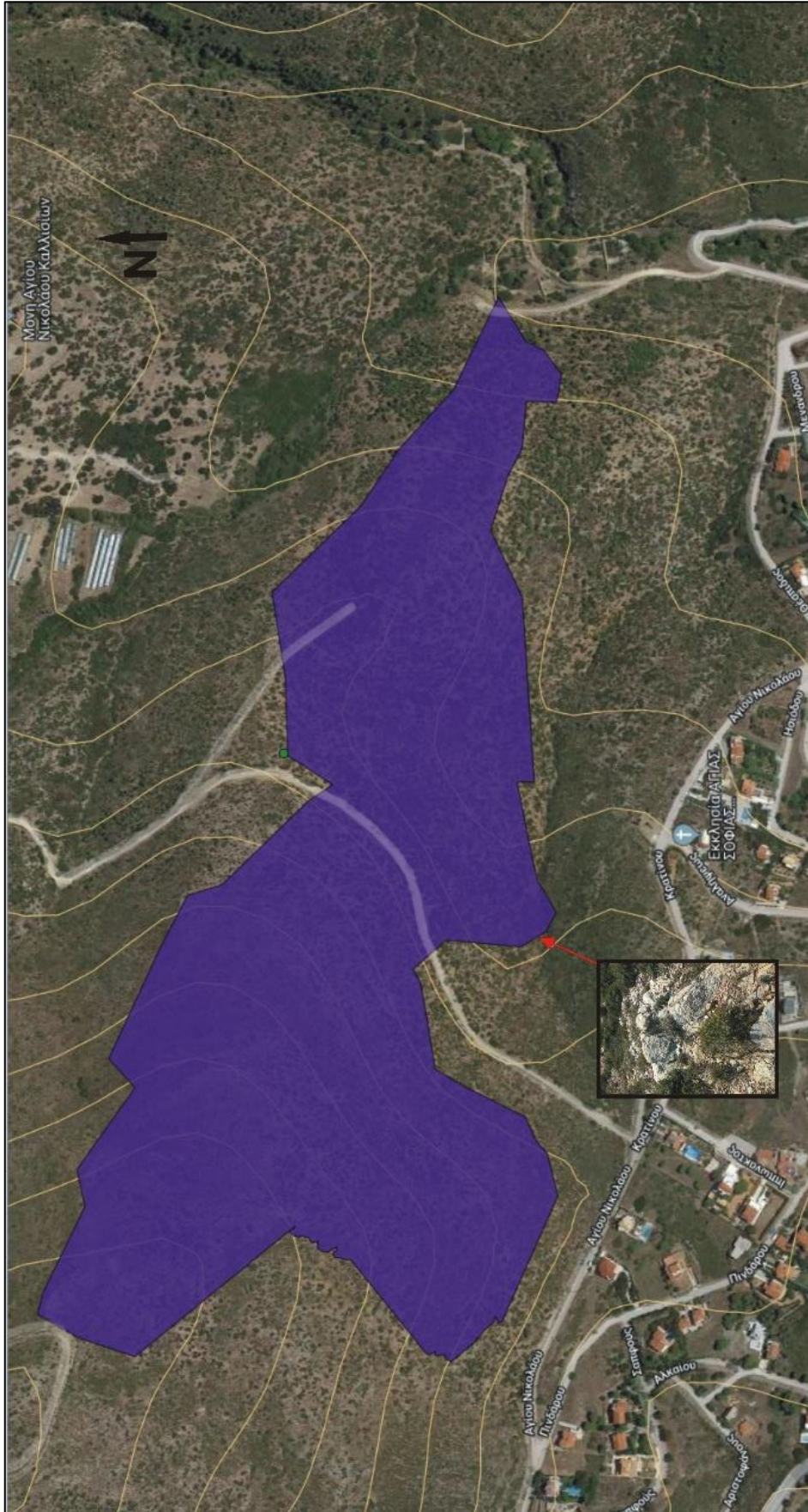
Σχήμα 12. Επαφή Μαμάρου – Σχιστόλιθου (κλίμακα 1:20000)





Σχήμα 13. Επαφή Μαρμάρου – Σχιστόλιθου (κλίμακα 1:5000) με φωτογραφία του ρήγματος





Σχήμα 14. Επαφή Μαρμάρου – Σχιστόλιθου (κλίμακα 1:5000) με φωτογραφία του κέντρου από καπέλο ασβεστολιθού

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Στοιχεία υδρογεωλογίας

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που υπάρχουν στην επιφάνεια της γης διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες α) υδροπερατούς και β) αδιαπέρατους.

Οι υδροπερατοί σχηματισμοί, με τη σειρά τους χωρίζονται σε:

### 1) Κοκκώδεις ή πορώδεις σχηματισμοί (μικροπερατοί)

Είναι οι σχηματισμοί που μπορεί να είναι συμπαγής ή χαλαροί, αλλά η σύνδεση και η συγκόλληση των τεμαχιδίων έχει γίνει κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να υπάρχουν κενά. Τέτοιοι σχηματισμοί σχηματισμοί είναι οι προσχωσιγενείς (άμμοι, κροκαλοπαγοί), αλλά και άλλοι σχηματισμοί όπως οι ψαμμίτες.

### 2) Ρωγμώδη πετρώματα ή μακροπερατά

Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται πετρώματα που δεν έχουν πόρους, αλλά επιτρέπουν την κίνηση του νερού μέσα από ένα δίκτυο ρωγμών και εγκοίλων, όπως οι ασβεστόλιθοι, τα μάρμαρα, οι γρανίτες και οι γνεύσιοι. Η κίνηση του νερού γίνεται σε ορισμένες διευθύνσεις, εκτός αν είναι κατακερματισμένα, οπότε και συμπεριφέρονται σαν μικροπερατοί.

Υπάρχει περίπτωση ένα πέτρωμα να παρουσιάζει τόσο πόρους όσο και ρωγμές, όπως οι ψαμμίτες. Ωστόσο οι ρωγμές είναι η βασική αιτία της δημιουργίας συνθηκών υδροφορίας στους μακροπερατούς σχηματισμούς, το λεγόμενο δευτερογενές πορώδες.

Η ρωγμές οφείλονται κυρίως σε τεκτονικά αίτια ή στην απότομη ψύξη των ηφαιστειακών πετρωμάτων. Αν το πέτρωμα διαβρώνεται από τη διαλυτική δράση του νερού, όπως είναι τα ανθρακικά πετρώματα, τότε διευρύνονται οι κοιλότητες που έχει και δημιουργούνται καρστικά έγκοιλα. Αντίθετα, αν το πέτρωμα δεν επηρεάζεται από φαινόμενα όμοια με τα παραπάνω, τότε όχι μόνο δεν διευρύνονται οι κοιλότητες, αλλά φράζονται με αργιλικό υλικό (π.χ. σχιστόλιθος).

Στην περιοχή μελέτης, εντοπίζονται τόσο μακροπερατοί σχηματισμοί (μάρμαρα), όσο και μικροπερατοί (κροκαλοπαγοί). Ενώ ακόμα παρατηρούνται σε αρκετά μεγάλο ποσοστό και αδιαπέρατοι σχηματισμοί (σχιστόλιθοι).





*Σχήμα 15. Ανω Κρητιδικά μάρμαρα στην περιοχή μελέτης*



*Σχήμα 16. Όγκος κροκαλοπαγών στην περιοχή μελέτης, λίγα μέτρα κατάντι του καταράκτη Βαλανάρη*





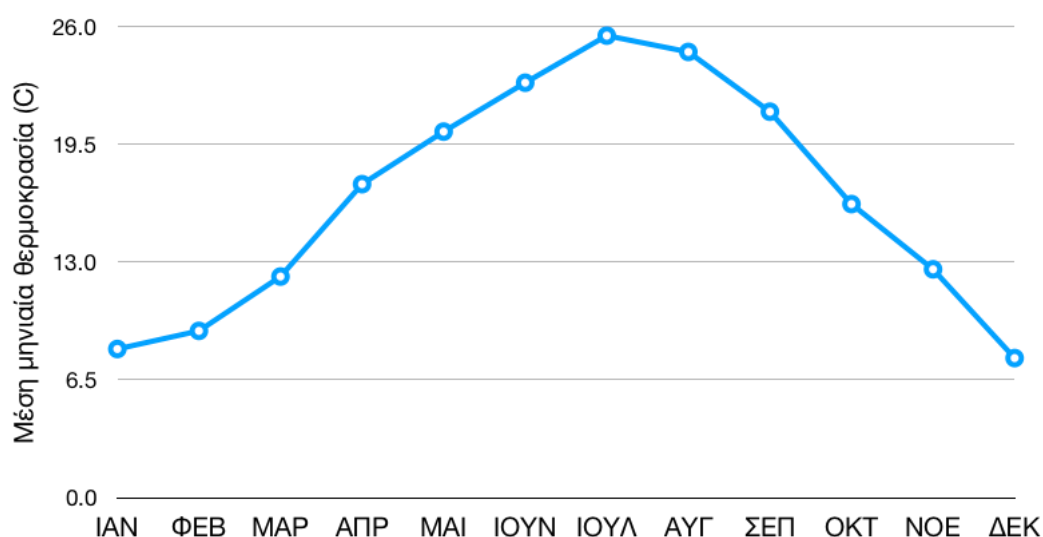
*Σχήμα 17. Σχιστόλιθος της περιοχής μελέτης με φακό μαρμάρου μέσα σε αυτόν. Το ανθρακικό υλικό πλήρωσε την ρωγμή του σχιστολίθου.*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Υδροκλιματικές συνθήκες

Το κλίμα στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής, είναι *Μεσογειακό Υποτροπικό* (ταξινόμηση κατά Köppen), με παρατεταμένα θερμά και ξηρά καλοκαίρια και πολύ ήπιους και υγρούς χειμώνες. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι περίπου 400 mm, ενώ η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι περίπου 27 °C κατά τη διάρκεια του θέρους και 11 °C κατά της διάρκεια του χειμώνα (ΕΜΥ, 2013). Η περιοχή περιβάλλεται από θάλασσα στα ανατολικά νότια και νοτιοδυτικά, ενώ τα βουνά οριοθετούν τα δυτικά και βόρεια σύνορά της από τις γειτονικές περιοχές (Parathanasiou et al., 2013b).

Παρακάτω ακολουθούν ενδεικτικά υδροκλιματικά στοιχεία που συλλέγονται από το Σταθμό Πεντέλης (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών) ο οποίος βρίσκεται σε υψόμετρο 495 m (Θέση: Πεντέλη-Λόφος Αστεροσκοπείου, LAT: 38deg 00min LONG: 23deg 54min).

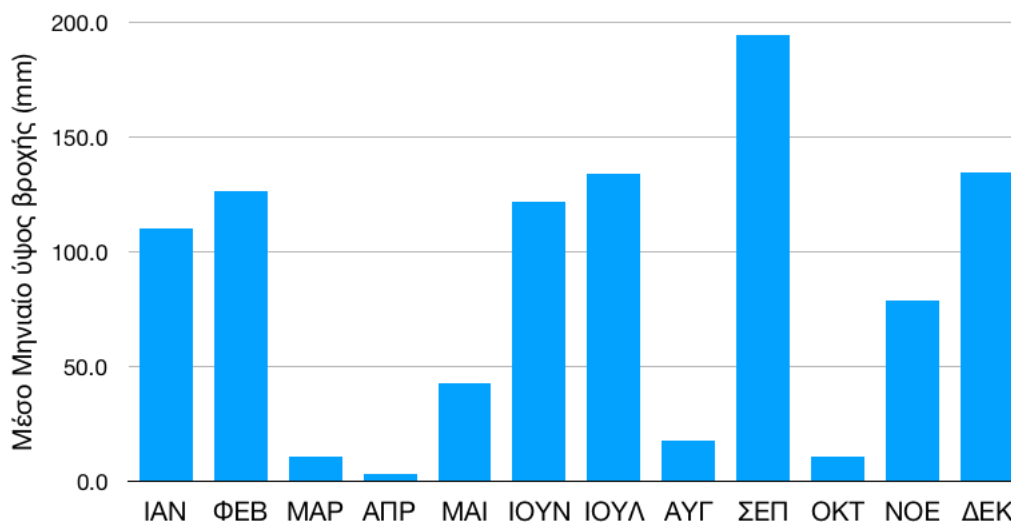
Στο Σχήμα 19 εμφανίζεται η διακύμανση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας στην περιοχή έρευνας για το έτος 2018 (κύρια ερευνητική περίοδος).



Σχήμα 18. Διακύμανση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας στο Σταθμού Πεντέλης (Ε.Α.Α.) για το έτος 2018.

Οι μέγιστη τιμή θερμοκρασίας που καταγράφηκε για το έτος 2018 είναι 30,2 °C (Ιούλιος 2018) και η ελάχιστη 5,8 °C (Δεκέμβριος 2018), ενώ η μέση ετήσια υπολογίζεται στους 16,5 °C.

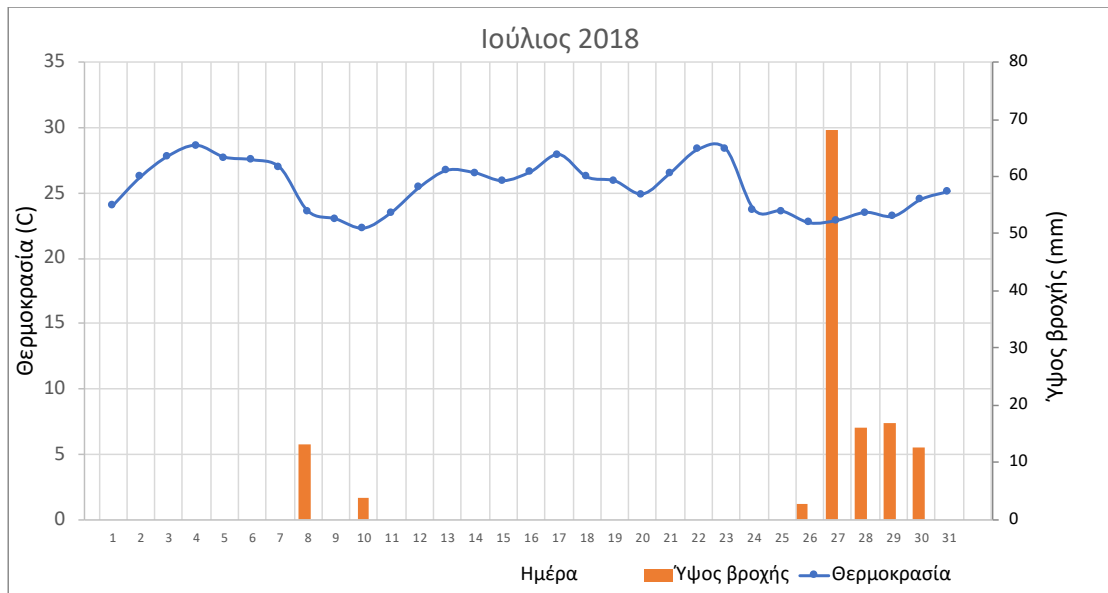
Στο Σχήμα 20 εμφανίζεται η διακύμανση του μέσου μηνιαίου ύψους βροχής στην περιοχή έρευνας για το έτος 2018 (κύρια ερευνητική περίοδος).



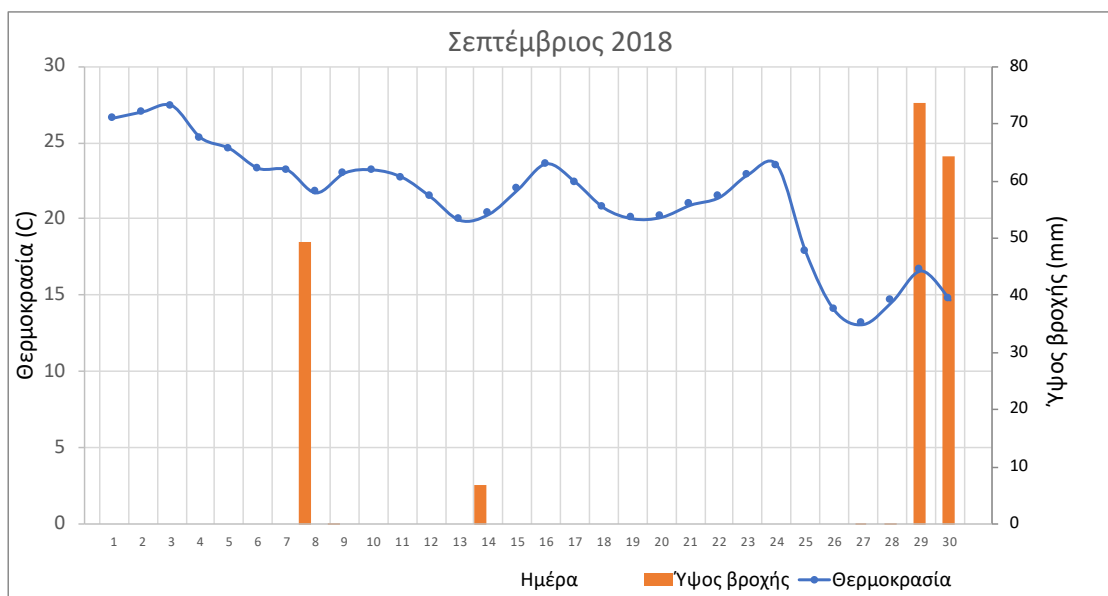
Σχήμα 19. Διακύμανση της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στο Σταθμού Πεντέλης (Ε.Α.Α.) για το έτος 2018.

Η μέγιστη τιμή ύψους βροχής που καταγράφηκε για το έτος 2018 ανέρχεται στα 194,8 mm (Σεπτέμβριος 2018) και η ελάχιστη 3,0 mm (Απρίλιος 2018), ενώ το ετήσιο ύψος βροχής για το έτος 2018 ανέρχεται στα 985,6 mm.

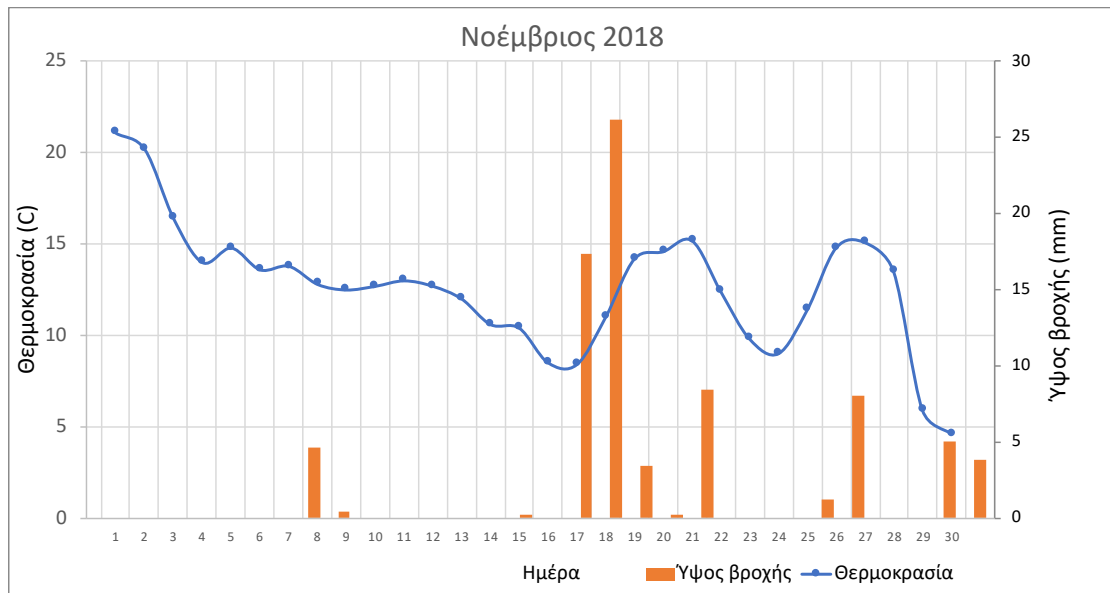
Στη συνέχεια ακολουθούν τα ημερήσια ύψη βροχής καθώς και η διακύμανση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας που καταγράφηκαν κατά τις περιόδους δειγματοληψίας επιφανειακού, υπόγειου και όμβριου νερού.



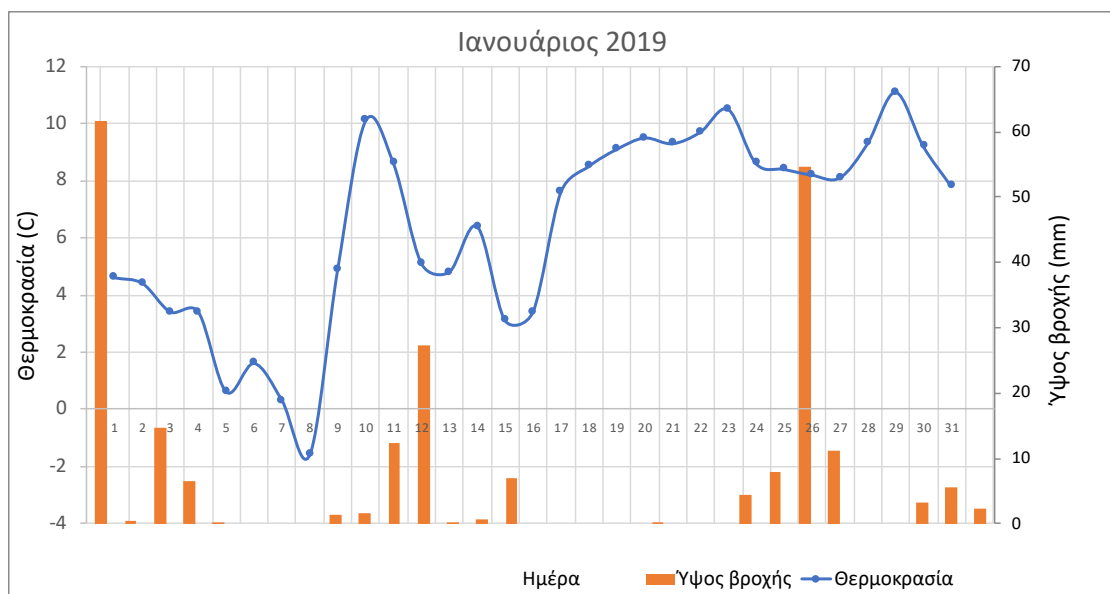
Σχήμα 20. Διακύμανση του ημερήσιου ύψους βροχής (mm) και μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (°C) στο Σταθμού Πεντέλης (Ε.Α.Α.) για τον Ιούλιο 2018.



Σχήμα 21. Διακύμανση του ημερήσιου ύψους βροχής (mm) και μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (°C) στο Σταθμού Πεντέλης (Ε.Α.Α.) για το Σεπτέμβριο 2018.



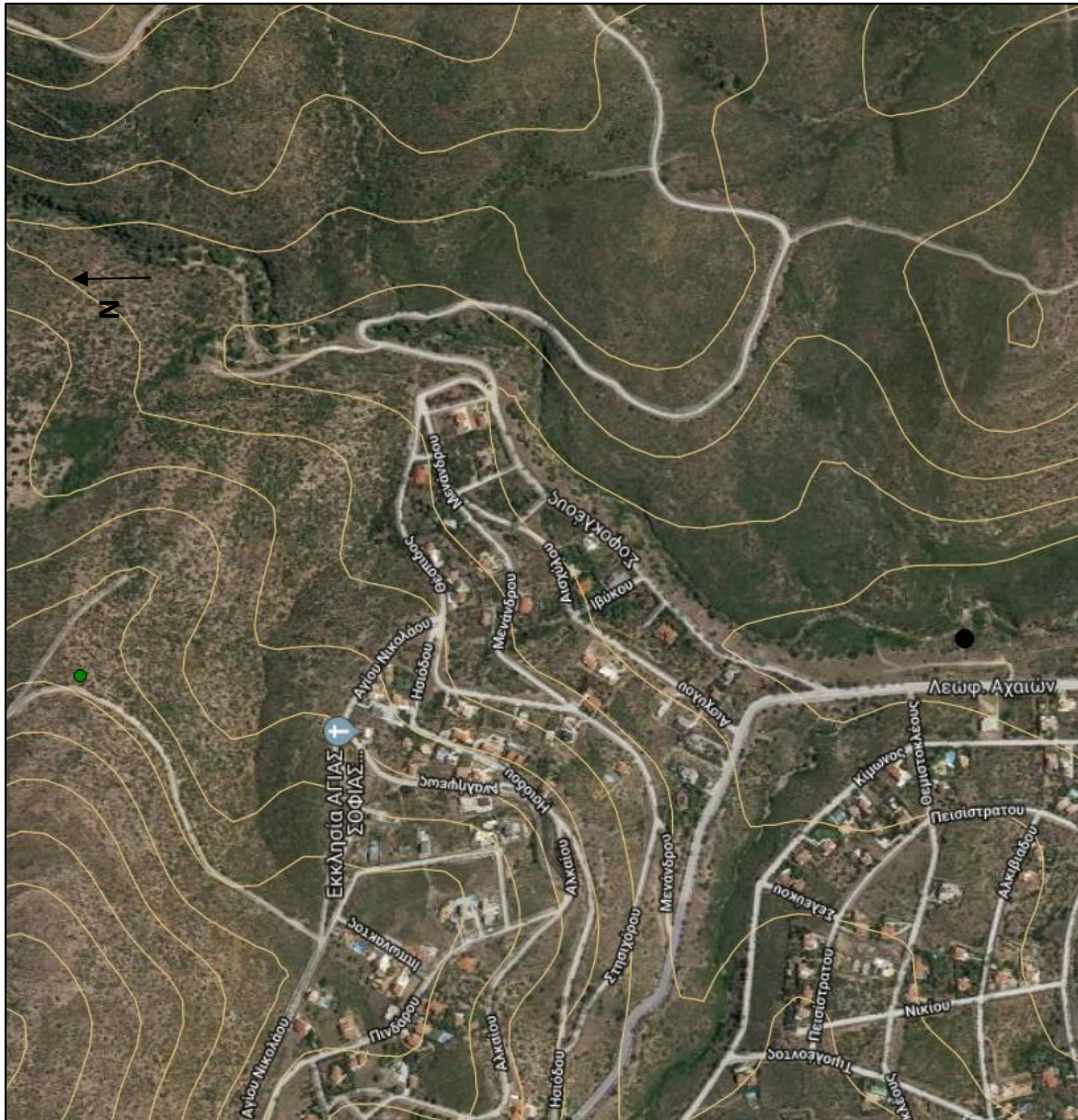
Σχήμα 22. Διακύμανση του ημερήσιου ύψους βροχής (mm) και μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (°C) στο Σταθμού Πεντέλης (Ε.Α.Α.) για το Νοέμβριο 2018.



Σχήμα 23. Διακύμανση του ημερήσιου ύψους βροχής (mm) και μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (°C) στο Σταθμού Πεντέλης (Ε.Α.Α.) για τον Ιανουάριο 2019.

Στο παρακάτω χάρτη φαίνεται η θέση τοποθέτησης του βροχοσυλλέκτη, με σκοπό την δειγματοληψία και την ισοτοπική ανάλυση των όμβριων υδάτων.





Σχήμα 24. Χάρτης κλίμακας 1:10000, Θέση καταρράκτη (μαύρη κουκίδα) και βροχοσυλλέκτη (πράσινη κουκίδα)

Η εγκατάστασή του πραγματοποιήθηκε την 1/11/2018 και έγιναν 3 δειγματοληψίες.

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ	ΒΡΟΧΗ
10/11/2018	8/11/2018
20/11/2018	19/11/2018
22/11/2018	20/11/2018

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Υδρολογικές μετρήσεις

### 5.1. Υδατομετρήσεις

Με την χρήση ψηφιακού μολίσκου πραγματοποιήθηκαν, σε 3 σημεία ανάντη του καταρράκτη, μετρήσεις ταχύτητας της ροής του υδατορέματος, καθώς και των διαστάσεων της κοίτης του στα σημεία αυτά. Οι θέσεις και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

Γενικά παρατηρούμε ότι η ταχύτητα ροής του υδατορέματος σε αυτά τα σημεία να είναι αρκετά χαμηλή, ενώ το πλάτος του να είναι αρκετά μεγάλο για τα δεδομένα του ρέματος. Αυτό έχει σαν αντίκτυπο το νερό να μην ανανεώνεται κατά την ξηρή περίοδο και να «βαλτώνει» στα σημεία αυτά. Επιπρόσθετα, βλέπουμε ότι η ταχύτητα ροής του ρέματος έχει άμεση εξάρτηση με το πλάτος, καθώς σε πιο στενά περάσματα η ταχύτητα αυξάνεται, συμπεριλαμβανομένου και του γεγονότος ότι στα προαναφερθέντα περάσματα το βάθος μειώνεται.

*Πίνακας 1. Συγκεντρωτικά στοιχεία υδατομετρήσεων στην περιοχή έρευνας.*

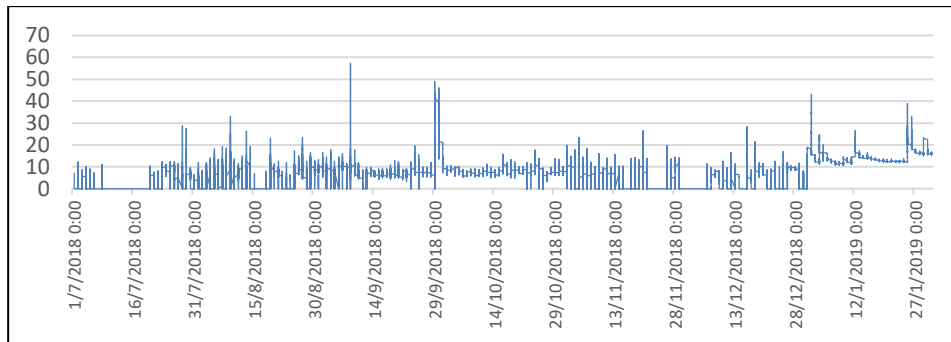
Θέση μέτρησης	Υψόμετρο (m)	Πλάτος κοίτης (m)	Ταχύτητα ροής (m/s)
ΠΑ1	238	1.3	0.05
ΠΑ2	253	2.1	0.01
ΠΑ3	234	1.75	0.01



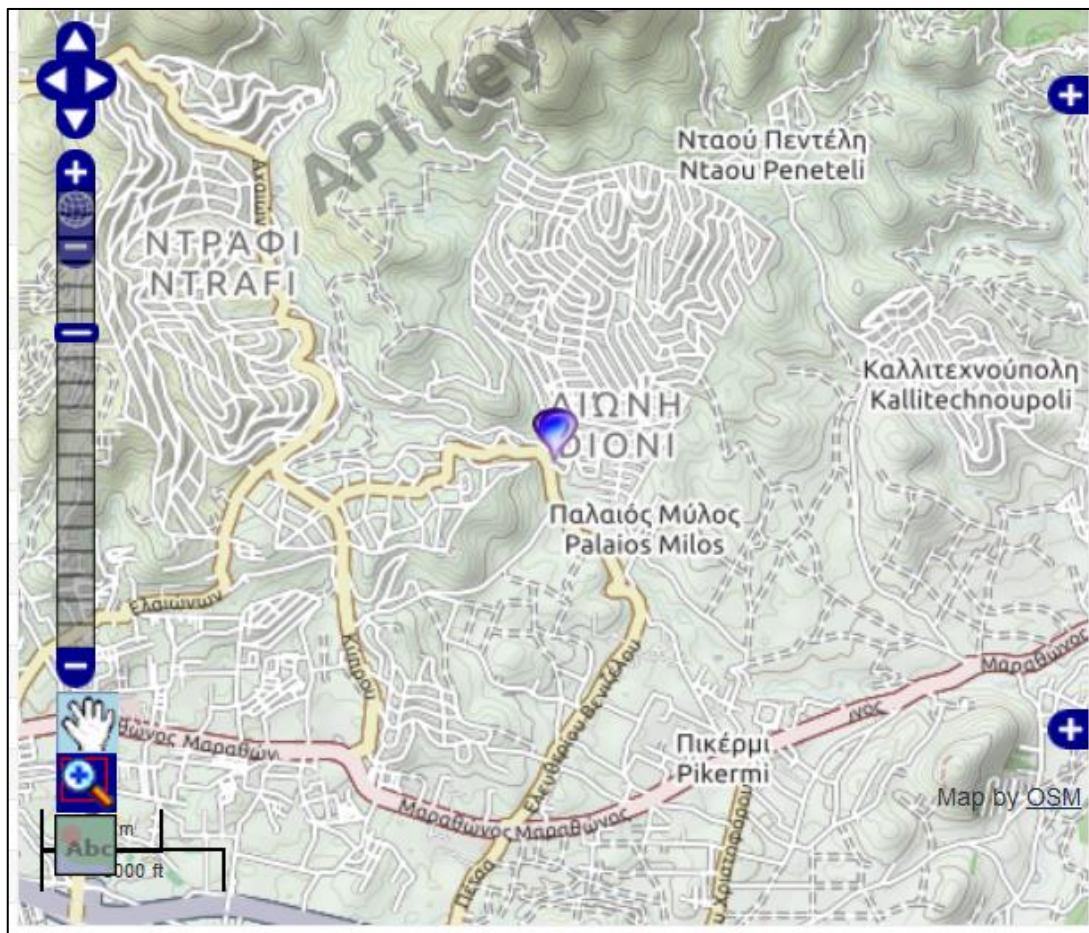




Παρακάτω, παρουσιάζεται διάγραμμα με τις μετρημένες στάθμες, κατά την περίοδο Ιούλιος 2018 – Φεβρουάριος 2019, από τον εγκατεστημένο σταθμό του ΗΟΑ/ΕΜΠ. Η θέση του σταθμού είναι κοντά στους παλαιούς νερόμυλους και απεικονίζεται στο χάρτη που ακολουθεί.



Σχήμα 26. Διακύμανση στάθμης (cm) για την περίοδο 7/2018-2/2019 σε κατάντη σημείο (Σταθμός Ντράφι, Η.Ο.Α. Ε.Μ.Π.).



Σχήμα 27. Θέση εγκατεστημένου σταθμού του σε κατάντη σημείο (Σταθμός Ντράφι, Η.Ο.Α. Ε.Μ.Π.).

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι για την περίοδο μετρήσεων η μέση στάθμη του κατόντη σταθμού βρίσκεται στα 10cm, ενώ παρουσιάζονται κάποια μέγιστα (>40cm) κατά την υγρή περίοδο.

## 5.2. Χημικά χαρακτηριστικά δειγμάτων νερού

Τα κυριότερα ποιοτικά κριτήρια των υπόγειων νερών είναι τα εξής (Καλλέργης, 2000):

Φυσικά χαρακτηριστικά:

- Θολότητα (ή θολερότητα)
- Σύνολο διαλυμένων στερεών (TDS) και αιωρούμενων (TSS)
- Οσμή
- Θερμοκρασία
- Χρώμα

Χημικά χαρακτηριστικά:

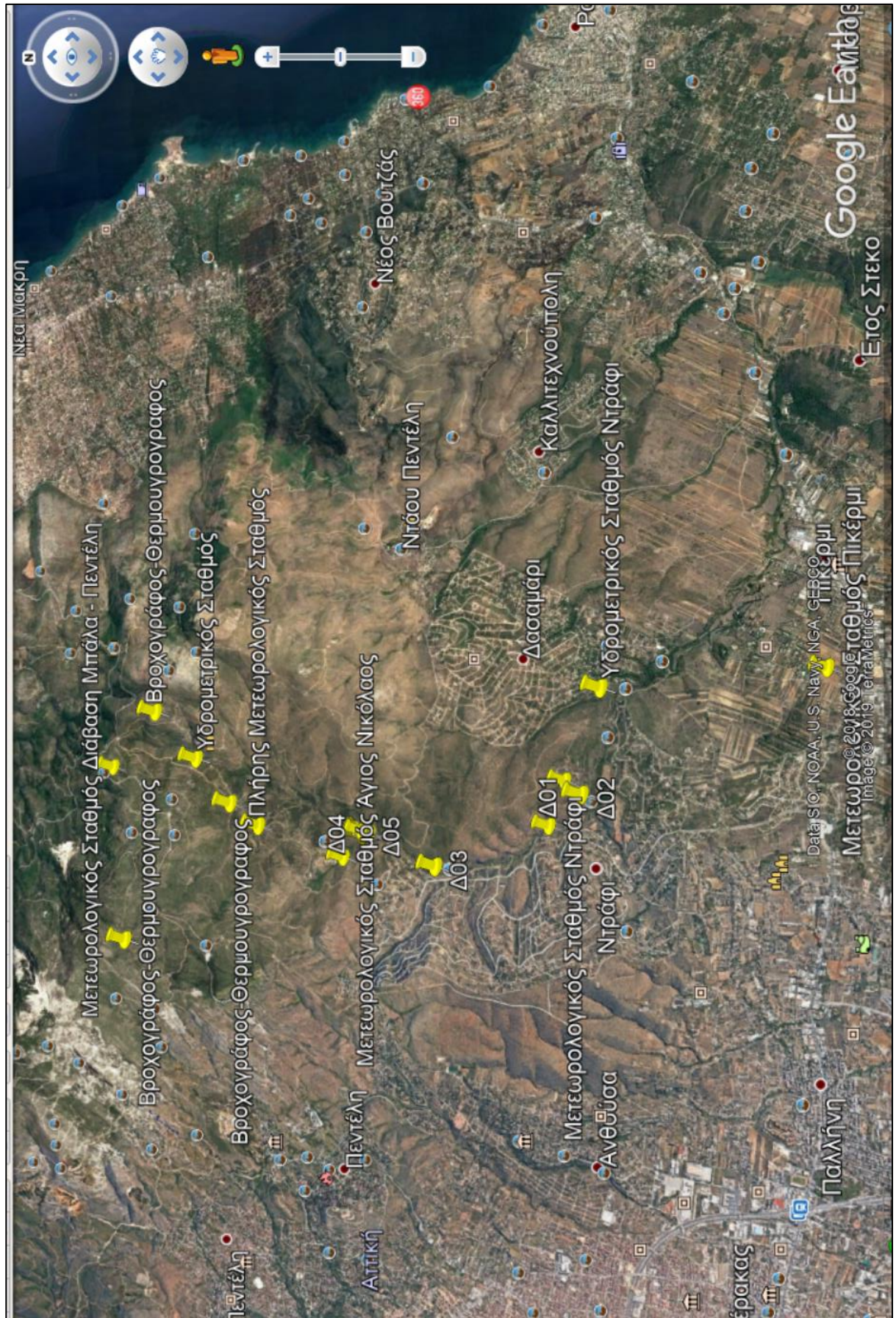
- Ανόργανα συστατικά
  - Κύρια ιόντα: ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ )
  - Δευτερεύοντα ιόντα: ( $\text{Al}_3^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{As}^+$ ,  $\text{Ba}^{++}$ ,  $\text{BO}_4^{3-}$ ,  $\text{B}_3^-$ ,  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}_2^+$ ,  $\text{Fe}_3^+$ ,  $\text{Mn}^{++}$ ,  $\text{HSO}_4^-$ ,  $\text{HSO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{S}_4^+$ ,  $\text{SO}_3^{2-}$ )
  - Ανόργανα σε μη ιοντική μορφή:  $\text{SiO}_2$
  - Ανόργανα εισαγόμενα από τον άνθρωπο:  $\text{As}_3^+$ ,  $\text{Ba}_2^+$ ,  $\text{Cd}_2^+$ ,  $\text{Cr}_6^+$ ,  $\text{Pb}_2^+$ ,  $\text{Hg}_2^+$ ,  $\text{Se}$ ,  $\text{Ag}_2^+$ ,  $\text{Zn}_2^+$
  - Θρεπτικά συστατικά εισαγόμενα από τον άνθρωπο: Ενώσεις αζώτου και φωσφόρου
  - Ραδιενέργεια
  - pH, Eh, σκληρότητα, ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα και αλκαλικότητα
  - Φυσικές οργανικές ενώσεις: πρωτεΐνες, υδρογονάνθρακες, λιπίδια
  - Συνθετικές οργανικές ενώσεις: επιφανειοδραστικά, φυτοφάρμακα, διαλυτικά, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες κ.λ.π.
- Η μέτρηση των οργανικών ενώσεων γίνεται με τον εργαστηριακό προσδιορισμό των COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο), TOC (ολικός οργανικός άνθρακας), TOD (ολικά απαιτούμενο οξυγόνο), BOD (βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο).
- Αέρια:  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$  κ.α.

Βιολογικά χαρακτηριστικά: Βακτήρια, ιοί, μύκητες, φύκη, πρωτόζωα, σκώληκες, τροχόζωα, καρκινοειδή κ.α.

Στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής διατριβής πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας του Ε.Μ.Π., οι οποίες αφορούν στην ποιότητα των νερών της περιοχής έρευνας. Οι φυσικοχημικές παράμετροι οι οποίες μετρήθηκαν και αξιολογήθηκαν παρατίθενται στη συνέχεια:

Για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας έγιναν 4 δειγματοληψίες. Η λήψη δείγματος πραγματοποιήθηκε στο τέλος της ξηρής περιόδου και κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου.

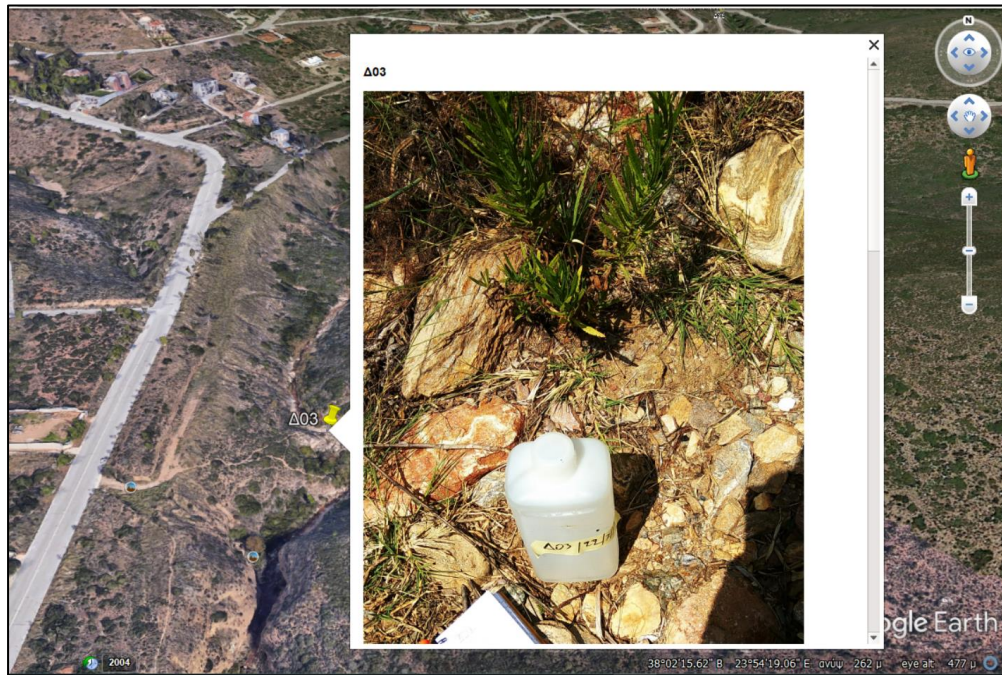




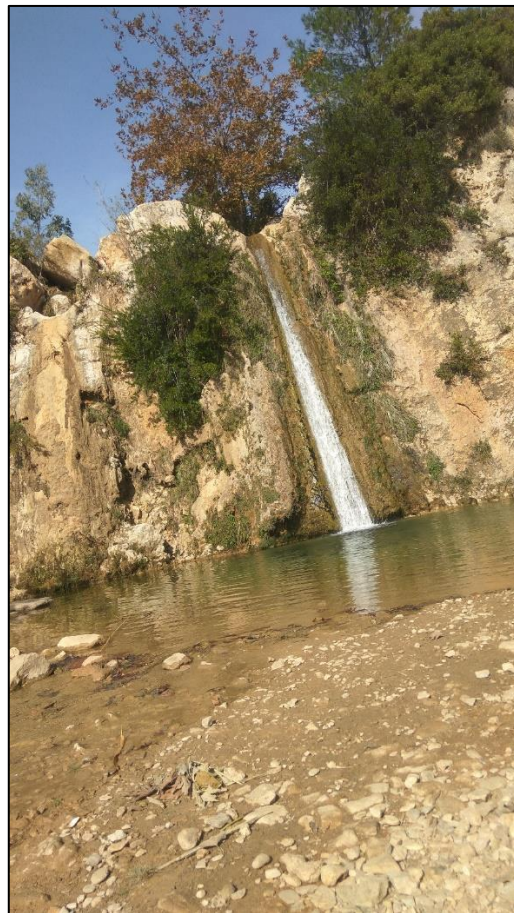
Σχήμα 28. Θέσεις δειγματοληψιών



Οι θέσεις Δ3 και Δ6 είναι το σημείο του καταρράκτη, ανάντη και κατόντη αυτού αντίστοιχα.



Σχήμα 29. Σημείο Δ3



Σχήμα 30. Σημείο Δ6



Η θέση Δ2 είναι στην περιοχή των παλαιών νερόμυλων.



Σχήμα 31. Παλαιοί νερόμυλοι



Σχήμα 32. Σημείο Δ2



Σχήμα 33. Σημείο Δ2



Σχήμα 34. Θέση Δ1





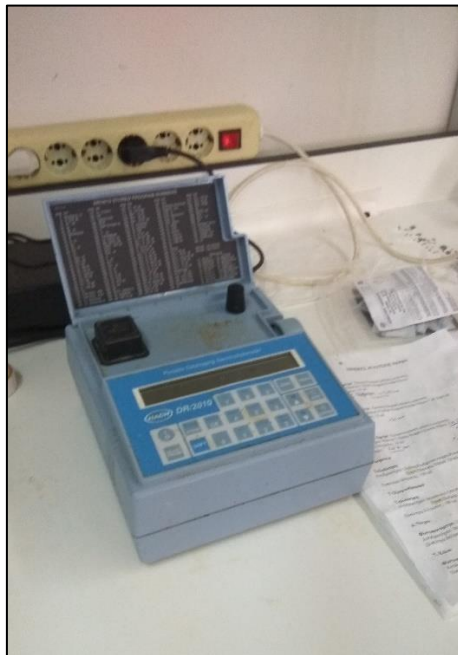
*Σχήμα 35. Σημείο Δ1*

Έγιναν επί τόπου μετρήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων (θερμοκρασία, αγωγιμότητα, ΡΗ και διαλυμένο  $O_2$ ), καθώς χημικές αναλύσεις βασικών ιόντων εργαστήριο ενώ προέκυψαν οι ακόλουθοι πίνακες.





*Σχήμα 36. Πολυπαραμετρικό όργανο επί τόπου ανάλυσης φυσικοχημικών χαρακτηριστικών νερού.*



*Σχήμα 37. Φασματοφωτόμετρο επί τόπου ανάλυσης χημικών χαρακτηριστικών νερού*



Σχήμα 38. Φλογοφωτόμετρο για μέτρηση συγκέντρωσης ιόντων  $K^+$  και  $Na^+$ .

Πίνακας 2. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων για τη δειγματοληψία Ιουλίου 2018.

Κωδικός	E,C, ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	DO (mg/l)	Ca <sup>++</sup> (mg/l)	Mg <sup>++</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Υψόμετρο (m)
Δ 01	621	7.436	24.5	6.71	95.7	53.5	34.5	0.7	208.6	53.0	40.0	9.3	205.0
Δ 02	660	7.435	24.1	6.44	104.9	61.7	39.5	0.7	223.3	63.0	41.0	6.6	186.0
Δ 03	619	7.57	25.2	9.02	96.5	28.8	32.8	0.7	200.1	50.0	41.0	7.0	244.0
Δ 04	739	7.32	19.1	8.15	117.3	90.5	30.9	0.9	318.4	35.0	39.0	9.1	295.0
Δ 05	744	7.38	20.4	8.12	123.3	53.5	29.9	1.1	380.6	42.0	38.0	8.9	283.0

Πίνακας 3. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων για τη δειγματοληψία Σεπτεμβρίου 2018.

Κωδικός	E,C, ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	DO (mg/l)	Ca <sup>++</sup> (mg/l)	Mg <sup>++</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Υψόμετρο (m)
Δ '01	545	8.23	21.3	10.4	218.0	236.0	31.6	0.7	230.58	64.0	37.0	3.96	195.00
Δ '02	577	8.149	20.5	9.7	212.0	274.0	37.5	0.7	237.90	86.0	38.0	3.52	181.00
Δ '03	527	8.121	19.1	10.64	224.0	250.0	31.2	1.0	226.92	72.0	37.0	7.92	245.00
Δ '04	623	7.788	19	10.31	304.0	316.0	29.7	0.9	320.86	76.0	36.0	5.72	292.00
Δ '05	625	7.776	18.7	10.57	322.0	330.0	29.8	0.9	326.96	52.0	35.0	7.04	288.00
Δ '06	529	7.841	19.3	10.38	198	312	31.9	0.8	230.58	60	36	3.52	239.00

Πίνακας 4. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων για τη δειγματοληψία Νοεμβρίου 2018.

Κωδικός	E,C, ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	DO (mg/l)	Ca <sup>++</sup> (mg/l)	Mg <sup>++</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Υψόμετρο (m)
Δ''01	626	8.4	21	4.48	192.0	250.0	31.6	0.7	179.34	62.0	36.0	4.80	196.00
Δ''02	640	8.55	20.4	4.5	201.0	246.0	37.5	0.7	175.68	69.0	33.0	5.10	182.00
Δ''03	618	8.24	22.1	4.6	211.0	252.0	31.2	1.0	162.26	57.0	35.0	3.60	243.00
Δ''04	706	8.47	19.8	4.88	280.0	285.0	29.7	0.9	239.12	40.0	34.0	2.60	294.00
Δ''05	739	8.18	19.5	4.57	277.0	294.0	29.8	0.9	237.90	50.0	32.0	4.70	290.00
Δ''06	624	8.25	22.6	4.7	206	217	31.9	0.8	175.68	53	37	3.60	184.00

Πίνακας 5. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων για τη δειγματοληψία Ιανουαρίου 2019.

Κωδικός	E,C, ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	DO (mg/l)	Ca <sup>++</sup> (mg/l)	Mg <sup>++</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Υψόμετρο (m)
Δ*01	720	7.76	8.4	11.5	253.0	288.0	278.16	60.8	40.0	4.40	195.00
Δ*02	751	7.77	8.2	11.42	251.0	293.0	294.02	66.3	40.0	6.00	181.00
Δ*03	709	8.12	11	10.56	276.0	297.0	331.84	56.8	39.0	5.90	245.00
Δ*04	695	7.55	12	9.83	285.0	290.0	292.80	46.0	33.0	4.70	292.00
Δ*05	686	7.8	12	9.9	279.0	288.0	319.64	37.0	31.0	3.90	288.00
Δ*06	701	8.12	11	10.62	262	281	319.64	40	40	4.20	239.00

Πίνακας 6. Συντεταγμένες για τις θέσεις των σημείων Δ1-Δ5 (Δ3 και Δ6 καταρράκτης).

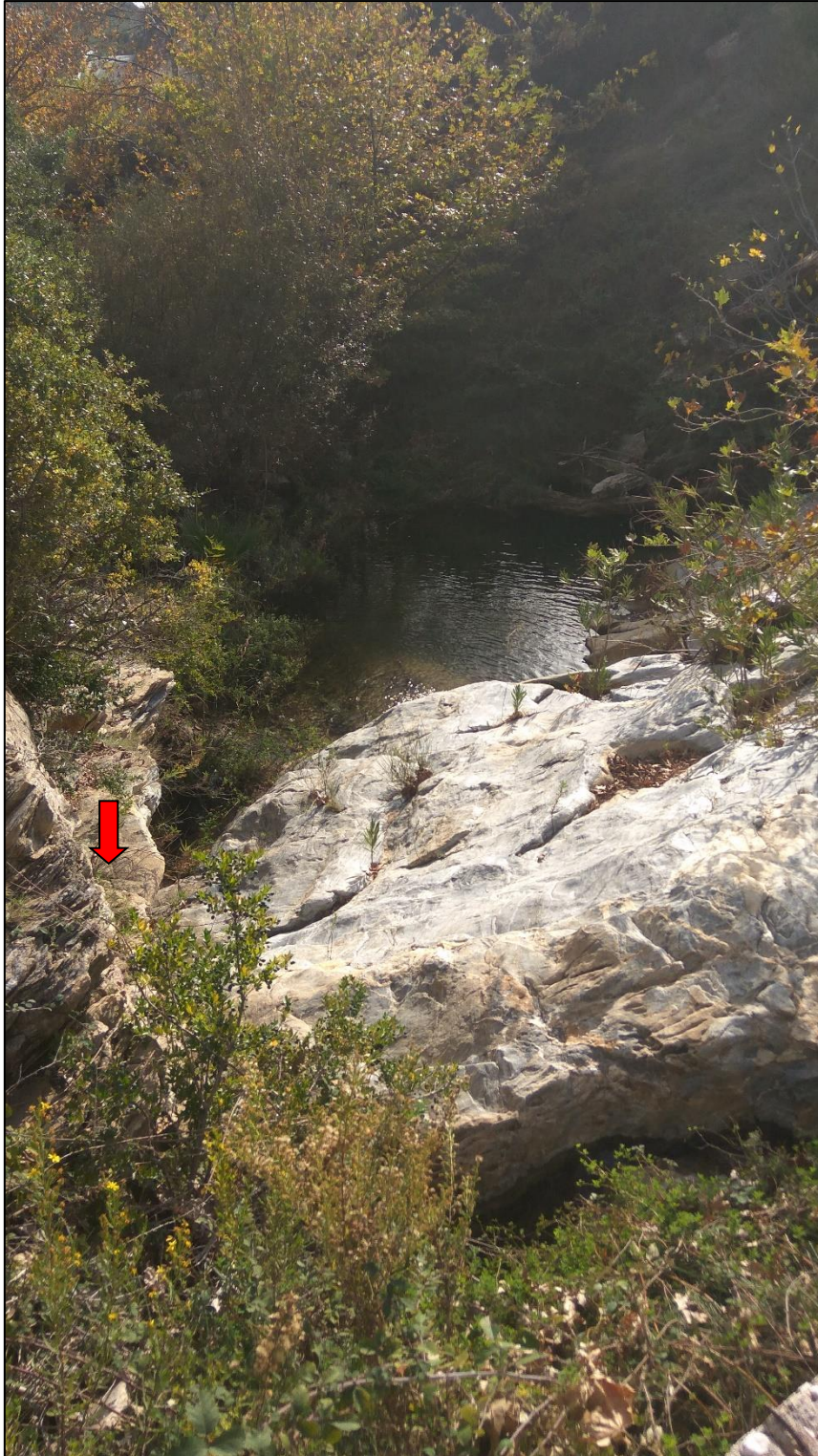
χ	ψ
38.026270399658	23.910886267781
38.022848272481	23.914581855866
38.037073016373	23.906087050506
38.044638014781	23.910271381885
38.044079344326	23.910431616509
38.036838783980	23.906212700216

Από τους παραπάνω πίνακες παρατηρούμε ότι η μέση θερμοκρασία είναι περίπου στους 20°C, ενώ το pH είναι βασικό. Εξαίρεση στην θερμοκρασία αποτελεί η τελευταία δειγματοληψία, η οποία πραγματοποιήθηκε μετά από χιονόπτωση.

Το διαλυμένο οξυγόνο αυξάνεται με την έναρξη της υγρής περιόδου και στα 6 σημεία, γεγονός το οποίο οφείλεται τόσο στην αύξηση του βάθους του ρέματος, όσο και στη συνεχή ροή και ανανέωση των υδάτων.

Επιπρόσθετα οι ιδιαίτερα υψηλές τιμές στα ιόντα  $Ca^{++}$  και  $Mg^{++}$  που παρατηρούμε, οφείλονται στην πηγή προέλευσης του νερού του υδατορέματος (ανθρακικός όγκος). Η συνεχής ροή του ποταμού, τόσο κατά την ξηρή όσο και κατά την υγρή περίοδο υποδηλώνει ότι τα επιφανειακά νερά του ρέματος δεν έχουν μόνο μετεωρική προέλευση, αλλά και υπόγεια. Στα σημεία Δ5 και Δ4 παρατηρείται τροφοδοσία του ποταμού από υπόγειους υδροφόρους σχηματισμούς (εικόνα 19). Μεγάλο τμήμα αυτού του νερού προέρχεται από τον γειτονικό όγκο των μαρμάρων (ΒΔ του υδατορέματος), στο οποίο έχει αναπτυχθεί καρστική υδροφορία. Τα νερά αυτά είναι πλούσια σε  $Ca^{++}$  και  $Mg^{++}$ , καθώς εμπλουτίζονται από τον υδροφόρο και εν συνεχεία συμβάλουν στην επιφανειακή απορροή. Επιπρόσθετα, μέρος των υπόγειων νερών μπορεί να προέρχεται από το πορώδες ρωγμάτωσης του σχιστόλιθου.



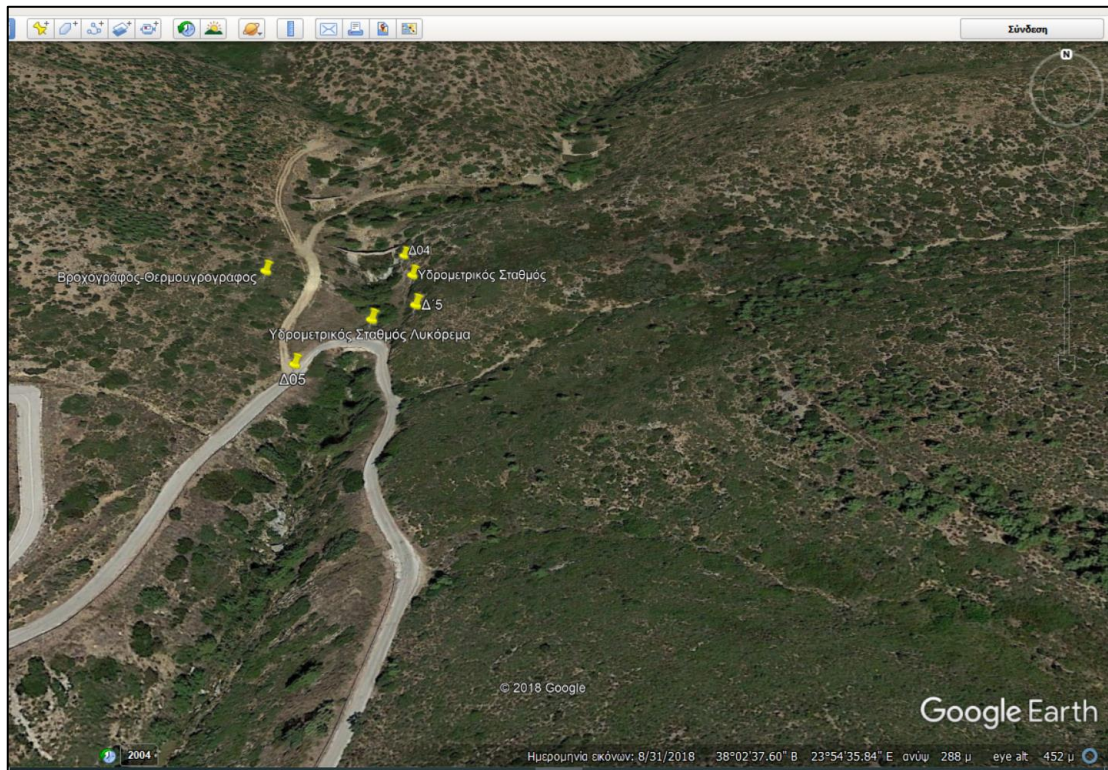


*Σχήμα 39. Θέση δειγματοληψίας του σημείο Δ4 (κόκκινο βέλος), όπου παρατηρείται τροφοδοσία υπόγειου νερού*

Ανάντη του σημείου Δ4 το νερό είναι στάσιμο και έχει λιμνάσει μπροστά από ένα φράγμα υπερχειλίσης. Το εν λόγω φράγμα είχε χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια

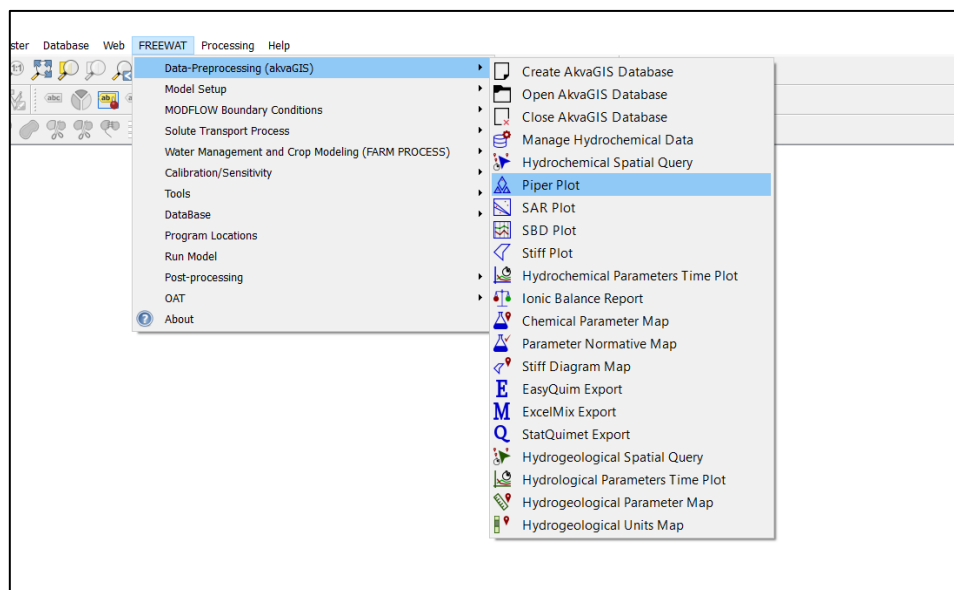


της διδακτορικής διατριβής του κ. Σούλη, για την μέτρηση της ποσότητας φερτών υλικών.



Σχήμα 40. Χάρτης με τα σημεία δειγματοληψίας Δ4 και Δ5.

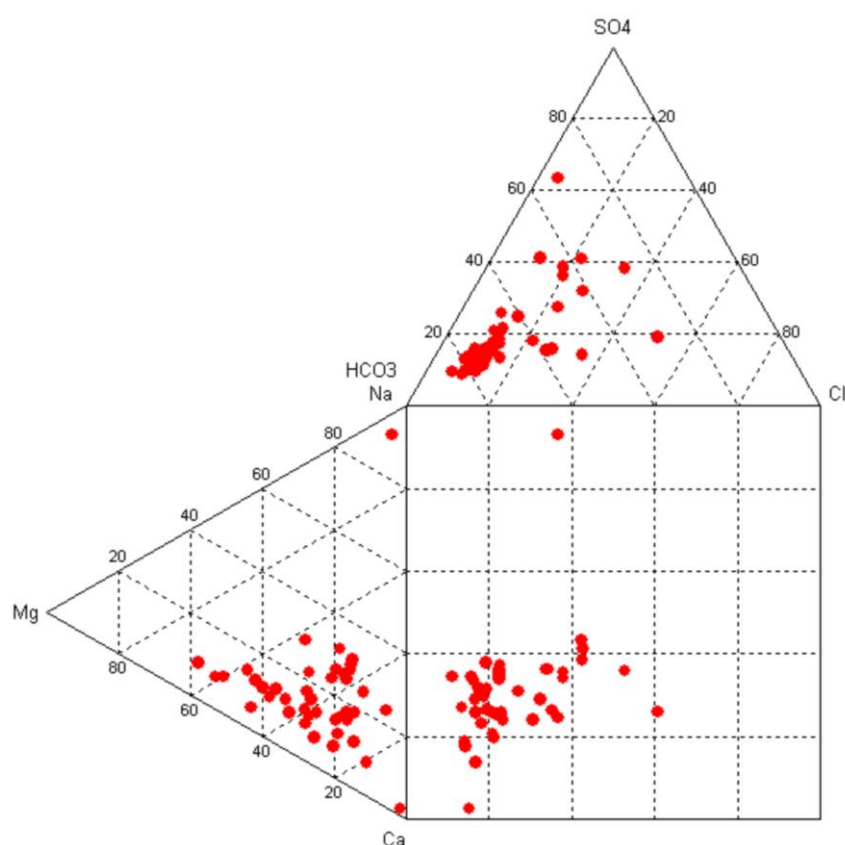
Ακολουθως, δημιουργήθηκαν διαγράμματα Ρίπερ και Δυρον με την χρήση του προγράμματος AkvaGIS, για τη καλύτερη απεικόνιση και κατανόηση των παραπάνω αποτελεσμάτων.



Σχήμα 41. Δημιουργία διαγραμμάτων Ρίπερ με τη χρήση QGIS – FREEWAT - akvaGIS

### Ταξινόμηση κατά Durov

Το διάγραμμα Durov είναι ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος τρόπος για την άμεση ταξινόμηση των υπογείων νερών σε διάφορους τύπους-φάσεις. Το εν λόγω διάγραμμα αποτελείται από δύο απλά τριγωνικά διαγράμματα, ιόντων και κατιόντων, που η τομή των προεκτάσεών τους προβάλλεται σε ένα κεντρικό ορθογώνιο διάγραμμα. Τα δείγματα ταξινομούνται, ανάλογα με τη χημική τους σύσταση και το επικρατέστερο ανιόν και κατιόν.

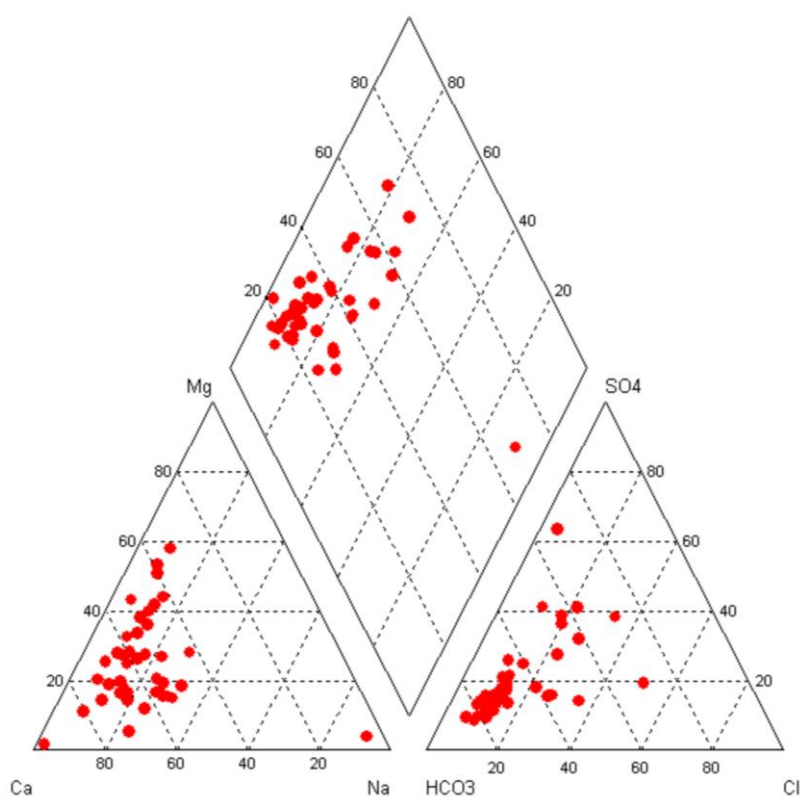


Σχήμα 42. Διάγραμμα Durov με τη χρήση QGIS – FREEWAT - akvaGIS

### Ταξινόμηση κατά Piper

Τα τριγωνικά διαγράμματα κατά Piper (1944) περιλαμβάνουν τη σύνθεση των κύριων ανιόντων και κατιόντων των δειγμάτων υπόγειων νερών, τα οποία προβάλλονται σε ανεξάρτητα τρίγωνα. Το αποτέλεσμα είναι η αναγωγή της χημικής σύστασης του υπόγειου νερού σε μεμονωμένα σημεία τα οποία αντιπροσωπεύουν την ποσοστιαία συγκέντρωση (σε mg/L) κάθε ανιόντος ή κατιόντος. Η συγκεκριμένη μέθοδος κατάταξης, αποδεικνύεται χρήσιμη για τον

εντοπισμό του υδροχημικού τύπου και για την ερμηνεία υδροχημικών σχέσεων μεταξύ των υπόγειων νερών.



Σχήμα 43. Διάγραμμα Piper με τη χρήση QGIS – FREEWAT - akvaGIS

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι τα δείγματα που πάρθηκαν κατά την ξηρή περίοδο είναι πλούσια σε  $\text{Ca}^{++}$  και σε  $\text{HCO}_3$ . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ύδατα, εκείνης της περιόδου, προέρχονται κατά κύριο λόγο από υπόγεια τροφοδοσία και λιγότερο από τις βροχοπτώσεις. Έτσι αποδεικνύεται ότι το νερό του Λυκορέματος προέρχεται από τον γειτονικό χαρτογραφημένο ανθρακικό όγκο (μάρμαρα ΒΑ Αττικής), ο οποίος βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης.

### 5.3. Ισοτοπικές αναλύσεις

Τα σταθερά ισότοπα δεν αναφέρονται με τις απόλυτες τιμές του ισοτοπικού λόγου R, διότι, σύμφωνα με τον Mook (2005) ο φασματογράφος μάζας, ο οποίος χρησιμοποιείται στις ισοτοπικές αναλύσεις, παρά το γεγονός ότι παρουσιάζει μεγάλη ακρίβεια ανίχνευσης, δεν μπορεί να μετρήσει απόλυτους

λόγους με ικανοποιητική αξιοπιστία. Η χρήση των ισοτοπικών λόγων θα οδηγούσε στην παρουσίαση αποτελεσμάτων με πολλά δεκαδικά ψηφία (5 ή 6). Υπάρχει ανάγκη για διεθνή σύγκριση των αποτελεσμάτων και οι απόλυτες τιμές διαφοροποιούνται για τα διάφορα μηχανήματα ανά τον κόσμο. Οι μετρήσεις των απόλυτων τιμών από την ίδια τη συσκευή μπορεί να διαφοροποιούνται όταν γίνονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές λόγω μεγάλης ευαισθησίας του φασματογράφου μάζας στις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Για τους παραπάνω λόγους, είναι απαραίτητο σε κάθε μέτρηση να γίνεται σύγκριση με ένα κοινό πρότυπο αναφοράς (standard), έτσι ώστε τα σφάλματα να μειωθούν σημαντικά. Κατά συνέπεια, ορίστηκε η παράμετρος δέλτα (δ) (McKinney et al. 1950) η οποία εκφράζει το λόγο της διαφοράς του ισοτοπικού λόγου στο δείγμα από τον ισοτοπικό λόγο του standard προς τον ισοτοπικό λόγο του προτύπου, δηλαδή:

$$\delta = (R_x - R_{st}) / R_{st} \cdot 10^3 (\text{‰}), \delta = (R_x / R_{st} - 1) \cdot 10^3 (\text{‰})$$

όπου  $R_x$  είναι ο ισοτοπικός λόγος του δείγματος και  $R_{st}$  είναι ο ισοτοπικός λόγος του προτύπου.

Επειδή το  $R_x$  δεν διαφέρει σημαντικά από το  $R_{st}$ , το κλάσμα  $R_x/R_{st}$  που προκύπτει είναι μικρός αριθμός. Για πρακτικούς λόγους γίνεται πολλαπλασιασμός με το 1000, έτσι ώστε να είναι πιο ευδιάκριτη η διαφοροποίηση της τιμής δ που σημαίνει ότι το ποσοστό επί τοις χιλίοις (‰) δεν αποτελεί μονάδα μέτρησης και επομένως η παράμετρος δ είναι αδιάστατη. (Ματιάτος, 2010).

Υπάρχει συσχέτιση των συγκεντρώσεων  $^{18}\text{O}$  και  $^2\text{H}$  στο μετεωρικό νερό με τη γραμμική σχέση που τις συνδέει είναι της μορφής  $\delta^2\text{H} = a\delta^{18}\text{O} + d$ .

Σε αυτό το συμπέρασμα κατέληξε το 1961 ο Craig (1961), ο οποίος διαπίστωσε ότι οι τιμές  $\delta^{18}\text{O}$  και  $\delta^2\text{H}$  των σύγχρονων επιφανειακών νερών που δεν έχουν υποστεί δευτερογενή εξάτμιση, συνδέονται μεταξύ τους σε παγκόσμια κλίμακα σύμφωνα με τη σχέση  $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10\text{‰ SMOW2}$  (Craig 1961b). Η εξίσωση αυτή αντιπροσωπεύει μια ευθεία η οποία είναι γνωστή και ως «Παγκόσμια

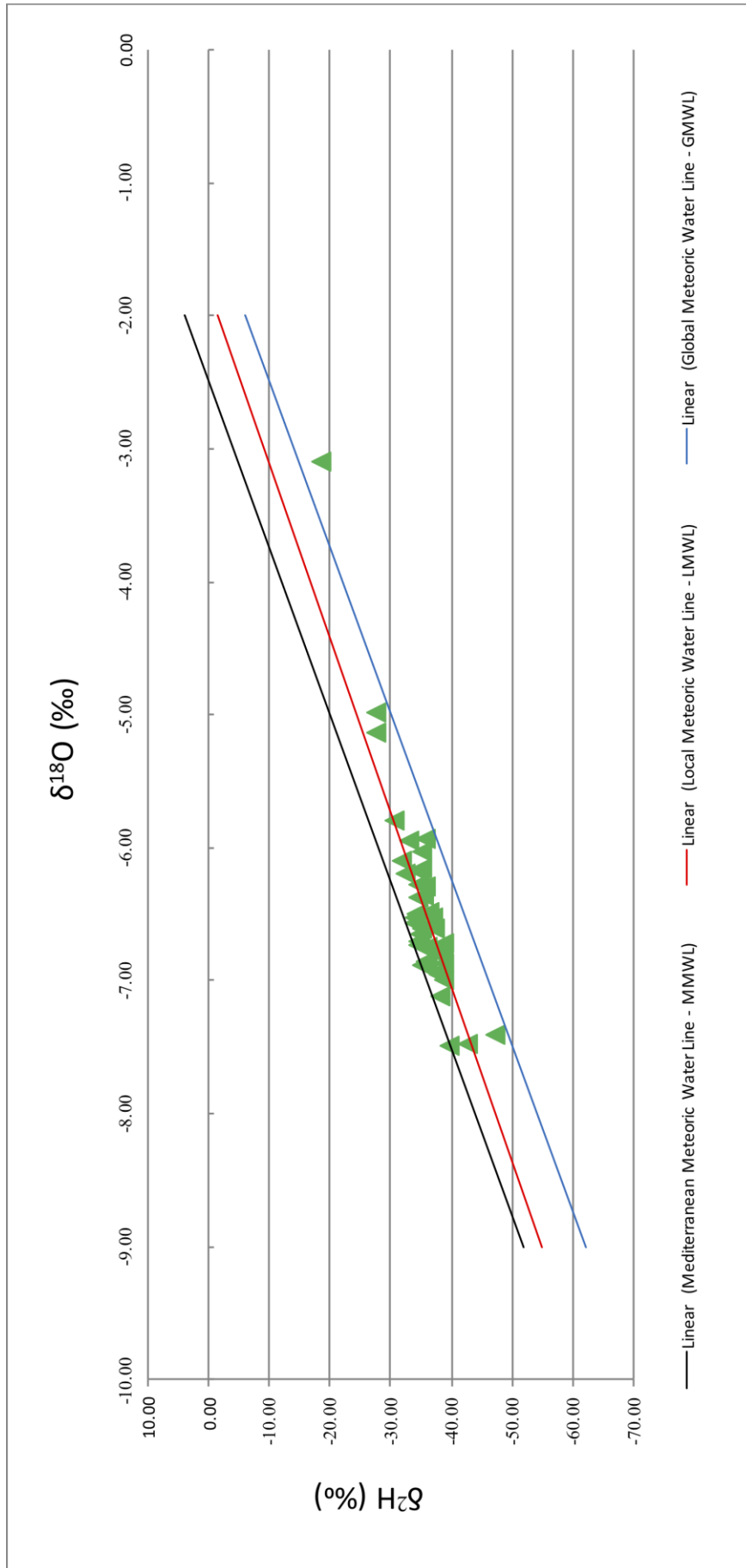


Ευθεία του Μετεωρικού Νερού» από τα αρχικά GMWL (Global Mean Water Line). Η ευθεία του Craig είναι στην ουσία μια μέση κατάσταση πολλών τοπικών ή περιφερειακών γραμμών μετεωρικού νερού που διαφοροποιούνται από την παγκόσμια γραμμή λόγω κλιματικών και γεωγραφικών παραμέτρων.

Η παράμετρος  $d = \delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$  ονομάζεται «περίσσεια Δευτερίου» και αντιπροσωπεύει πρακτικά το σημείο τομής της ευθείας του μετεωρικού νερού με τον άξονα  $\delta\text{D}$ . Η τιμή της περίσσειας δευτερίου σε μια περιοχή εξαρτάται από τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες και κυρίως από τη σχετική υγρασία στην πηγή προέλευσης των υδρατμών που, κατά κύριο λόγο, είναι η θάλασσα, με την οποία μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα (Dansgaard 1964, Merlivat & Jouzel 1979, Jouzel & Merlivat 1984, Gat & Matsui 1991, Gat et al. 1994, Kendall & Coplen 2001). Η τιμή της περίσσειας δευτερίου στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα σε εύκρατα ηπειρωτικά κλίματα κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0‰ και +20‰ (Rozanski et al. 1993, Simpkins 1995) με μέση παγκόσμια τιμή το +10‰. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε μια μέση σχετική υγρασία πάνω από τους ωκεανούς της τάξης του 81% (Sharp 2007). Αποκλίσεις προς θετικότερες τιμές λαμβάνουν χώρα σε περιοχές με ξηρότερα κλίματα και χαμηλή σχετική υγρασία (<81%) όπως για παράδειγμα συμβαίνει στην Ανατολική Μεσόγειο.

Τόσο τα δείγματα ( $\Delta 1-\Delta 5$  και  $\Delta^* 1-\Delta^* 6$ ), όσο και εκείνα που συλλέχθηκαν από το βροχοσυλλέκτη χρησιμοποιήθηκαν για ισοτοπική ανάλυση στο Εργαστήριο Υδρογεωλογίας του Πολυτεχνείου του Ντάρμστατ (TU Darmstadt, Institute of Applied Geosciences) στη Γερμανία.

Στο παρακάτω σχήμα παρατίθενται τα αποτελέσματα αυτών των αναλύσεων. Παρατηρούμε ότι οι τιμές των σταθερών ισοτόπων προσεγγίζουν την τοπική μετεωρική γραμμή κατά την υγρή περίοδο (δηλ. μετεωρικής προέλευσης), σε αντίθεση με τα δείγματα που ελήφθησαν κατά την ξηρή περίοδο, προερχόμενα από τους υδροφόρους σχηματισμούς της περιοχής. Επίσης, οι τιμές των  $\delta^2\text{H}$  και  $\delta^{18}\text{O}$  είναι χαμηλότερες την ξηρή περίοδο έναντι αυτών κατά την υγρή.



Σχήμα 44. Ισοτοπικές υπογραφές δειγμάτων νερού της περιοχής έρευνας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Συμπεράσματα-Συζήτηση

Κρίσιμης και καθοριστικής σημασίας αποδεικνύεται η αξία της συνεχούς παρακολούθησης και συλλογής δειγμάτων στην περιοχή μελέτης.

Η συλλογή των κατάλληλων και αξιόπιστων δειγμάτων καθώς και η διαρκής επικαιροποίηση τους, δίνουν τη δυνατότητα μιας πιο ολοκληρωμένης εποπτείας και κατανόησης της προέλευσης της επιφανειακής απορροής του υδατορέματος.

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή έχει ως στόχο τη διερεύνηση καθώς και την αποσαφήνιση του υδρολογικού και υδρογεωλογικού καθεστώτος της εν λόγω περιοχής, και κατά συνέπεια το διαχωρισμό της προέλευσης του νερού της επιφανειακής απορροής λεκάνης του Λυκορέματος Πεντέλης.

Από τα διαγράμματα Durov και Piper προκύπτει ότι τα δείγματα που πάρθηκαν κατά την ξηρή περίοδο είναι πλούσια σε  $\text{Ca}^{++}$  και σε  $\text{HCO}_3^-$ . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα νερά, εκείνης της περιόδου, προέρχονται κατά κύριο λόγο από υπόγεια τροφοδοσία και λιγότερο από τις βροχοπτώσεις. Έτσι αποδεικνύεται ότι το νερό του ρέματος Βαλανάρη προέρχεται από τον γειτονικό χαρτογραφημένο ανθρακικό όγκο (μάρμαρα ΒΑ Αττικής), ο οποίος βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρατηρείται μόνιμη ροή στο εν λόγω υδατόρεμα τόσο κατά την υγρή όσο και κατά την ξηρή περίοδο.

Για την ποσοτικοποίηση της συμβολής των υπόγειων νερών από τους τοπικούς υδροφορείς της λεκάνης θα πρέπει να πραγματοποιηθεί στοχευμένη έρευνα για να υπολογιστεί ο συντελεστής ενεργούς κατείσδυσης των μαρμάρων, ενώ ακόμα με την βοήθεια ιχνηθετών και γεωφυσικών μεθόδων (π.χ. γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις) θα μπορούσαμε να αποσαφηνίσουμε τη γεωμετρία του υπόγεια καρστικού συστήματος.

## Βιβλιογραφία

- Avigad, D., Garfunkel, Z., Jolivet, L. and Azanon, J. M., 1997 Back are extension and denudation of Mediterranean eclogites. *Tectonics*
- Bogli, A., 1960 Kalklösung und karrenbildung. *Zeitschrift für Geomorphologie. Supplementband*
- Brocker, M. and Franz, L., 1998 Rb-Sr isotope studies on Tinos Island (Cyclades, Greece) additional time constraints for metamorphism, extent of infiltration-controlled overprinting and deformational activity. *Geological Magazine*
- Craig H., 1961b Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. *Science*
- Dansgaard W., 1964 Stable isotopes in precipitation
- Ford D., C., & Williams P., W., 1989 *Karst geomorphology and hydrology*. Unwin Hyman, London
- Ford D., Williams P., 2007 *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, John Wiley & Sons, LTD, West Sussex, England
- Gams I., 1973: *Slovenska Kraska terminologija (Slovene Karst Terminology)*, Zveza Geografskih Institucij Jugoslavije Ljubljana
- Gams I., 2003 *Karst in Slovenia in space and time*. ZRC, ZRC SAZU, Ljubljana (in Slovenian with English summary)
- Gams X., 2000, *Doline morphogenetic processes from global and local view points*, *Acta Carstologica Ljubljana*
- Gams X., 2001 *Notion and forms of contact karst*, *Acta Carstologica Ljubljana*
- Gat J.R. Matsui E., 1991 Atmospheric water balance in Amazon Basin: An isotopic evapotranspiration model, *J. Geophys.*



- Gat et al. 1994 The contribution of evaporation from the Great Lakes to the continental atmosphere; estimate based on stable isotope data, *Geophys Res.*
- Gines A., Knez M., Slabe T., Dreybrodt W., 2009 Karst rock features karren sculpturing. *Littera picta d.o.o.*, Ljubljana
- Huntoon, P. W., 1995 Is it appropriate to apply porous media groundwater circulation models to karstic aquifers? In: El-Kadi, A.I., ed.: *Groundwater models for resources analysis and management*. Boca Raton: Lewis Publishers
- Ian Clark, 2015 *Groundwater geochemistry and isotopes*, New York
- ΙΓΜΕ, 2001 Φύλλο «Κηφισιά»
- Jouzel J., Merlivat L., 1984 Deuterium and oxygen 18 in precipitation: modelling of the isotope effects during snow formation. *J. Geophys Res.*
- Κακαβά Μαρία, 2013 Υδρογεωλογική μελέτη του καρστικού συστήματος των Τριαδικών ανθρακικών λατυποπαγών στην περιοχή Ξηρόμερο, Αιτωλοακαρνανία, Διπλωματική εργασία, Πάτρα
- Καλλέργης Γ., 2000 Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, Δεύτερη Έκδοση, Τόμος Β, Αθήνα
- Καραγκούνη Β., 2015 The Dionysos fault NE Attica, Geological mapping, Structural Analysis and Seismic Hazard Assessment, Διπλωματική εργασία, Ε.Κ.Π.Α. Αθήνα
- Kendall C., Coplen T.B., 2001 Distribution of oxygen 18 and deuterium in river waters across the United States, *Hydrological Process*
- Klimchouk, A., B., & Ford, C., 2000 Lithologic and structural controls of dissolutional cave development. In: Klimchouk, A., B., Ford, D., C., Palmer, A., N., Dreybrodt, W., Eds. *Speleogenesis. Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society. Huntsville, Alabama

Κόκκα Ε., 2018 Ολιστική περιβαλλοντική διευθέτηση της άνω λεκάνης απορροής του ρέματος Βαλανάρη στην Πεντέλη ως περιαστική έκταση στο Ντράφι, Διπλωματική εργασία, Αθήνα

Kranjc, A. 2001 About the Name Kras (Karst) in Slovenia, 13th International Congress of Spele-ology 4th Speleological Congress of Latin Amé-rica and Caribbean 26th Brazilian Congress of Speleology Brasília DF

Λέκκας Σπ., Αλεξόπουλος Απ., 2005 Εισαγωγή στην υδρογεωλογία, Αθήνα

Ματιάτος Ιωάννης, 2010 Υδρογεωλογικές κα Ισοτοπικές Μελέτες στις Περιοχές της Χερσονήσου της Αργολίδας, Αθήνα, σελ.256

Mazor E., 2004 Chemical and Isotopic groundwater hydrology, New York

McKinney C, McCrea J, Epstein S, Allen H& Urey H. 1950 Improvements in mass spectrometers for the measurement of small differences in isotope abundance ratios. Rev. Sci. Instrum.

Merlivat L., Jouzel J., 1979 Global climae interpretation of the deuterium-oxygen 18 relationship for precipitation J. Geophys Res.

Μηλίωνης Γ., 2017 Μελέτη Γεωλογικής καταλληλότητας Δήμου Πεντέλης, Αθήνα

Mook, W.G., 2005 Introduction to Isotope Hydrology, Taylor & Francis

Μπαριάμης Γ., 2013 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων του υδρολογικού μοντέλου HEC – HMS και εφαρμογή στη λεκάνη του ρέματος Ραφήνας, Διπλωματική εργασία, Αθήνα

- Μυρμηγιάννης Ιωάννης, 2005 Μοντελοποίηση καρστικού σπηλαίου στα πλαίσια ανάδειξης και προβολής φυσικών πόρων, Διπλωματική εργασία, Χανιά
- Naohiro Yoshida, 2001 Hydrogen and Oxygen Isotopes in Hydrology, Hydrospheric Atmospheric Research Center, Nagoya University
- Nikod, J., 1976 Corrosion de type crypto-karstique dauw les karst mediterranneus. In: Karst Processes and Relevant Landforms. Departement of Geography, Psilosophical Falculty, Ljubljana
- Ομπετσανοφ Ι., Κουμαντάκης Ι., Σταματάκη Σ. 2004 Καρστικές πηγές στην Ελλάδα, Αποτύπωση και Αξιολόγηση με τη χρήση Γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (G.I.S.)
- Palmer, N., A., 2003 Speleogenesis in carbonate rocks. Speleogenesis and evolution of Karst Aquifers, Virtual Scientific Journal, [www.speleogenesis.info](http://www.speleogenesis.info)
- Παναγιωτόπουλος Π., 2013 Διερεύνηση των τεχνικογεωλογικών – γεωτεχνικών συνθηκών σε περιοχές του δήμου Παλλήνης, Ανατολικής Αττικής, Διπλωματική εργασία, Αθήνα
- Παπαδοπούλου – Βруνιώτη, Κ., 2000 Σημειώσεις θεμάτων Καρστικής Γεωμορφολογίας, Εθν. και Καποδ. Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σχ. Θετ. Επιστημ., Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωγραφίας – Κλιματολογίας
- Παπανικολάου Δ., 1986 Γεωλογία της Ελλάδας, Αθήνα
- Papathanasiou C., Makropoulos C. and Mimikou M., 2013b “An innovative approach to Floods and Fire Risk Assessment and Management: the FLIRE Project”, Proc. 8th International Conference of EWRA "Water Resources Management in an Interdisciplinary and Changing Context", 26th-29th June 2013, Porto, Portugal

Piper A.M., 1944 A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water-Analyses. Eos, Transactions American Geophysical Union

Ρεϊζοπούλου Αγγελική, 2013 Καρστική Γεωμορφολογία της Ανατολικής Οθρύος. Η περιοχή Μέγα-Λάκκου Νεροσπηλιάς , Διατριβή ειδίκευσης, Θεσσαλονίκη

Ring, U., and Reischmann, T., 2002 The weak and superfast Cretan detachment, Greece: Exhumation at subduction rates in extrusion wedges: Journal of the Geological Society, London

Rozanski K. et al., 1993 Isotopic patterns in modern global precipitation. In climate Change in Continental Isotopic Records, Geophysical Monograph, vol. 78

Shaked, Y., Avigad, D., Garfunkel, Z., 2000 Alpine high-pressure metamorphism at the Almyropotamos window (southern Evia, Greece). Geological Magazine

Sharp Z., 2007 Principles of stable isotope geochemistry. Prentice-Hall, New Jersey

Simpkins, A. A., Verification of VENTSAR, 1995 Westinghouse Savannah River Company Report: WSRC-RP-95-89, Aiken, SC

Σούλης Κ., 2009 Διαχείριση υδατικών πόρων: Ανάπτυξη υδρολογικού μοντέλου με τη χρήση γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων, Διδακτορική διατριβή, Αθήνα

Soulis et. al., Wildfires impact on hydrological response – the case of Lykorrema experimental watershed, Greece

Strahler, R.E., 1952 Hypsometric (area- altitude) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin



Willem M., 2000 Environmental isotopes in the hydrological circle, Paris