



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



Μεταπτυχιακή διατριβή

**Γεωλογική και υδροχημική μελέτη των ιστορικά ιαματικών και
θερμομεταλλικών πηγών του νομού Ρεθύμνης**

Σπαντιδάκης Στυλιανός
Διπλωματούχος Μηχανικός Ορυκτών Πόρων

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθ. Ε. Μανούτσογλου (Επιβλέπων),
Καθ. Ν. Καλλίθρακας - Κόντος,
Δρ. Ν. Σπανουδάκης, ΕΔΙΠ

Χανιά, Νοέμβριος 2021

Η έγκριση της παρούσας διπλωματικής εργασίας από το Πολυτεχνείο Κρήτης, δεν σημαίνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Νόμος 5343/1932, άρθρο 202)

Στην οικογένειά μου

Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά τον καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης κύριο Μανούτσογλου Εμμανουήλ, τόσο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του θέματος καθώς και για την στήριξη που μου παρείχε απλόχερα κατά την εκπόνηση της εργασίας.

Δεύτερον, ευχαριστώ τον κύριο Καλλίθρακα - Κόντο Νικόλαο, καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης για την συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και για τις παρατηρήσεις του.

Από καρδιάς ευχαριστώ τον Δρ. Σπανουδάκη Νικόλαο ΕΔΙΠ του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης για τις επιστημονικές συμβουλές, τη συμμετοχή του στην επιτροπή και την συνολική του βοήθεια κατά το διάστημα εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Ακόμα ευχαριστώ τον καθηγητή της σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης κύριο Νικολαΐδη Νικόλαο για την δυνατότητα πραγματοποίησης των χημικών αναλύσεων.

Επίσης, ευχαριστώ την Δρ. Βουτσαδάκη Στυλιανή και την κυρία Μαρία- Λιλιάννα Σάρου για την άμεση ανταπόκριση στην πραγματοποίηση των αναλύσεων και την συνολική επιστημονική τους υποστήριξη.

Οφείλω ένα τεράστιο ευχαριστώ στον κύριο, Τσουρδαλάκη Αντώνιο, πρόεδρο του δημοτικού συμβουλίου του δήμου Αγίου Βασιλείου, για την υπόδειξη της θέσης των πηγών πλησίον του χωριού Μέλαμπες. Για το χρόνο του και τη προθυμία του ευχαριστώ ακόμα τον κύριο Περογιαννάκη.

Ευχαριστώ τους κυρίους Λουκογεωργάκη και Φουσταλιεράκη, για την υπόδειξη των θέσεων των πηγών στα χωριά Αρολίθι και Βιλανδρέδο καθώς και τους κυρίους Εμμανουήλ και Αριστοτέλη Καλοειδά για την υπόδειξη της θέσης της πηγής Μέρωνας.

Τέλος ευχαριστώ την οικογένειά μου για την στήριξή τους και τους φίλους μου για την συμπαράσταση καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Γεωλογική και υδροχημική μελέτη των ιστορικά ιαματικών και θερμομεταλλικών πηγών του νομού Ρεθύμνης

Περίληψη-Σκοπός

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, γίνεται μια προσπάθεια συστηματικής αποτίμησης δεδομένων γεωλογικής και υδροχημικής έρευνας υδάτινων πηγών, που φιλοξενούνται και εκφορτίζουν υδροφόρους της Περιφερειακής Ενότητας Ρεθύμνου, τα ύδατα των οποίων έχουν καταγραφεί ιστορικά ως θερμομεταλλικά/ιαματικά, σε μια συστηματική έρευνα που έγινε προπολεμικά και τα αποτελέσματά της δημοσιεύτηκαν, το 1938. Εκτός από τις πηγές που αναφέρθηκαν στη βιβλιογραφία, εξετάστηκαν και πηγές που χαρακτηρίζονται κατ' εφημισμό ιαματικές.

Πέραν της μέτρησης φυσικοχημικών παραμέτρων που μετρήθηκαν *in situ* και της γεωχημικής ανάλυσης κύριων και ιχνοστοιχείων, στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα που προέκυψαν, με όρια που έχουν τεθεί διαχρονικά από διάφορες οδηγίες διαφόρων οργανισμών και θεσμών (π.χ. της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, WHO κτλ), για τον καθορισμό π.χ. των ανώτατων τιμών συγκεντρώσεων συγκεκριμένων στοιχείων, ή/και των ενδείξεων για την επισήμανση των συστατικών των φυσικών μεταλλικών νερών κτλ.

Ακόμα έγινε ομαδοποίηση των πηγών με βάση τον σχηματισμό στον οποίο εμφανίζονται οι εκροές και παράθεση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων σε διαγράμματα ανά σχηματισμό.

Από τα αποτελέσματα αυτών των αναλύσεων προέκυψε ότι θερμοκρασία των πηγών κυμαίνεται από 16.2 °C έως 27.9 °C, ανεξάρτητα από την περίοδο δειγματοληψίας (υγρή-ξηρή). Επιπλέον το pH των πηγών κυμαίνεται από όξινο έως βασικό με ελάχιστη τιμή 5.5 στη πηγή Καπεδιανά και μέγιστη στις πηγές Μούταλη και Λιχνιστής με pH 7.8.

Η θερμοκρασία των πηγών λαμβάνει τιμές από 14,3°C στην πηγή Αρολίθι έως και 26,4 °C στη πηγή Λιχνιστής.

Οι τιμές των διαλυμένων στερεών (TDS) κυμαίνονται από 60 στην πηγή Αρολίθι έως 620 mg/L στη πηγή Λιχνιστής καταλήγοντας στο συμπέρασμα πως οι πηγές δεν είναι μεταλλικές.

Οι ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται μεταξύ 280 στην πηγή Καπεδιανά και 1240 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στη πηγή Λιχνιστής.

Ακόμα μετρήθηκαν οι τιμές του ραδονίου όπου στα δείγματα της πηγής Κάστελλος μετρήθηκε συγκέντρωση 17.213 (Bq/m³) όπου η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρατηρείται στα ύδατα της πηγής Λιχνιστής.

Τέλος πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις παροχών όπου η μεγαλύτερη παροχή μετρήθηκε στην πηγή Άνω Βαλσαμόνερο κατά την μέτρηση του μήνα Απριλίου με τιμή περίπου 1,5m³.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να αναδείξει τις χημικές ενώσεις που εμπεριέχονται στις πηγές που αναφέρονται έτσι ώστε να εμπλουτίσει την παλαιότερη δημοσίευση του κ Λέκκα , η οποία φέρει αρκετά πρώιμη ημερομηνία και δεν ανταποκρίνεται στην σημερινή κατάσταση. Μέσα από αυτό δόθηκαν και γενικότερα στοιχεία για τον ορισμό και την κατηγοριοποίηση των πηγών καθώς και των ευεργετικών επιδράσεων στον άνθρωπο.

Abstract

In this master thesis, an attempt is made to systematically evaluate data from geological and hydrochemical research of water springs, which are located and discharge aquifers of the Rethymnon Regional Unit, whose waters have been recorded historically as healing and metallic research published in 1938. In addition to the springs mentioned in this bibliography, springs that have the reputation discharging healing waters were also examined.

In addition to the measurement of physicochemical parameters measured in situ and the geochemical analysis of principals and trace elements in this work, the results obtained were used and compared with limits set over time by various directives of various organizations and institutions (eg European Commission, WHO, etc.).), to determine e.g. the maximum values of concentrations of specific elements, and / or the indications for the labeling of the components of natural mineral waters, etc.

The springs based on the formation in which the outputs appear and the results of the chemical analyzes in diagrams per formation were also grouped.

The results of these analyzes showed that the temperature of the springs ranged from 16.2 to 27.9 oC, regardless of the sampling period (wet-dry). In addition, the pH of the springs ranges

from acidic to basic with a minimum value of 5.5 at the Kapediana spring and a maximum at the Moutali and Lichnistis springs with a pH of 7.8.

The temperature of the springs reaches values from 14.3oC at the spring Arolithi up to 26.4 oC at the spring Lichnistis.

The values of dissolved solids (TDS) range from 60 at the Arolithi spring to 620 mg / L at the Liquidator spring, concluding that the springs are not metallic.

The electrical conductivity ranges between 280 at the Cappadocia spring and 1240 uS / cm at the Liquidator spring.

Radon values were also measured where at the samples of the Castellors spring a concentration of 17,213 (Bq / m³) was measured where the highest concentration is observed in the waters of the Lichnistis spring(63 Bq / m³).

Finally, flow rate measurements were made where the largest supply was measured at the spring Ano Valsamonero during the measurement in April at a value of approximately 1.5m³.

(Γεωλογική και υδροχημική μελέτη των ιστορικά ιαματικών και θερμομεταλλικών πηγών του νομού Ρεθύμνης)

Κατάλογος Πινάκων

| | |
|--|---------|
| Πίνακας 1. Πηγές που αναφέρονται από το Λέκκα(1938) | xiv |
| Πίνακας 2-1 Ταξινόμηση πηγών με βάση την παροχή (Meinzer, 1923) | - 35 - |
| Πίνακας 5-1. Πίνακας δεδομένων. Χρόνος δειγματοληψίας, θέσεις πηγών και κύρια ιόντα. - | 79 - |
| Πίνακας 5-2. Πίνακας δεδομένων με τις συγκεντρώσεις σε ιχνοστοιχεία. | - 81 - |
| Πίνακας 5-3 Μετρήσεις ραδονίου για πηγές του νομού Ρεθύμνου κατά τη πρώτη δειγματοληψία | - 106 - |
| Πίνακας 5-4 Μετρήσεις παροχών σε m^3/h | - 107 - |

Πίνακας Εικόνων

| | |
|---|---------------|
| Εικόνα 1. Κατανομή ιαματικών πηγών Ελλάδος (ΕΟΤ, 1996) | xxiii |
| Εικόνα 2. Κατανομή ιαματικών πηγών ανά περιοχή (ΕΟΤ, 1996) | xxiii |
| Εικόνα 3. Πλήθος θερμομεταλλικών ανά χρήση και λειτουργία (Μπαξεβάνη & Φράγκου, 2014, Καραμολέγκου, 2011)..... | xxiv |
| <i>Εικόνα 1-1. Στρωματογραφική στήλη σχηματισμών νεογενούς Ρεθύμνου (Ντρίνια, 1998).- 29</i> | |
| - | |
| <i>Εικόνα 1-2 Προβολή πηγών στο φυλλο γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ Ρέθυμνο. Αρχική κλίμακα χάρτη 1:50.000.....</i> | <i>- 30 -</i> |
| <i>Εικόνα 1-3. Προβολή θέσεων πηγών στο γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ Μέλαμπες αρχικής κλίμακας 1:50.000.....</i> | <i>- 31 -</i> |
| <i>Εικόνα 2-1.Σχηματική απεικόνιση πηγών βαρύτητας (τροποποιημένη από Milojevic, 1966)- 36</i> | |
| - | |
| <i>Εικόνα 2-2.Σχηματική απεικόνιση εμφανίσεων πηγών διαφορετικών θερμοκρασιών σε ρηγματωμένη ζώνη, καλυμμένη από ιζήματα(Kresic, 2010).....</i> | <i>- 37 -</i> |
| <i>Εικόνα 2-3.Σχηματική απεικόνιση Estavelle(Kresic, 2010).....</i> | <i>- 38 -</i> |
| <i>Εικόνα 2-4.Σχηματική απεικόνιση καρστικού πεδίου(www.iah.org/karst).....</i> | <i>- 41 -</i> |
| <i>Εικόνα 5-1. Διάγραμμα ripper για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της ζώνης Τρίπολης.....</i> | <i>- 82 -</i> |
| <i>Εικόνα 5-2. Διάγραμμα Schoeller για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της ζώνης Τρίπολης.....</i> | <i>- 83 -</i> |
| <i>Εικόνα 5-3 Διάγραμμα SAR για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της ζώνης Τρίπολης.....</i> | <i>- 83 -</i> |
| <i>Εικόνα 5-4 Διάγραμμα ripper για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός των πλακωδών ασβεστολίθων.....</i> | <i>- 84 -</i> |
| <i>Εικόνα 5-5 Διάγραμμα Schoeller για το δείγμα από την πηγή που εκρέει εντός των πλακωδών ασβεστολίθων.....</i> | <i>- 85 -</i> |
| <i>Εικόνα 5-6 Διάγραμμα SAR για το δείγμα από τη πηγή που εκρέει εντός των πλακωδών ασβεστολίθων.....</i> | <i>- 85 -</i> |
| <i>Εικόνα 5-7 Διάγραμμα ripper για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της ζώνης Πίνδου.....</i> | <i>- 86 -</i> |
| <i>Εικόνα 5-8 Διάγραμμα Schoeller για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της ζώνης Πίνδου.....</i> | <i>- 87 -</i> |

| | |
|--|---------|
| <i>Εικόνα 5-9 Διάγραμμα SAR για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της ζώνης Πίνδου</i> | - 87 - |
| <i>Εικόνα 5-10 Διάγραμμα river για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της φυλλιτικής χαλαζιτικής σειράς</i> | - 89 - |
| <i>Εικόνα 5-11 Διάγραμμα Schoeller για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της φυλλιτικής χαλαζιτικής σειράς</i> | - 90 - |
| <i>Εικόνα 5-12 Διάγραμμα SAR για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της φυλλιτικής χαλαζιτικής σειράς</i> | - 90 - |
| <i>Εικόνα 5-13 Διάγραμμα river για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός μετά-αλπικών σχηματισμών</i> | - 93 - |
| <i>Εικόνα 5-14 Διάγραμμα Schoeller για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός μετά-αλπικών σχηματισμών</i> | - 93 - |
| <i>Εικόνα 5-15 Διάγραμμα SAR για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός μετά-αλπικών σχηματισμών</i> | - 94 - |
| <i>Εικόνα 5-16 Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων ασβεστίου</i> | - 95 - |
| <i>Εικόνα 5-17 Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων μαγνησίου</i> | - 96 - |
| <i>Εικόνα 5-18 Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων χλωρίου</i> | - 96 - |
| <i>Εικόνα 5-19 Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων νατρίου</i> | - 97 - |
| <i>Εικόνα 5-20 Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων καλίου</i> | - 98 - |
| <i>Εικόνα 5-21 Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων φθορίου</i> | - 98 - |
| <i>Εικόνα 5-22. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων βορίου</i> | - 99 - |
| <i>Εικόνα 5-23. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων βαρίου</i> | - 100 - |
| <i>Εικόνα 5-24. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων χαλκού</i> | - 100 - |
| <i>Εικόνα 5-25. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων λιθίου</i> | - 101 - |
| <i>Εικόνα 5-26. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων μαγγανίου</i> | - 101 - |
| <i>Εικόνα 5-27. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων μολυβδαινίου</i> | - 102 - |
| <i>Εικόνα 5-28. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων μολύβδου</i> | - 102 - |
| <i>Εικόνα 5-29. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων αντιμονίου</i> | - 103 - |
| <i>Εικόνα 5-30. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων βαναδίου</i> | - 104 - |
| <i>Εικόνα 5-31. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων ψευδαργύρου</i> | - 104 - |
| <i>Εικόνα 5-32. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων σιδήρου</i> | - 105 - |
| <i>Εικόνα 5-33. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων στρόντιο</i> | - 105 - |
| <i>Εικόνα 5-34. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων σεληνίου</i> | - 106 - |

| | |
|---|---------|
| Εικόνα 45. Διάγραμμα Piper για τις πηγές που εκρέουν στη φυλλιτική χαλαζιτική σειρά και αναφέρονται στο Λέκκα, 1938 | - 140 - |
| Εικόνα 46. Διάγραμμα Schoeller για τις πηγές που εκρέουν στη φυλλιτική χαλαζιτική σειρά και αναφέρονται στο Λέκκα, 1938 | - 140 - |
| Εικόνα 47 Διάγραμμα Schoeller για τις πηγές που εκρέουν στη ζώνη Πίνδου..... | - 141 - |
| Εικόνα 48. Διάγραμμα Piper για τις πηγές που εκρέουν στη ζώνη Πίνδου και αναφέρονται στο Λέκκα, 1938..... | - 141 - |
| Εικόνα 49. Διάγραμμα Piper για τις πηγές που εκρέουν στους πλακώδεις ασβεστόλιθους και αναφέρονται στο Λέκκα, 1938 | - 142 - |
| Εικόνα 50. Διάγραμμα Schoeller για τις πηγές που εκρέουν στους πλακώδεις ασβεστολίθους και αναφέρονται στο Λέκκα, 1938 | - 142 - |
| Εικόνα 51. Διάγραμμα Piper για τις πηγές που εκρέουν στη ζώνη Τρίπολης και αναφέρονται στο Λέκκα, 1938 | - 142 - |
| Εικόνα 52 Διάγραμμα Schoeller για τις πηγές που εκρέουν στη ζώνη Τρίπολης και αναφέρονται στο Λέκκα, 1938 | - 143 - |

Πίνακας Περιεχομένων

| | |
|---|--------|
| Γεωλογική και υδροχημική μελέτη των ιστορικά ιαματικών και θερμομεταλλικών πηγών του νομού Ρεθύμνης | i |
| Περίληψη-Σκοπός | i |
| Abstract | ii |
| Κατάλογος Πινάκων | iv |
| Εισαγωγή | xii |
| Αρχαία Ελλάδα και Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία | xvii |
| Η εξέλιξη του θερμαλισμού στη νεότερη Ευρώπη και Ελλάδα | xviii |
| Οι ιαματικές πηγές στη σύγχρονη Ελλάδα | xx |
| Σημερινή κατάσταση των ιαματικών πηγών | xxii |
| Ιαματικές πηγές τουριστικής και τοπικής σημασίας | xxiv |
| Ισχύον νομικό πλαίσιο | xxvi |
| Κεφάλαιο 1: Γεωλογικά και Γεωγραφικά Στοιχεία Περιοχής Ρεθύμνου | - 28 - |
| 1.1 Γεωγραφικά Στοιχεία Περιοχής Ρεθύμνου | - 28 - |
| 1.2 Γεωλογικά Στοιχεία Ρεθύμνου | - 28 - |
| 1.3 Γεωλογική Επισκόπηση Περιοχής Μελέτης | - 29 - |
| Κεφάλαιο 2: Υδρολογικά – Υδρογεωλογικά Στοιχεία | - 34 - |
| 2.1 Είδη πηγών | - 35 - |
| 2.2 Θερμές, Ζεστές και Ιαματικές πηγές | - 38 - |
| 2.3 Μηχανισμοί εκροής | - 40 - |
| 2.4 Καρστικές πηγές και καρστικοί υδοφορείς | - 41 - |
| 2.5 Υδρογεωλογικά στοιχεία περιοχής Ρεθύμνου- Κρήτης | - 42 - |
| 2.5.1 Στοιχεία για τις πηγές και τα ιζήματα της περιοχής Ρεθύμνου | - 42 - |
| Κεφάλαιο 3: Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Νερών και Στοιχεία Υδροχημείας | - 44 - |
| 3.1 Εμφανίσεις Χημικών Στοιχείων στα Φυσικά Νερά | - 44 - |
| 3.1.1 Κύρια Στοιχεία | - 44 - |

| | | |
|-------|--|---------|
| 3.2 | Αλκαλικές Γαίες | - 61 - |
| | Κεφάλαιο 4: Διαδικασίες Μετρήσεων | - 76 - |
| | Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα | - 77 - |
| 5.1 | Πηγές που εκρέουν εντός Αλπικών Σχηματισμών..... | - 82 - |
| 5.1.1 | Πηγές που εκρέουν εντός σχηματισμών της ζώνης Τρίπολης..... | - 82 - |
| | Αποτελέσματα για τη πηγή Μέρωνας | - 83 - |
| | Δειγματοληπτικά αποτελέσματα για τη πηγή Γεράνι..... | - 84 - |
| 5.1.2 | Πηγές που εκρέουν εντός των πλακωδών ασβεστολίθων..... | - 84 - |
| | Αποτελέσματα για τη πηγή Καπεδιανά..... | - 85 - |
| 5.1.3 | Πηγές που εκρέουν εντός σχηματισμών της ζώνης Πίνδου | - 86 - |
| | Αποτελέσματα για τη πηγή Αγαλιανός | - 87 - |
| | Αποτελέσματα για τη πηγή Μούταλη | - 88 - |
| | Αποτελέσματα για τη πηγή Λιγιόλακκος..... | - 88 - |
| | Αποτελέσματα για τη πηγή Λιχνιστής | - 89 - |
| 5.1.4 | Πηγές που εκρέουν εντός σχηματισμών της Φυλλιτικής- Χαλαζιτικής σειράς | - 89 - |
| | Αποτελέσματα για τη πηγή Ρουκουνέλι..... | - 90 - |
| | Αποτελέσματα για τη πηγή Αρολίθι..... | - 91 - |
| | Αποτελέσματα για τη πηγή Κάστελλος..... | - 91 - |
| | Αποτελέσματα για τη πηγή Άνω Βαλσαμόνερο..... | - 92 - |
| | Αποτελέσματα για τη πηγή Σόρικα..... | - 92 - |
| 5.2 | Πηγή που εκρέει εντός μετά-αλπικών σχηματισμών | - 93 - |
| | Αποτελέσματα για τη πηγή Λίγγρες | - 94 - |
| 5.3 | Συγκριτικά Ραβδογράμματα | - 94 - |
| 5.3.1 | Συγκριτικά ραβδογράμματα κύριων στοιχείων | - 94 - |
| 5.3.2 | Συγκριτικά διαγράμματα ιχνοστοιχείων..... | - 98 - |
| 5.4 | Μετρήσεις Ραδονίου | - 106 - |

| | |
|--|---|
| 5.5 Αποτελέσματα μετρήσεων παροχών..... | - 107 - |
| Κεφάλαιο 6: Συζήτηση-Συμπεράσματα..... | - 108 - |
| <p>Η συγκέντρωση σε ασβέστιο κυμάνθηκε από 144 mg/l έως 5,78 mg/l, η συγκέντρωση σε μαγνήσιο κυμάνθηκε από 194,82mg/l έως 4,15 mg/l, η συγκέντρωση σε νάτριο κυμάνθηκε από 1094,25mg/l έως 9,55mg/l, η συγκέντρωση σε κάλιο κυμάνθηκε από 42,16 mg/l έως και κάτω από το όριο ανίχνευσης της μεθόδου, η συγκέντρωση σε χλώριο κυμάνθηκε από 9710mg/l έως 17,68 mg/l, η συγκέντρωση σε ανθρακικό κυμάνθηκε από 311,6mg/l έως 20,6mg/l.</p> | |
| Βιβλιογραφία | - 111 - |
| Ελληνική | - 111 - |
| <ul style="list-style-type: none"> • Αθανασιάδου Α. (2013).Καταγραφή φυσικών και χημικών ιδιοτήτων 73 εδαφών της Ελλάδας Πτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας,Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος. • Ασλάνογλου Λ. (2015).Ειδοταυτοποίηση μαγγανίου σε βιολογικά δείγματα με εφαρμογή της μεθόδου HPLC-ICP-MS, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών..... • Βογιάννης Γ. (2005): Το ραδόνιο στα ιαματικά λουτρά, Μυτιλήνη, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αγαίου, Τομέας περιβαλλοντικής μηχανικής και επιστήμης, 215 σελ., Μυτιλήνη..... • Βουδούρης Κ. (2009): Θέματα υδρογεωλογίας περιβάλλοντος. Εκδόσεις Τζιόλα Θεσσαλονίκη. Σελ 35-67..... • Βουδούρης Κ. (2015): Εκμετάλλευση & Διαχείριση Υπόγειου Νερού. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, Χανιά, σελ. 35-67..... • Γηρούση Σ. (1996). Μελέτη και ανάπτυξη μεθόδων βολταμμετρικού προσδιορισμού βιοστοιχείων, Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης,Τμήμα Χημείας. • Θεοδοσίου Γ.,Τσαρουχάς Χ. (2013). Μελέτη της εκροής ραδονίου από το έδαφος, Διπλωματική Εργασία,Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών..... | - 111 - - 111 - - 111 - - 111 - - 111 - - 111 - - 112 - |

| | |
|---|----------------|
| • Καραπαναγιωτίδης Π.Δ. (2020). Δηλητηρίαση από βαρέα μέταλλα ανασκόπηση περιστατικών κλινική εικόνα-διάγνωση-θεραπεία, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Επιστημών Υγείας. | - 112 - |
| • Κεραμίδας Κ., Παπασωτηρίου Ν. (2013). Μηχανολογικές εφαρμογές ελαφρών κραμάτων, Πτυχιακή Εργασία, Τεχνολογικό Ιδρυμα Πειραιά, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε..... | - 112 - |
| • Κρικώνη Δ. (2018). Ορυκτολογική, Ορυκτοχημική και γεωχημική μελέτη των φωσφοριτών των Ιωαννίνων και η περιβαλλοντική τους διάσταση. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας..... | - 112 - |
| • Μανούτσογλου Ε. (2008): Αδημοσίευτες Σημειώσεις Σεμιναρίου Γεωλογίας της Κρήτης, της Ερευνητικής Μονάδας Γεωλογίας του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά, σελ. 55..... | - 112 - |
| • Μιχαήλ Γ. (2013). Οργανικό και Ανόργανο Άζωτο στο Περιβάλλον, Πτυχιακή εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ιδρυμα Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος..... | - 112 - |
| • Τσάκου Κ. (2011): Διερεύνηση φαινομένων ρύπανσης υπόγειων υδροφορέων με χρώμιο, Μεταπτυχιακή εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διεπιστημονικό-Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Περιβάλλον και ανάπτυξη». . | - 113 - |
| • Φούσκας Α. (2011): Μελέτη τροποποιημένων με Βόριο καταλυτών Ni/Al ₂ O ₃ για την αναμόρφωση του μεθανίου με διοξείδιο του άνθρακα, Διατριβή Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Χημείας..... | - 113 - |
| Διεθνής | - 113 - |
| Παράρτημα | - 118 - |

Εισαγωγή

Ιαματικές πηγές είναι οι φυσικές αναβλύσεις θερμών, υπόθερμων ή και ψυχρών νερών, τα συστατικά των οποίων είναι κατάλληλα για την ίαση διαφόρων παθήσεων του ανθρώπινου σώματος και πληρούν όλες εκείνες τις ιδιότητες κυρίως στις συγκεντρώσεις ανόργανων στοιχείων που ορίζονται από την νομοθεσία.

Άρα ιαματικό νερό είναι το νερό που λόγω των φυσικοχημικών του ιδιοτήτων έχει θεραπευτικές ιδιότητες που αποδεικνύονται με επιστημονικό τρόπο.

Υδροθεραπεία είναι η θεραπευτική αγωγή η οποία στηρίζεται στη χρήση του νερού. Η διάρκεια, ο τρόπος, η συχνότητα και η μορφή της θεραπείας καθορίζουν τα αποτελέσματά της. Η υδροθεραπεία διακρίνεται σε εξωτερική και εσωτερική. Παραδείγματα εξωτερικής υδροθεραπείας αποτελούν τα ιαματικά λουτρά, οι υδρομαλάξεις και η πηλοθεραπεία ενώ η εσωτερική υδροθεραπεία διακρίνεται σε εισπνοθεραπεία και ποσιθεραπεία.

Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ήταν η γεωλογική και υδροχημική ανάλυση των ιστορικά ιαματικών πηγών της Περιφερειακής Ενότητας Ρεθύμνου, όπως αυτές καταγράφηκαν από τον Λέκκα, το 1938.

Ο Λέκκας, 1938 αναφέρει δεκαεννέα πηγές βρισκόμενες εντός των ορίων της Περιφερειακής Ενότητας Ρεθύμνου. Από τις δεκαεννέα αυτές πηγές στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εντοπίστηκαν και αναλύθηκαν οι έξι, βάσει έγκυρων πηγών. Η αλλαγή των τοπωνυμίων και η διακοπή της ροής των υδάτων από πολλές από τις πηγές στάθηκαν εμπόδιο στον εντοπισμό του συνόλου των πηγών. Οι υπόλοιπες δεκατρείς πηγές είτε δεν εκρέουν νερό είτε βρίσκονται σε περιοχές ιδιαίτερα δύσβατες και έτσι ούτε οι ίδιοι οι κάτοικοι των περιοχών δεν γνωρίζουν την ύπαρξή τους.

Μέσα στα όρια της περιοχής μελέτης παρατηρούνται τα εξής τρία κύρια υδροσυστήματα:

Καρστικό υδροφόρο σύστημα Ρεθύμνου. Έχει έκταση 385 Km² και καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα του χώρου ανάμεσα στα δύο μεγάλα υδροφόρα συστήματα GR 1303 Λευκών Ορέων και GR 1306 Ψηλορείτη – Ταλαίων. Στην γεωλογική δομή του συμμετέχουν όλες οι ενότητες πετρωμάτων που απαντούν στην Κρήτη. Πετρώματα της Ιονίου ζώνης, της Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής σειράς, των καλυμμάτων Τρίπολης και Πίνδου, των εσωτερικών ζωνών, νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις. Οι σημαντικότεροι υδροφόροι που αναπτύσσονται στο υδροσύστημα είναι του Βρύσινα, της πηγής Αργυρούπολης, Αρμένων –

Αγκουσελιανών – Κοζαρέ, Σπηλίου, πηγών Κουρταλιώτη, Κέντρους – Σάμιτου και Ασιδέρωτα. Δεν αντιμετωπίζουν ιδιαίτερα προβλήματα οι υδροφορίες του υδροσυστήματος.

Κοκκώδες υδροφόρο σύστημα Ρεθύμνου Το υδροσύστημα εκτείνεται στην πεδινή περιοχή ανατολικά της πόλης του Ρεθύμνου σε έκταση 39 Km². Γεωλογικά δομείται από νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις στις οποίες αναπτύσσονται τόσο φρεάτιοι όσο και υπό πίεση υδροφόροι. Ο σημαντικότερος υδροφόρος είναι αυτός που αναπτύσσεται στις αποθέσεις του ποταμού Πλατανιά.

| Ονομασία και χαρακτηριμός κατά Λέκκα(1938) | |
|--|---|
| Αμάρι: αλατούχος πηγή, που ανήκει στο δημόσιο | Δεν εντοπίστηκε |
| Σκαλέτα: αλατούχος πηγή. Χρησιμοποιούμενη ως καθαρτική | Δεν εντοπίστηκε |
| Γλυμοπαραλία. Παραθαλάσσια, χρησιμοποιούμενη ως καθαρτικό. | Δεν εντοπίστηκε |
| Πύργος. Παραθαλάσσια, χρησιμοποιούμενη ως καθαρτική | Δεν εντοπίστηκε |
| Ανατολικά. Παραθαλάσσια, χρησιμοποιούμενη ως καθαρτική | Δεν εντοπίστηκε |
| Χορομήλες. Παραθαλάσσια, χρησιμοποιούμενη ως καθαρτική | Δεν εντοπίστηκε |
| Καλήμπαρο. Σιδηρούχος. | Υγρασία σε έδαφος στη περιοχή εκείνη αλλά η δειγματοληψία δεν ήταν εφικτή |
| Λιγιάλακκος. Χρησιμοποιούμενη ως καθαρτική | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Λιχνιστής. Χρησιμοποιούμενη ως καθαρτική | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Βλυχάδα. Χρησιμοποιούμενη ως καθαρτική | Δεν εντοπίστηκε |
| Μέρωνας. Θεωρούμενη ως ιαματική. | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Νερό της πέτρας. Θεωρείται ότι θεραπεύει τις πέτρες στα νεφρά. | Εντοπίστηκε αλλά δεν παρουσιάζει εκροές |
| Κούμαρο. Κόκκινο νερό. | Δεν εντοπίστηκε |
| Κουτσομήτα. Πηγή ολιγομεταλλικού ύδατος που συντελεί στην πέψη. | Δεν εντοπίστηκε |
| Μέρωνας. Θεωρούμενη ως ιαματική. | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Λύδια. Κόκκινα σιδηρόνερα. | Δεν εντοπίστηκε |
| Μεγάλη Λίμνη. Χρησιμοποιούνταν ως καθαρτικό. | Δεν εντοπίστηκε |
| Ρουκουνέλι. Συντελεί στην πέψη. | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Βρύση. Συντελεί στην πέψη και στην διάλυση των πετρών. | Δεν εντοπίστηκε |
| Πλατάνι: Σιδηρούχος | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Ασφεντολάκουδο: Σιδηρούχος | Δεν εντοπίστηκε |
| Σύρικα: Σιδηρούχος | Δεν εντοπίστηκε |

| | |
|---|----------------------------|
| Βρύση :Σιδηρούχος | Δεν εντοπίστηκε |
| Αλώνες:Σιδηρούχος | Δεν εντοπίστηκε |
| Σπήλιους:Σιδηρούχος | Δεν εντοπίστηκε |
| Περιβολάκια: Κοκκινα νερα με οσμή σιδήρου | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Γλυφάδα:Αλατούχος πηγή της οποίας το νερό χρησιμοποιούταν ως καθαριστικό αφότου θερμανθεί. | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Καπεδιανά, Σιδηρούχος | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |

Πίνακας 1. Πηγές που αναφέρονται από το Λέκκα (1938)

Καρστικό υδροφόρο σύστημα Ψηλορείτη – Ταλαίων. Το υδροσύστημα αυτό περιλαμβάνει τον ορεινό όγκο του Ψηλορείτη, τα Τάλαια όρη και την μεταξύ αυτών λεκάνη Γεροποτάμου και έχει έκταση 1033 Km². Δομείται κύρια από τα ανθρακικά πετρώματα της ενότητας Κρήτης – Μάνης, τα επωθημένα διαδοχικά σε αυτή καλύμματα των Φυλλιτών –Χαλαζιτών, της Τρίπολης και στο ΒΔ τμήμα του από αποθέσεις του Νεογενούς και του Πλειοπλειστοκαίνου. Σημαντικές υδροφορίες αναπτύσσονται τόσο στους Πλακώδεις ασβεστολίθους όσο και στα ανθρακικά της Τρίπολης. Οι υδροφορίες αυτές διαχωρίζονται μεταξύ τους με την παρεμβολή της αδιαπέρατης σειράς των Φυλλιτών – Χαλαζιτών. Ωστόσο οι υδροφορίες αυτές επικοινωνούν μεταξύ τους όπου απουσιάζει η παρεμβολή των Φυλλιτών – Χαλαζιτών. Συνολικά το υδροσύστημα δέχεται ετησίως 1.1 δις κυβικά μέτρα νερού από την βροχή. Από αυτά περί τα 450.000.000 m³ είναι το ποσοστό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που διαπερνάει την επιφάνεια του εδάφους φτάνοντας στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα και το οποίο εμπλουτίζει τις περιμετρικά διαμορφούμενες υπόγειες υδροφορίες και πηγές. Η σημαντικότερη πηγή είναι αυτή του Αλμυρού Ηρακλείου η παροχή της οποίας κυμαίνεται μεταξύ μιας ελάχιστης 3,5 – 6,5 m³/sec και μιας μέγιστης 12,5 – 19,4 m³/sec. (www.igme.gr)

Οι πηγές που εντοπίστηκαν και εξετάστηκαν είναι οι Μέρωνας, Καπεδιανά, Ρουκουνέλι, Λιγιάλακκος, Λιχνιστής, και μία εκ των τεσσάρων πηγών στη θέση Κεραμέ που στο κείμενο ονομάζεται Αγαλιανός.

Οι πηγές Κούμαρο, Κουτσομήτα, Βρύσι, Μεγάλη Λίμνη, Βλυχάδα, Σκαλέτα και Νερό της Πέτρας εντοπίστηκαν όμως δεν παρατηρήθηκε εκροή υδάτων τόσο κατά τη θερινή, όσο και κατά τη χειμερινή περίοδο. Οι πηγές Αμάρι και οι λοιπές τρεις που αναφέρονται στην εργασία του Λέκκα, 1938 ότι βρίσκονται στη θέση Κεραμέ δεν εντοπίστηκαν.

Εκτός από τις πηγές που αναφέρονται στην εργασία του Λέκκα, 1938 εξετάστηκαν και πηγές που έχουν τη φήμη των ιαματικών. Πρόκειται για τις πηγές Λίγγρες, Γεράνι, Μούταλη, Αρολίθι, Σύρικα, Άνω Βαλσαμόνερο και Κάστελλος.

Ο Λέκκας, 1938 αναφέρει ένα αρκετά μεγάλο πλήθος πηγών στην περιοχή του Ρεθύμνου. Περιγράφει τις πηγές ως προς την πιθανώς ιαματική τους δράση, τη θέση τους και το ιδιοκτησιακό τους καθεστώς.

Πιο συγκεκριμένα ο Λέκκας, (1938) αναφέρει την πηγή Αμάρι ως μεταλλική, μη χρησιμοποιούμενη και ανήκουσα εις το δημόσιο και την πηγή Σκαλέτα ως χρησιμοποιούμενη από τους κατοίκους ως καθαρτική. Ακόμα την χαρακτηρίζει αλατούχα και την τοποθετεί επί της παραλίας της Σκαλέτας.

Στη θέση Κεραμέ αναφέρει τέσσερις πηγές με τις ονομασίες Γλυμοπαραλία, Πύργος Ανατολικά και Χορομήλες. Όλες χαρακτηρίζονται ως καθαρτικές. Στα Σελλιά και στη θέση Καλήμπαρο αναφέρονται σιδηρόνερα μη χρησιμοποιούμενα.

Σε απόσταση 2,5 ωρών με το μουλάρι, από το χωριό Μέλαμπες, αναφέρονται οι πηγές Λιγιάλακκος και Λιχνιστής. Τα νερά των πηγών κατά το Λέκκα, (1938) χρησιμοποιούνται ως καθαρικά. Στο χωριό Σαχτούρια, βρίσκεται πηγή επί της παραλίας, τα νερά της οποίας χρησιμοποιούνταν ως καθαρικά.

Μεταξύ των χωριών Μέρωνας και Γερακάρι αναφέρεται ανάβλυση νερού που θεωρούνταν ιαματικό. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται η χρήση του συγκεκριμένου ύδατος από τους Ενετούς και τους Τούρκους κατά τις περιόδους κατοχής του νησιού.

Περίπου 2 χιλιόμετρα από το χωριό Θρόνος αναφέρεται το Νερό της Πέτρας που είναι ξακουστό μέχρι και τις μέρες μας ως ιαματικό για τα νεφρά. Δυστυχώς η πηγή έχει σταματήσει να αναβλύζει νερό.

Στο χωριό Γωνιά και στη θέση Κούμαρο αναφέρεται σιδηρόνερο αχρησιμοποίητο και σε αρκετή ποσότητα. Στο ίδιο χωριό και στη θέση Κουτσομήτα αναφέρεται πηγή ολιγομεταλλικού νερού που βοηθά στην πέψη.

Στο χωριό Καπεδιανά αναφέρονται σιδηρόνερα που χρησιμοποιούνταν ως πόσιμα και για πότισμα. Ακόμα, στη θέση Λύδια αναφέρονται κόκκινα σιδηρόνερα σε μικρή ποσότητα. Κοντά στο χωριό Ατσιπόπουλο, και συγκεκριμένα στη θέση Μεγάλη Λίμνη, αναφέρεται πηγή, τα νερά της οποίας χρησιμοποιούνταν ως καθαρικά σε ‘μεγάλη κλίμακα’.

Στο χωριό Αρμένιοι και στη θέση Ρουκουνέλι αναφέρονται σιδηρόνερα σε μεγάλη ποσότητα. Χαρακτηριστική τους ιδιότητα είναι ότι βράζουν εύκολα τα όσπρια και ότι συντελούν στην πέψη. Στο ίδιο χωριό και στη θέση Βρύσι πηγή, αναφέρονται νερά με τις ίδιες ιδιότητες. Τα νερά της πηγής στη θέση Βρύσι αναφέρεται ότι επιδρούν διαλυτικώς επί του μαρμάρου.

Στο χωριό Αρολίθι αναφέρονται πέντε πηγές με τις ονομασίες Πλατάνι, Ασφενδολάκουδο, Σύρικα, Βρύσι και Αλώνες. Η πηγή Πλατάνι αναφέρεται ως σιδηρόνερο που θεραπεύει την ελονοσία. Οι υπόλοιπες τρεις αναφέρονται ως κοινά σιδηρόνερα.

Κοντά στο Ρουσοσπίτι και στις θέσεις Καπεδιανά και Σπήλιους αναφέρονται σιδηρόνερα που πίνουνται και συντελούν στην πέψη.

Στη θέση Περιβολάκια του χωριού Άνω Βαλσαμόνερο αναφέρονται μικρές και αχρησιμοποίητες ποσότητες υδάτων που έχουν κόκκινο χρώμα και μυρίζουν σίδηρο.

Μέσα στην πόλη του Ρεθύμνου και στην περιοχή Κουμπές αναφέρεται πηγή τα ύδατα της οποίας συντελούν στην πέψη. Κοντά στην πηγή αυτή αναφέρεται και πηγή μέσα στη θάλασσα.

Τέλος αναφέρεται πηγή στο χωριό Γεράνι, η οποία βρίσκεται επί της παραλίας, το νερό της οποίας χρησιμοποιούνταν κατά την εποχή εκείνη ως καθαρτικό εφόσον είχε προηγουμένως βραστεί.

Η χρήση του νερού για θρησκευτικές και ιατρικές τελετές μπορεί να ανιχνευθεί στους αρχαίους Αιγύπτιους, τους Σουμερίους, τους Βαβυλώνιους και τους Αζτέκους, και αργότερα στους Έλληνες και τους Ρωμαίους (Routhetal., 1996). Οι Βαβυλώνιοι αναφέρθηκαν στους γιατρούς τους ως «a-su», δηλώνοντας τους ως ειδικούς στο νερό. Ήταν υπεύθυνοι για ένα εκτεταμένο θεραπευτικό σύστημα που περιελάμβανε ιατρικά λουτρά, την εφαρμογή θερμών και κρύων κομπρεσών και την έκπλυση στα ποτάμια (Routhetal., 1996). Η συσχέτιση των ιαματικών πηγών με τις τοπικές πεποιθήσεις και μύθους σχετικά με τις θεραπευτικές τους ιδιότητες μπορεί επίσης να εντοπιστεί πολύ πίσω στην ιστορία (Gilbert&VanDeWeert, 1991), ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις αυτές οι πηγές δεν έχουν χάσει τη φήμη και την ελκυστικότητά τους με την πάροδο των χρόνων. Πολλές ιαματικές πηγές έχουν γίνει γνωστές για τις θαυματουργές θεραπευτικές τους ιδιότητες και συχνά φέρουν τουλάχιστον μία ιστορία ή θρύλο που καλύπτει το αρχικό «θεραπευτικό συμβάν», το οποίο συνήθως χρησιμοποιείται ως διαφημιστικό υλικό στον τουρισμό (Erfurt-Cooper & Cooper, 2009).

Η έκπλυση σε ιαματικές πηγές – ή αλλιώς θερμαλισμός - ήταν μια κοινή πρακτική στην αρχαία Ελλάδα και τη Ρώμη. Οι Έλληνες, και ιδίως οι Ρωμαίοι μετέτρεψαν πολλές ιαματικές πηγές σε κέντρα λατρείας για τις Νύμφες και τον Ασκληπιό, τον θεό της ιατρικής και της θεραπείας. Το μπάνιο στις πηγές ήταν μέρος των λατρευτικών πρακτικών που στοχεύαν στην παροχή θεραπείας στους πάσχοντες που επισκέπτονταν τα ιερά. Την περίοδο των Ρωμαίων, ορισμένα ιαματικά λουτρά, όπως αυτό στο Baiae στην Campania, έγιναν κέντρα διακοπών για τους πλούσιους και ήταν διάσημα για την ηδονιστική τους ατμόσφαιρα (Yegül, 1992).

Στόχος της παρούσης εργασίας είναι η συνοπτική περιγραφή της εξέλιξης των ιαματικών πηγών και του θερμαλισμού. Επίκεντρο αποτελεί ο γεωγραφικός χώρος της Ελλάδας, ωστόσο αναπόφευκτα αναφορές γίνονται και για τον χώρο της Ευρώπης συνολικά. Στο δεύτερο κεφάλαιο μελετάται η παρούσα κατάσταση των ιαματικών πηγών στην Ελλάδα, η γεωγραφική κατανομή τους και το θεσμικό πλαίσιο που τις διέπει.

Αρχαία Ελλάδα και Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία

Ο Ηρόδοτος (484- 410 π.Χ.) είναι ο πρώτος παρατηρητής ιαματικών πηγών που ανέφερε και συνέστησε τη λουτροθεραπεία να γίνεται σε ορισμένες εποχές του χρόνου και για 21 συνεχείς μέρες. Στο έργο του «Πολύμνια» αφιερωμένο στη μάχη των Θερμοπυλών καταγράφει ότι: «οι Σπαρτιάτες προετοιμάζονται λούζοντας τα σώματα τους στην πηγή για να αντλήσουν δύναμη, ευεξία και πνευματική ηρεμία» (Γεωργιάδης 2005).

Τον 5ο αιώνα π.Χ. ο Έλληνας γιατρός Ιπποκράτης (460-370 π.Χ.) αντιμετώπισε ασθενείς από όλη τη Μεσόγειο χρησιμοποιώντας αυτό που σήμερα θα ονομαζόταν «λουτρολογία» στο διάσημο Ασκληπιείο του (Cooper & Cooper, 2009). Ο Ιπποκράτης συμπεριέλαβε το νερό, μαζί με τη γη, τον αέρα και τη φωτιά, ως ένα από τα στοιχεία που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των ασθενειών και τη διατήρηση της υγείας των ατόμων. Πρότεινε την υπόθεση ότι η αιτία όλων των ασθενειών έγκειται σε μια ανισορροπία των σωματικών υγρών και για την ανάκτηση της ισορροπίας συνιστάται αλλαγή των συνηθειών και των περιβαλλοντικών παραγόντων· ο ίδιος πρότεινε την έκπλυση, την εφίδρωση, το περπάτημα και το μασάζ. Ο Ιπποκράτης έγραψε εκτενώς για τη θεραπευτική δύναμη του νερού και υποστήριξε τη χρήση αλατούχων λουτρών. Βύθιζε τακτικά τους ασθενείς του σε θαλασσινό νερό για να θεραπεύσει μια ποικιλία παθήσεων, συμπεριλαμβανομένων των πόνων των μυών και της αρθρίτιδας (Harris, 2010) και παρήγαγε την πρώτη ταξινόμηση των ιαματικών νερών, απαριθμώντας τις διακριτές θεραπευτικές ιδιότητές αλλά και μέσω άλλων χρήσιμων ιατρικών κριτηρίων (Katsambas & Antoniou, 1996).

Οι Ρωμαίοι υιοθέτησαν γρήγορα τις ιδέες των Ελλήνων και ανέπτυξαν κέντρα θερμαλισμού σε όλη τη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία (Routhetal., 1996). Ο Πλίνιος ο Πρεσβύτερος (23-79 μ.Χ.) έγραψε για διάφορους τύπους νερών και πώς πρέπει να χρησιμοποιούνται. Σύμφωνα με τον ίδιο, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν πηγές με νερά εμπλουτισμένα με θείο για τη θεραπεία της μυϊκής αδυναμίας, πηγές με νερά εμπλουτισμένα με θειικό άργιλο και κάλιο για την

παράλυση και πηγές με νερά πλούσια σε αλκαλικά στοιχεία για τη θεραπεία της φυματίωσης. Οι Ρωμαίοι χρησιμοποίησαν επίσης ιαματικό μεταλλικό νερό για τη θεραπεία της ουρικής αρθρίτιδας, των ασθενειών των ποδιών, της ισχιαλγίας, του πυρετού, της ψωρίασης, των πληγών του δέρματος και άλλα (Routhetal., 1996). Η έκπλυση πραγματοποιούνταν σε δημόσια λουτρά που ονομάστηκαν aque, τα οποία αργότερα εξελίχθηκαν σε τεράστια οικοδομήματα, που ονομάζονταν thermae, χωρητικότητας χιλιάδων ατόμων (VanTubergen&VanderLinden, 2002).

Με τα χρόνια η ρωμαϊκή κουλτούρα διαφοροποιήθηκε και σχετίστηκε περισσότερο με την αξιοποίηση των λουτρών περισσότερο ως χώρων χαλάρωσης και αναψυχής, και λιγότερο ως χώρων όπου συνέβαιναν ιατρικές θεραπείες. Πολλές από τις ιστορικές ρωμαϊκές «πόλεις σπα» και τα θέρετρα εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα (Erfurt-Cooper&Cooper, 2009). Σε αυτές περιλαμβάνονται οι Bath (Αγγλία), Aix-en-Provence και Vichy (Γαλλία), Aachen και Baden (Γερμανία), Karlovy Vary (Τσεχία), Pamukkale (Τουρκία) και Tiberius και Hamat Gader (Ισραήλ).

Ενώ πιστεύεται ότι η ρωμαϊκή κουλτούρα των λουτρών αποτέλεσε τη βάση για την επανεμφάνιση των ιαματικών λουτρών σε μεταγενέστερους αιώνες (Towner, 1996), οι παραδόσεις του θερμαλισμού, στην Ευρώπη τουλάχιστον, μειώθηκαν γρήγορα μετά την πτώση της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας. Οι χριστιανοί αντέδρασαν έντονα εναντίον αυτών που πίστευαν ότι ήταν «άσχημες συνήθειες των ειδωλολατρών προκατόχων τους», διέκοψαν τη χρήση και αξιοποίηση των δημόσιων λουτρών στην Ευρώπη και η ρωμαϊκή κουλτούρα όσον αφορά στα λουτρά εξαφανίστηκε (Gilbert&VanDeWeert, 1991). Στις αρχές του 17ου αιώνα άρχισε να επανεμφανίζεται, όταν πολλές από τις ευρωπαϊκές ιαματικές πηγές εξελίχθηκαν σε θέρετρα «σπα». Δεδομένου ότι οι επισκέπτες μπορούσαν να κάνουν μόνο περιορισμένο αριθμό θεραπευτικών λουτρών την ημέρα, αφιερώθηκε πολύς χρόνος για άλλες δραστηριότητες και αναπτύχθηκαν παροχές για τουριστικές δραστηριότητες, όπως θέατρα, όπερες, αίθουσες χορού και βιβλιοθήκες (Towner, 1996).

Η εξέλιξη του θερμαλισμού στη νεότερη Ευρώπη και Ελλάδα

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η εξάπλωση του Χριστιανισμού στην Ευρώπη διέκοψε τις ιδιαίτερα διαδεμένες παραδόσεις των λουτρών και του θερμαλισμού των Ρωμαίων, με την έκπλυση να μετατρέπεται σε μια αμφίσημη πρακτική: η φροντίδα του σώματος αντιμετωπίστηκε ως ένδειξη παραμέλησης των πνευματικών καθηκόντων. Αν και η χρήση δημόσιων λουτρών

εξακολούθησε να θεωρείται ως χαρακτηριστικό της «πολιτισμένης ζωής», η τάση αυτή μειώθηκε από τον 7ο αιώνα και μετά σε συνδυασμό με την παρακμή του αστικού πολιτισμού της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας. Όσον αφορά τις ιαματικές πηγές, η χρήση αυτών συνεχίστηκε και κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα λόγω των θεραπευτικών τους ιδιοτήτων και με την άδεια της Εκκλησίας (Yegül, 1992). Οι πηγές που συνδέονταν με ειδωλολατρικές λατρείες «εκχριστιανίστηκαν» και συνδέθηκαν με τη λατρεία του Αρχαγγέλου Μιχαήλ ή με θαυματουργές εκδηλώσεις.

Στην Ελλάδα και τη Νοτιοανατολική Ευρώπη, το λουτρό ξαναβρήκε τη σημασία του για τη θρησκευτική πρακτική και εισήλθε ξανά στην καθημερινή αστική κουλτούρα υπό την κυριαρχία της μουσουλμανικής Οθωμανικής Αυτοκρατορίας. Στην ισλαμική παράδοση, η φυσική καθαριότητα είναι ένα μέσο για τον καθαρισμό του σώματος και της ψυχής των πιστών. Το δημόσιο μπάνιο είχε κεντρικό ρόλο στο Χαλιφάτο οδηγώντας στον πολλαπλασιασμό των εγκαταστάσεων λουτρών (Tohme, 2011).

Τον 18ο αιώνα, τα ιαματικά λουτρά άρχισαν να προσελκύουν την ευρωπαϊκή αριστοκρατία, ενώ δημιουργήθηκαν γνωστά κέντρα αναψυχής όπως το Baden-Baden στη Γερμανία, το Karlsbad (τώρα Karlovy Vary), το Marienbad (τώρα Mariánské Lázně) στην Τσεχική Δημοκρατία και το Spa στο Βέλγιο. Αυτό οδήγησε σε μια συμβιωτική σχέση μεταξύ υγείας και αναψυχής στα περισσότερα ευρωπαϊκά ιαματικά λουτρά (Hall, 1992).

Τον 20ο αιώνα οι επιστημονικές εξελίξεις στην υδροθεραπεία οδήγησαν στη δημιουργία μικρότερων, πιο εξειδικευμένων ιαματικών λουτρών που επικεντρώθηκαν στις αντιληπτές θεραπευτικές δυνάμεις των υδάτων και στην ανάπτυξη ρουτίνων υγείας, μειώνοντας έτσι την έμφαση που δίνεται στον ελεύθερο χρόνο (Gilbert & VanDeWeert, 1991). Οι θεραπείες σπα ενσωματώθηκαν στις εθνικές υπηρεσίες υγείας χωρών όπως η Γερμανία, η Γαλλία, η Ιταλία, η Αυστρία, η Ελβετία, το Βέλγιο και η Δανία και οι δραστηριότητες στα περισσότερα ευρωπαϊκά ιαματικά λουτρά έγιναν σχεδόν αποκλειστικά ιατρικού χαρακτήρα.

Μετά τη δεκαετία του 1970, τα περισσότερα ευρωπαϊκά ιαματικά λουτρά άρχισαν να αλλάζουν την εστίασή τους, από τη θεραπεία της ασθένειας, στη βελτίωση και παράταση της υγείας σε ένα περιβάλλον αναψυχής. Αυτό κρίθηκε απαραίτητο για την προσέλκυση νεότερων επισκεπτών. Η εμφάνιση και η ανάπτυξη αυτών των νέων προϊόντων έδωσε μια νέα διάσταση στα ευρωπαϊκά ιαματικά λουτρά, εισάγοντας μια γενιά τουριστικών προϊόντων που έχουν την υγεία ως παράγοντα αναψυχής. Τα τελευταία χρόνια σημειώθηκαν περαιτέρω αλλαγές, με την

εισαγωγή μιας σειράς προϊόντων ευεξίας στην παραδοσιακή αγορά ιαματικών λουτρών (Tzedopoulos et al., 2018).

Οι ιαματικές πηγές στη σύγχρονη Ελλάδα

Στη σύγχρονη Ελλάδα ο θερμαλισμός αναπτύχθηκε από τα μέσα του 19ου αιώνα και μετά, όταν οι ιαματικές πηγές Κύθνος, Υπάτι, Κυλλήνη, Λουτρά Καϊάφα και Λουτράκι άρχισαν να οργανώνονται και να χρησιμοποιούνται για θεραπευτικές αγωγές και σκοπούς ευεξίας. Οι πιο σημαντικές ήταν οι πηγές του Λουτρακίου, οι οποίες προσέλκυαν τους πιο εύπορους επισκέπτες και έδειξαν τις δυνατότητες να εξελιχθούν σε ένα θέρετρο σύμφωνα με το μοντέλο των ευρωπαϊκών ιαματικών λουτρών. Προς το τέλος του αιώνα, το ελληνικό κράτος μίσθωσε μερικές από τις πηγές σε ιδιώτες. Ωστόσο, λόγω της ασάφειας του νομικού πλαισίου και της έλλειψης συνεπών αναπτυξιακών στρατηγικών, δεν δημιουργήθηκε καμία αξιολογή υποδομή (Vlachos, 2003).

Τα πράγματα άλλαξαν το πρώτο μισό του 20ου αιώνα: στη δεκαετία του 1920, ρυθμίστηκαν μέθοδοι για την επιστημονική ανάλυση των πηγών και ελήφθησαν πρωτοβουλίες για την κατασκευή της απαραίτητης υποδομής. Η ταξινόμηση των ιαματικών πηγών εκείνη την περίοδο δείχνει την ιεραρχία τους ως προς τρισμορφές οικονομικής εκμετάλλευσης και τα κοινωνικοοικονομικά κριτήρια: αυτές που εκμισθώθηκαν σε ιδιωτικές επιχειρήσεις προσκαλούσαν κοινωνικά στρώματα υψηλότερου εισοδήματος, ενώ οι πηγές που λειτουργούσαν από τις δημοτικές αρχές προσέλκυαν επισκέπτες από τις μεσαίες τάξεις· τα κατώτερα κοινωνικά στρώματα, αντίθετα, συνέχισαν να επισκέπτονται ιαματικές πηγές που δεν είχαν ακόμη αξιοποιηθεί και έτσι δεν διέθεταν καμία υποδομή ή ιατρική παρακολούθηση.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1980 η διάδοση του θερμαλισμού σταμάτησε και στη συνέχεια επήλθε η πτώση. Ο αριθμός των επισκεπτών άρχισε να μειώνεται έως ότου, στα μέσα της δεκαετίας του 1990, είχε φτάσει τα επίπεδα στα μέσα της δεκαετίας του 1960. Η πτώση ήταν πιο έντονη στην κατηγορία «ιαματικές πηγές τουριστικής σημασίας», γεγονός που υπογράμμισε τη συνολική τουριστική υποτίμηση των θερμικών εγκαταστάσεων (Παπαγεωργίου 2009, Διδασκάλου, 1999).

Ο αριθμός των επισκεπτών των σπα αυξήθηκε σημαντικά με την πάροδο του χρόνου: στα τέλη της δεκαετίας του 1930 τα ιαματικά λουτρά προσέλκυαν λίγο λιγότερα από 65.000 άτομα ετησίως· περισσότερο από το ένα τρίτο των επισκεπτών επισκέφτηκε ιδιωτικά ιδρύματα,

κυρίως εκείνα του Λουτρακίου και της Αιδηψού. Εκτός από τις εγκαταστάσεις των λουτρών, ορισμένες ελληνικές λουτρόπολεις ανέπτυξαν ένα σύνολο υποδομών αναψυχής όπως κινηματογράφους, χώρους συναυλιών και άλλα (Βλάχος, 2003)

Η μείωση στην επισκεψιμότητα των ιαματικών πηγών οφειλόταν σε ένα μεγάλο ποσοστό και στη μετατόπιση των καταναλωτικών προτύπων και των πρακτικών αναψυχής που είχαν ξεκινήσει τη δεκαετία του 1960 με την εμφάνιση μιας κουλτούρας που αναζητούσε τον ήλιο και τη θάλασσα, με έμφαση στη νεότητα, τη φύση, τη χειραφέτηση και τον ερωτισμό (Urry, 2002; Βλάχος, 2003). Σε ό, τι αφορά στον θερμαλισμό, η αλλαγή έγινε αισθητή μόνο όταν εκείνοι που ήταν νέοι τη δεκαετία του '60 και του '70 εισήλθαν στη μέση ηλικία. Για αυτούς, το ιαματικό λουτρό συσχετίστηκε με τη γήρανση και την ασθένεια. Η άνοδος των επισκεπτών στις θερμικές εγκαταστάσεις μεταξύ της δεκαετίας του 1950 και των μέσων της δεκαετίας του 1980 οφείλεται στη σταδιακή πρόσβαση σε πρακτικές αναψυχής και υπηρεσίες θεραπείας. Είναι ενδεικτικό ότι το ποσοστό των θερμικών επισκεπτών στη συνολική εικόνα του τουρισμού στην Ελλάδα δεν ξεπέρασε το 1% (2% το 1985) από το 1981 έως το 1993 (Διδασκάλου, 1999).

Στην Ελλάδα, η σχετική μείωση της χρήσης θερμικών εγκαταστάσεων συνεχίστηκε την επόμενη δεκαετία, αν και δεν υπάρχουν αξιόπιστα στατιστικά στοιχεία που θα μπορούσαν να παρουσιάσουν μια ολοκληρωμένη εικόνα. Ωστόσο, στην πρώτη δεκαετία του 21ου αιώνα, το ελληνικό κράτος αναδιοργάνωσε το νομικό πλαίσιο (2006) προκειμένου να προωθήσει νέες μορφές θερμαλιστικού τουρισμού, σηματοδοτώντας έτσι μια απόκλιση από την «κλασική» λουτροθεραπεία (Παπαγεωργίου, 2009).

Αυτή η εξέλιξη συνέπεσε με μια άλλη αλλαγή στα πρότυπα και τις πρακτικές κατανάλωσης. Η κουλτούρα της φυσικής κατάστασης και της χαλάρωσης της νέας εποχής, ενσωματωμένη στην μεταβιομηχανική καπιταλιστική αγορά υπηρεσιών, εμφανίστηκε μεταξύ των μεσαίων και ανώτερων αστικών κοινωνικών στρωμάτων σε όλη την Ευρώπη. Ο μαζικός τουρισμός έχασε την ελκυστικότητά του και δόθηκε έμφαση σε εξατομικευμένα τουριστικά προϊόντα και εμπειρίες αυτο-ανάπτυξης (Giddens, 2007). Αυτό οδήγησε στην άνοδο του τουρισμού ευεξίας, ένα πολυεπίπεδο φαινόμενο που συνδέεται στενά με εναλλακτικές, ολιστικές και εξατομικευμένες προσεγγίσεις υγείας και ευεξίας επηρεάζοντας ταυτόχρονα και τον θερμαλισμό (Zollo et al., 2015).

Στην Ελλάδα, ανακαινίστηκαν μερικά από τα παλιά πολυτελή καταλύματα στις λουτροπόλεις (π.χ. «Θέρμη Σύλλα» στην Αιδηψό, 1999, «Γαλήνη» στα Καμένα Βούρλα, 2002) και άρχισαν

να προσφέρουν πλήρη πακέτα υπηρεσιών ευεξίας: αντιγήρανση, αντι-στρες , προγράμματα αποτοξίνωσης, απώλειας βάρους κ.λπ. Η εμφάνιση νέων υπηρεσιών στις ιαματικές πηγές και τα λουτρά, σε συνδυασμό με μια άνευ προηγουμένου διαφοροποίηση των καταναλωτικών πρακτικών στην Ελλάδα κατά τη δεκαετία του 1990 και του 2000, οδήγησε σε νέα αύξηση του αριθμού των επισκεπτών. Σύμφωνα με το Εθνικό Κέντρο Κοινωνικών Ερευνών από το 2005 έως το 2008 ο αριθμός των εισιτηρίων σε θερμικές εγκαταστάσεις σε όλη τη χώρα αυξήθηκε από περίπου 1.980.000 έως περίπου 2.323.000 (Εθνικό Κέντρο Κοινωνικών Ερευνών, 2016).

Ωστόσο, από το 2009, η οικονομική και χρηματοπιστωτική κρίση, που έπληξε την Ελλάδα ιδιαίτερα σκληρά, προκάλεσε δραματική μείωση: ο αριθμός των εισιτηρίων μειώθηκε από περίπου 2.050.000 το 2010 σε περίπου 1.586.000 το 2011 και μετά περίπου 880.000 το 2013, το 2014 και το 2015. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι ο συνολικός αριθμός των εισιτηρίων τις δεκαετίες 1961-1970, 1971-1980 και 1981-1990 ήταν περίπου 17.000.000, 19.380.000 και 20.900.000 αντίστοιχα, ενώ στα έντεκα έτη μεταξύ 2005 και 2015 δεν ήταν περισσότερα από 18.065.000 (Παπαγεωργίου, 2009; Εθνικό Κέντρο Κοινωνικών Ερευνών, 2016). Χαρακτηριστικό είναι ότι ο αριθμός των περίπου 880.000 εισιτηρίων για τα έτη 2013, 2014 και 2015 είναι σημαντικά χαμηλότερος από τον αντίστοιχο αριθμό για τη δεκαετία του 1950, όταν τα εισιτήρια ετησίως ήταν πάνω από 1.300.000, και είναι πιο κοντά στα επίπεδα στα μέσα και τέλη της δεκαετίας του 1930 (Παπαγεωργίου, 2009).

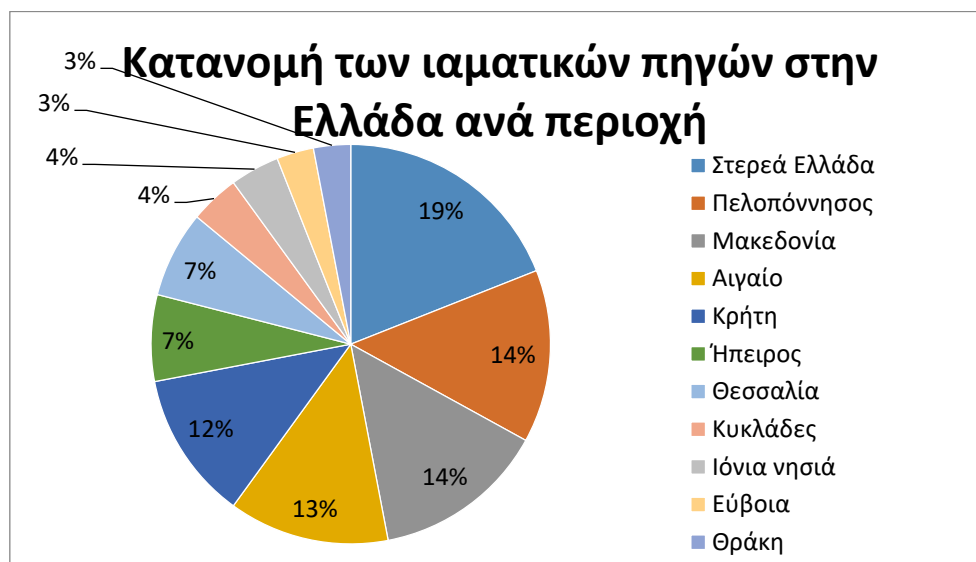
Σημερινή κατάσταση των ιαματικών πηγών

Σύμφωνα με στοιχεία του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) υπάρχουν καταγεγραμμένες 822 Πηγές Θερμομεταλλικών Νερών στην Ελλάδα, από αυτές οι 752 δύνανται να αξιοποιηθούν. Σήμερα από τις 752 πηγές χρησιμοποιούνται οι 348 (42%) σε μεγάλο ή μικρό βαθμό, είναι δε επίσημα ανακηρυγμένες οι 77 από αυτές.

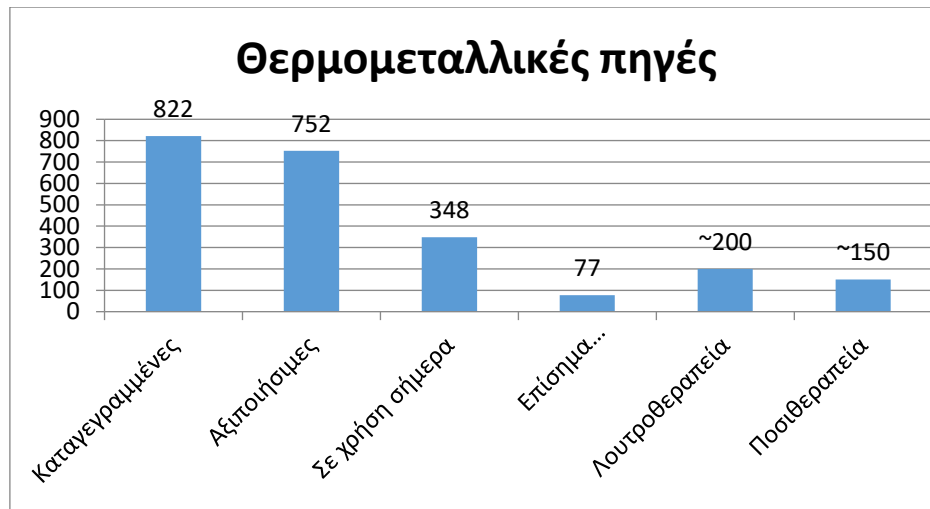
Η γεωγραφική κατανομή των ιαματικών πηγών έχει ως εξής:



Εικόνα 1. Κατανομή ιαματικών πηγών Ελλάδος (ΕΟΤ, 1996)



Εικόνα 2. Κατανομή ιαματικών πηγών ανά περιοχή (ΕΟΤ, 1996)



Εικόνα 3. Πλήθος θερμομεταλλικών ανά χρήση και λειτουργία (Μπαξεβάνη & Φράγκου, 2014, Καραμολέγκου, 2011)

Ιαματικές πηγές τουριστικής και τοπικής σημασίας

Οι ιαματικές πηγές **τουριστικής σημασίας** είναι οι εξής:

- Αιδηψός-Ευβοίας, ιδιοκτησίας ΕΟΤ, λειτουργεί με Αυτεπιστασία
- Βουλιαγμένη Αττικής, ιδιοκτησίας ΕΟΤ, ευρίσκεται σε διαδικασία παραχώρησης στην Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Καβάλας
- Ικαρία - Σάμου.
 - "Ασκληπιός" (πρώην Μουσταφά), ιδιοκτησίας Δήμου Αγ. Κηρύκου
 - "Απόλλων " Θερμά Ικαρίας, ιδιοκτησίας Δήμου Αγίου Κηρύκου
 - "Σπήλαιο" Θερμά Ικαρίας, Ιδιοκτησίας Δήμου Αγ. Κηρύκου
 - "Κράτσα" Θερμά Ικαρίας, ιδιωτική
 - Θερμό Λευκάδος Ικαρίας, ιδιοκτησίας ΕΟΤ, δεν λειτουργεί
- Καιάφας Ηλείας, ιδιοκτησίας ΕΟΤ, λειτουργεί με αυτεπιστασία ΕΟΤ
- Καλλιθέα Ρόδου, ιδιοκτησίας ΕΟΤ παραχωρημένη στη Κοινότητα Κοσκινούς
- Κουνουπέλι Ηλείας, ιδιοκτησίας ΕΟΤ παραχωρημένη στις Κοινότητες Μανωλάδας, Κουνουπελίου, Βάρδας δεν λειτουργεί
- Κύθνος Κυκλάδων, ιδιοκτησίας ΕΟΤ, λειτουργεί με αυτεπιστασία
- Κυλλήνη Ηλείας, ιδιοκτησίας ΕΟΤ , μισθωμένη μέσω διαγωνισμού, στον όμιλο "Δασκαλαντωνάκη" για 40 χρόνια, αρχής γενομένης από έτους 1998
- Λουτράκι Κορινθίας
 - Υδροθεραπευτήριο ΕΟΤ, δεν λειτουργεί

- Ποσιθεραπευτήριο ΕΟΤ, λειτουργεί με αυτεπιστασία ΕΟΤ
- Υδροθεραπευτήριο του Δήμου, λειτουργεί από την Δημοτική Επιχείρηση ΔΕΤΑΛΠ
- Νιγρίτα Σερρών, ιδιοκτησίας ΕΟΤ
 - Υδροθεραπευτήριο, λειτουργεί με Αυτεπιστασία ΕΟΤ
 - Εμφιαλωτήριο, δεν λειτουργεί
- Μέθανα Πειραιώς, ιδιοκτησίας ΕΟΤ, τρεις πηγές, λειτουργεί με Αυτεπιστασία ΕΟΤ.
- Σμόκοβο Καρδίτσας, ιδιοκτησίας ΕΟΤ, παραχωρημένη στην κοινότητα Λουτροπηγής μέχρι του έτους 2028 χωρίς αντάλλαγμα
- Σουρωτή Θεσσαλονίκης, ιδιοκτησίας ΕΟΤ, παραχωρημένη στην κοινότητα Σουρωτής μέχρι του έτους 2028, η λειτουργία της έχει ανατεθεί στην Κοινοτική Επιχείρηση Σουρωτής. Το 5% επί των ακαθαρίστων εσόδων διατίθεται για έργα Τουριστικής Σημασίας στην περιοχή
- Ξυνό Νερό Φλώρινας, ιδιοκτησίας ΕΟΤ, παραχωρημένη στην Κοινότητα Ξυνού Νερού μέχρι το έτος 2028. Το 5% επί των ακαθαρίστων εσόδων διατίθεται για έργα Τουριστικής Σημασίας στην περιοχή. Η λειτουργία της έχει ανατεθεί στην Κοινοτική Επιχείρηση
- Κίρρα Φωκίδας, ιδιοκτησίας ΕΟΤ, δεν υπάρχουν εγκαταστάσεις, δεν αξιοποιήθηκε ποτέ.
- Ποτάμιο Σάμου, ιδιοκτησίας ΕΟΤ, δεν αξιοποιήθηκε ποτέ.
- Λαγκαδάς Θεσσαλονίκη, ιδιοκτησίας ΕΟΤ
- Υπάτης
- Θερμοπυλών
- Πλατυστόμου
- Κονιαβίτη
- Ψωρονέρια

Οι λειτουργούσες Ιαματικές πηγές τοπικής σημασίας είναι 44, μεταξύ αυτών συμπεριλαμβάνονται οι Ιαματικοί Πηλοί της Πικρολίμνης Κιλκίς και των Κρηνίδων Καβάλας, οι οποίοι πρόσφατα ανακηρύχθηκαν και λειτουργούν για πρώτη φορά στην Ελλάδα. Μεταξύ των 44 Ιαματικών Πηγών Τοπικής Σημασίας περιλαμβάνονται τα Ατμόλουτρα Αμαράντου Ιωαννίνων μοναδικά του είδους στην Ελλάδα (Τριβυζά, 2005).

Ισχύον νομικό πλαίσιο

Οι ιαματικοί φυσικοί πόροι ανήκουν κατά κυριότητα στον [Ελληνικό Οργανισμό Τουρισμού \(Ε.Ο.Τ.\)](#) ανεξαρτήτως της κυριότητας του εδάφους επί του οποίου εμφανίζονται, αντλούνται ή αξιοποιούνται με οποιονδήποτε τρόπο, εκτός αν αυτοί ευρίσκονται σε κοινόχρηστους χώρους αιγιαλού και παραλίας οι οποίοι ανήκουν κατά κυριότητα στο Δημόσιο, ενώ η χρήση και η εκμετάλλευση ανήκει στον Ε.Ο.Τ.. Δεν θίγονται ιδιωτικά δικαιώματα κυριότητας επί αναγνωρισμένων ιαματικών πηγών που υφίσταντο κατά την 1.1.1920 σύμφωνα με το άρθρο 2 του ν. 2188/1920^[4]. Σε περίπτωση λύσεως του Ε.Ο.Τ. ή καταργήσεως του δημόσιου χαρακτήρα του, η κυριότητα των ιαματικών φυσικών πόρων περιέρχεται στο Δημόσιο. Στον Ε.Ο.Τ. τηρείται Γενικό Μητρώο Ιαματικών Φυσικών Πόρων, στο οποίο καταχωρίζονται οι αποφάσεις αναγνώρισης με τα δικαιολογητικά που τις συνοδεύουν (Τζεφέρης, 2015).

Η διαχείριση των ιαματικών φυσικών πόρων ανήκει επίσης στον Ε.Ο.Τ. Η διαδικασία και οι όροι ανάθεσης της διαχείρισης των ιαματικών φυσικών πόρων σε τρίτους καθορίζονται με απόφαση του Υπουργού Τουριστικής Ανάπτυξης. Ο ΕΟΤ έχει τη δυνατότητα να προβαίνει σε παραχώρηση της εκμετάλλευσης σε τρίτους, με δημόσιο διαγωνισμό. Επίσης, έχει και την αρμοδιότητα προστασίας της ποιότητας, της ποσότητας και των φυσικών, χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών των ιαματικών φυσικών πόρων (Τζεφέρης, 2015).

Η αναγνώριση φυσικών πόρων ως ιαματικών αίρεται στις ακόλουθες περιπτώσεις: α) όταν μεταβληθούν τα φυσικά ή χημικά ή βιολογικά ή άλλα ποιοτικά χαρακτηριστικά του φυσικού πόρου με αποτέλεσμα να εκλείψουν οι αναγνωρισμένες ιαματικές ιδιότητές του, β) όταν λόγω ρυπάνσεως του υδροφόρου ορίζοντα ή της περιοχής στην οποία αναβλύζει ή αντλείται ο ιαματικός φυσικός πόρος εκλείψουν οι ιαματικές ιδιότητες ή αλλοιωθούν τα χαρακτηριστικά του ιαματικού φυσικού πόρου ή δεν διασφαλίζεται πλέον η δημόσια υγεία.

Το πλήρες θεσμικό πλαίσιο που αφορά στις ιαματικές πηγές στην Ελλάδα έχει δημιουργηθεί με βάση τους παρακάτω νόμους:

- Ν.2188/1920 Περί Ιαματικών Πηγών
- Ν. 4844/1930 Περί εκμετάλλευσης ιαματικών πηγών
- Ν. 4086/1960 Περί τροποποίησης διατάξεων ιαματικών πηγών
- Ν.3498/2006 Ανάπτυξη Ιαματικού Τουρισμού και λοιπές διατάξεις
- Υ.Α 16655/22.12.2006 (ΦΕΚ 1932 Β) Διαδικασία Αναγνώρισης Φυσικών Πόρων

- Υ.Α 17414/02.10.2009 (ΦΕΚ 2215 Β) Τροποποίηση της 16655 Απόφασης Διαδικασία Αναγνώρισης Φυσικών Πόρων
- Υ.Α 1721/04.02.2013 (ΦΕΚ 188 Β) Τροποποίηση της 16655 Απόφασης Διαδικασία Αναγνώρισης Φυσικών Πόρων
- Υ. Α. 2704/2018 - ΦΕΚ 603/Β/22-2-2018 Καθορισμός τεχνικών και λειτουργικών προδιαγραφών ανέγερσης, μετατροπής και επέκτασης Μονάδων Ιαματικής Θεραπείας και Κέντρων Ιαματικού Τουρισμού - Θερμαλισμού και διαδικασία χορήγησης ειδικού σήματος λειτουργίας (ε.σ.λ.)
- Ν. 4688/2020 (ΦΕΚ Α 101 - 24.05.2020) Ειδικές μορφές τουρισμού, διατάξεις για την τουριστική ανάπτυξη και άλλες διατάξεις.

Κεφάλαιο 1: Γεωλογικά και Γεωγραφικά Στοιχεία Περιοχής Ρεθύμνου

1.1 Γεωγραφικά Στοιχεία Περιοχής Ρεθύμνου

Η Περιφερειακή Ενότητα Ρεθύμνου αποτελεί μία από τις τέσσερις περιφερειακές ενότητες της Περιφέρειας Κρήτης. Συνορεύει δυτικά με την Π.Ε. Χανίων και ανατολικά με την Π.Ε. Ηρακλείου, ενώ νότια βρέχεται από το Λυβικό πέλαγος και βόρεια από το Κρητικό πέλαγος.

Διοικητικά υποδιαιρείται στους δήμους Ρεθύμνου, Αμαρίου, Αγίου Βασιλείου, Μηλοποτάμου και Ανωγείων.

1.2 Γεωλογικά Στοιχεία Ρεθύμνου

Η λιθοστρωματογραφία της ευρύτερης περιοχής Ρεθύμνου, η οποία καλύπτει όλο το νομό Ρεθύμνου και τμήμα των δύο γειτονικών περιοχών του νομού Χανίων, Αποκορώνου και Σφακίων, μελετήθηκε για πρώτη φορά λεπτομερώς από τον Meulenkamp (1969). Ο ερευνητής αυτός αναγνώρισε οκτώ λιθοστρωματογραφικούς σχηματισμούς, τα κύρια χαρακτηριστικά των οποίων συνοψίζονται ακολούθως:

Σχηματισμός Παντάνασσα: Πρόκειται για χερσαία και υφάλμυρα ιζήματα τα οποία περιορίζονται στην νότια ακτή, στις κεντρικές περιοχές και στο νότιο περιθώριο των Νεογενών αποθέσεων της περιοχής Αποκορώνου, στο πιο δυτικό τμήμα της ευρύτερης περιοχής. Στις περισσότερες των εμφανίσεων του υπέρκειται ασυμφώνως των αλπικών αποθέσεων.

Σχηματισμός Αποστόλων. Συνίσταται από θαλάσσιες, απολιθωματοφόρες, κυανές μάργες και αργίλους με ενδιαστωμένους ψαμμιτικούς και πάγκους με *Heterostegina* στη βάση τους.

Σχηματισμός Ρεθύμνου: Συνίσταται από εναλλαγές μαργών και βιοκλαστικών ασβεστολίθων, οι οποίες σε πολλά σημεία δίδουν την εικόνα υφαλωδών αποθέσεων. Το σύνολο των ιζημάτων αυτών εντοπίζονται στον Σχηματισμό Αποστόλων, στο κεντρικό τμήμα του νομού καθώς και κατά μήκος της βόρειας ακτής, όπου και υπέρκειται ασυμφώνως του αλπικού υποβάθρου.

Σχηματισμός Γάλλου. Παρουσιάζει κοινά χαρακτηριστικά με τον Σχηματισμό Ρεθύμνου. Διαφέρει από αυτόν λόγω της παντελούς απουσίας ή των σχετικά χαμηλών ποσοστών μαργαϊκού υλικού. Οι ασβεστόλιθοι είναι δενδριτικοί και πάντοτε καλά στρωματοποιημένοι.

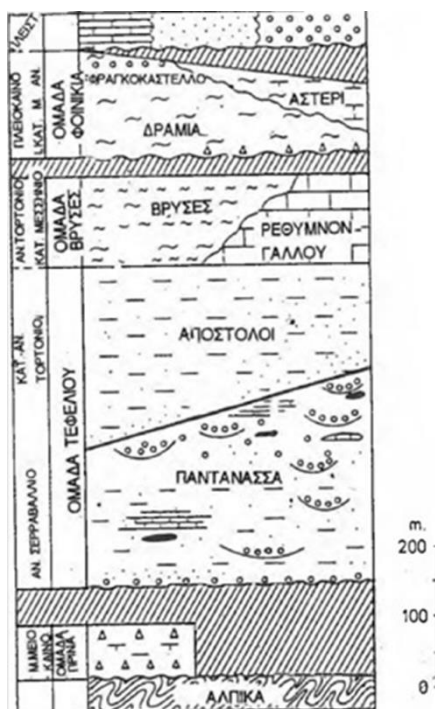
Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται στο βόρειο τμήμα της περιοχής, πέριξ των αλπικών εμφανίσεων ή ως ένα λεπτό κάλυμμα των προνεογενών αποθέσεων.

Σχηματισμός Μυλοποτάμου. Συνίσταται από εναλλαγές στρωματοποιημένων και μη στρωματοποιημένων μαργών. Οι υποκείμενες στρωματοποιημένες μάργες εξελίσσονται σταδιακά στις υπερκείμενες μη στρωματοποιημένες μάργες.

Σχηματισμός Δράμια. Συνίσταται από λευκές, μη-στρωματοποιημένες αργιλικές μάργες.

Σχηματισμός Αστερίου. Πρόκειται για ακολουθία φαιών και λευκών, απολιθωματοφόρων μαργών με ανθρακικά συγκρίματα. Στρωματοποιημένες ενδιαστρώσεις είναι πολύ συχνές στο ανώτερο τμήμα του Σχηματισμού (ανατολικά του Ρεθύμνου).

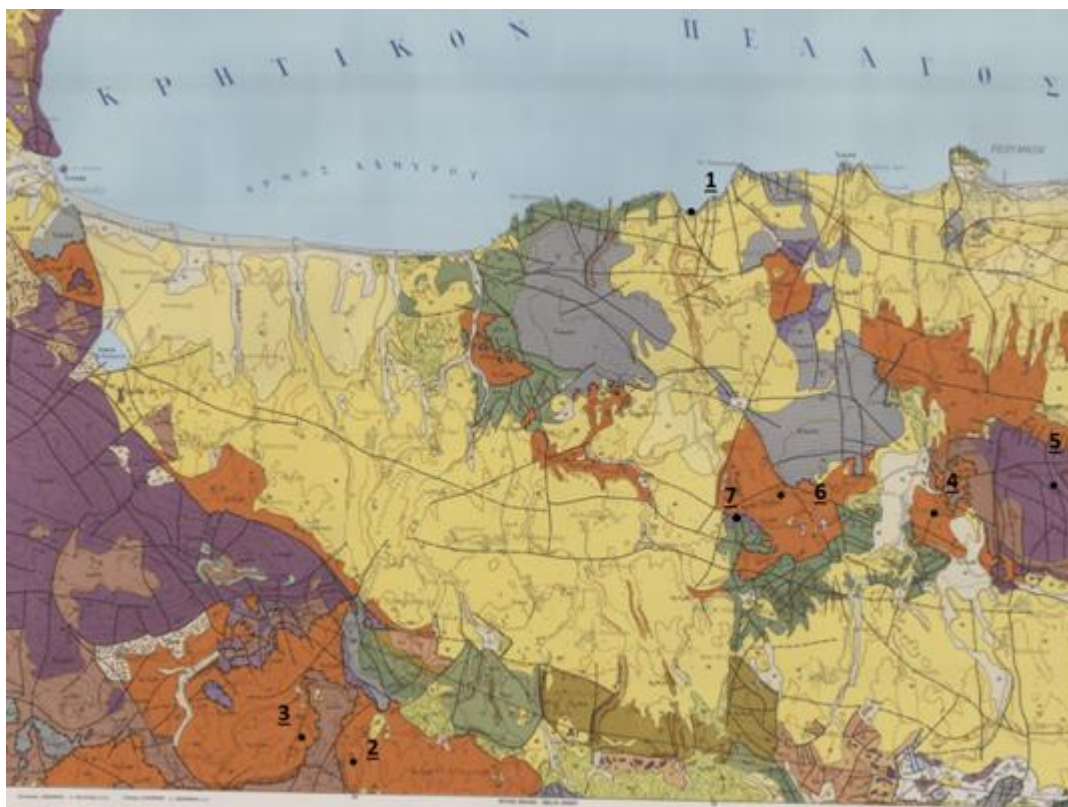
Σχηματισμός Φραγκοκάστελλου. Περιλαμβάνει κυανές-πράσινες αργίλους, κροκαλοπαγή, λατυποπαγείς ασβεστολίθους και ψαμμίτες.



Εικόνα 1-1. Στρωματογραφική στήλη σχηματισμών νεογενούς Ρεθύμνου (Ντρίνια, 1998).

1.3 Γεωλογική Επισκόπηση Περιοχής Μελέτης

Για την ευκολότερη κατανόηση του γεωλογικού υποβάθρου των πηγών, οι συντεταγμένες που λήφθηκαν στο πεδίο προβλήθηκαν σε γεωλογικούς χάρτες.



Εικόνα 1-2 Προβολή πηγών στο φυλλο γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ Ρέθυμνο. Αρχική κλίμακα χάρτη 1:50.000



Εικόνα 1-3. Προβολή θέσεων πηγών στο γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ Μέλαμπες αρχικής κλίμακας 1:50.000

Πιο συγκεκριμένα η αρίθμηση των πηγών και οι σχηματισμοί που προκύπτουν από τα υπομνήματα του παραπάνω χάρτη δίδονται παρακάτω.

1. Γεράνι
2. Αρολίθι
3. Σύρικα
4. Ρουκουνέλι
5. Καπεδιανά
6. Κάστελλος
7. Ανω βαλσαμόνερο
8. Λίγγρες
9. Μέρωνας
10. Αγαλιανός
11. Μούταλη
12. Λιχνιστής
13. Λιγιόλακκος

Με βάση τα υπομνήματα των γεωλογικών χαρτών οι πηγές εκφορτίζουν στους σχηματισμούς που αναφέρονται παρακάτω.

1. Γεράνι: Δολομιτωμένοι ασβεστόλιθοι- Δολομίτες, που βρίσκονται επωθημένοι πάνω στη φυλλιτική χαλαζιτική σειρά. Είναι έντονα τεκτονισμένοι και κατά θέσεις κατακερματισμένοι, ελαφρά πτυχωμένοι, σπηλαιώδεις, με γκαιίτη και βιτουμενιούχους σχιστόλιθους.
2. Αρολίθι: Εντός της Φυλλιτικής Χαλαζιτικής Σειράς
3. Σύρικα: Εντός της Φυλλιτικής Χαλαζιτικής Σειράς
4. Ρουκουνέλι: Εντός Φυλλιτικής Χαλαζιτικής Σειράς
5. Καπεδιανά: Κροκαλοπαγή, και μεγάλους πάχους ψαμμίτες και εδαφικό κάλυμμα. Υπέρευνται ασύμφωνα της Φυλλιτικής Χαλαζιτικής Σειράς.
6. Κάστελλος: Δολομιτωμένοι ασβεστόλιθοι- Δολομίτες, που υπέρευνται της Φυλλιτικής Χαλαζιτικής Σειράς.
7. Ανω Βαλσαμόνερο: Δολομιτωμένοι ασβεστόλιθοι- Δολομίτες, που υπέρευνται στη φυλλιτική χαλαζιτική σειρά.
8. Λίγγρες: Κροκαλοπαγή, άμμοι, ψαμμίτες που υπέρευνται του φλύσχη της ζώνης Τρίπολεως.
9. Μέρωνας: Ανθρακικά πετρώματα σειράς Τρίπολεως. Ασβεστόλιθοι και δολομίτες χωρίς απολιθώματα. Υπάρχει πιθανότητα να ανήκουν σε οποιοδήποτε μέλος της στρωματογραφικής σειράς της Τρίπολης (Τριαδικό- Κατώτερο Ιουρασικό έως Ιώκαινο). Υπέρευνται της Φυλλιτικής Χαλαζιτικής Σειράς
10. Αγαλιανός: Πλακώδεις ασβεστόλιθοι ζώνης Πίνδου. Περιλαμβάνουν στρώματα μετάβασης με εναλλαγές ασβεστολίθων, μαργαϊκών στρωμάτων και σπάνιων μαργαϊκών πάγκων. Σκοτεινότεφροι πλακώδεις ασβεστόλιθοι. Ροδόχρωμοι ασβεστόλιθοι με ερυθρές πυριτικές διαστρώσεις.
11. Μούταλη: Πλακώδεις ασβεστόλιθοι ζώνη; Πίνδου. Προλαμβάνουν στρώματα μετάβασης με εναλλαγές ασβεστολίθων, μαργαϊκών στρωμάτων και σπάνιων μαργαϊκών πάγκων. Σκοτεινότεφροι πλακώδεις ασβεστόλιθοι. Ροδόχρωμοι ασβεστόλιθοι με ερυθρές πυριτικές διαστρώσεις.

12. Λιχνιστής: Πλακώδεις ασβεστόλιθοι ζώνης Πίνδου. Προλαμβάνουν στρώματα μετάβασης με εναλλαγές ασβεστολίθων, μαργαϊκών στρωμάτων και σπάνιων μαργαϊκών πάγκων. Σκοτεινότεφροι πλακώδεις ασβεστόλιθοι. Ροδόχρωμοι ασβεστόλιθοι με ερυθρές πυριτικές διαστρώσεις.

13. Λιγιόλακκος: Ψαμμιτό- ιλυολιθικός φλύσχης της ζώνης Τριπόλεως.

| Ονομασία και χαρακτηριμός κατά Λέκκα(1938) | |
|---|---|
| Αμάρι: αλατούχος πηγή, που ανήκει στο δημόσιο | Δεν εντοπίστηκε |
| Σκαλέτα: αλατούχος πηγή. Χρησιμοποιούμενη ως καθαρτική | Δεν εντοπίστηκε |
| Γλυμοπαράλια. Παραθαλάσσια, χρησιμοποιούμενη ως καθαρτικό. | Δεν εντοπίστηκε |
| Πόργος. Παραθαλάσσια, χρησιμοποιούμενη ως καθαρτική | Δεν εντοπίστηκε |
| Ανατολικά. Παραθαλάσσια, χρησιμοποιούμενη ως καθαρτική | Δεν εντοπίστηκε |
| Χορομήλες. Παραθαλάσσια, χρησιμοποιούμενη ως καθαρτική | Δεν εντοπίστηκε |
| Καλήμπαρο. Σιδηρούχος. | Υγρασία σε έδαφος στη περιοχή εκείνη αλλά η δειγματοληψία δεν ήταν εφικτή |
| Λιγιόλακκος. Χρησιμοποιούμενη ως καθαρτική | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Λιχνιστής. Χρησιμοποιούμενη ως καθαρτική | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Βλυχάδα. Χρησιμοποιούμενη ως καθαρτική | Δεν εντοπίστηκε |
| Μέρωνας. Θεωρούμενη ως ιαματική. | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Νερό της πέτρας. Θεωρείται ότι θεραπεύει τις πέτρες στα νεφρά. | Εντοπίστηκε αλλά δεν παρουσιάζει εκροές |
| Κούμαρο. Κόκκινο νερό. | Δεν εντοπίστηκε |
| Κουτσομήτα. Πηγή ολιγομεταλλικού ύδατος που συντελεί στην πέψη. | Δεν εντοπίστηκε |
| Καπεδιανά. Σιδηρούχα. | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Λύδια. Κόκκινα σιδηρόνερα. | Δεν εντοπίστηκε |
| Μεγάλη Λίμνη. Χρησιμοποιούνταν ως καθαρτικό. | Δεν εντοπίστηκε |
| Ρουκουνέλι. Συντελεί στην πέψη. | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Βρύση. Συντελεί στην πέψη και στην διάλυση των πετρών. | Δεν εντοπίστηκε |
| Πλατάνι: Σιδηρούχος | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Ασφεντολάκουδο:Σιδηρούχος | Δεν εντοπίστηκε |
| Σύρικα:Σιδηρούχος | Δεν εντοπίστηκε |
| Βρύση :Σιδηρούχος | Δεν εντοπίστηκε |
| Αλώνες:Σιδηρούχος | Δεν εντοπίστηκε |
| Σπήλιους:Σιδηρούχος | Δεν εντοπίστηκε |
| Περιβολάκια: Κοκκίνα νερα με οσμή σιδήρου | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Γλυφάδα:Αλατούχος πηγή της οποίας το νερό χρησιμοποιούταν ως καθαρτικό αφότου θερμανθεί. | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |

Κεφάλαιο 2: Υδρολογικά – Υδρογεωλογικά Στοιχεία

Με τον όρο πηγή ορίζεται η συγκεντρωμένη εκροή υπόγειου νερού, η οποία εμφανίζεται στην επιφάνεια, και αποδίδει ελεύθερη ροή. Οι πηγές σαν φαινόμενο και η λειτουργία τους συνδέονται με το κύκλο του νερού στη φύση. Τα βρόχινα νερά κατεισδύουν στο υπέδαφος, όπου συγκεντρώνονται σε υπόγειους ταμιευτήρες και εν συνεχεία εκρέουν στην επιφάνεια με διάφορους μηχανισμούς.

Έχουν προταθεί διάφορες ταξινομήσεις πηγών, με βάση τα διαφορετικά χαρακτηριστικά τους από τα οποία τα πιο συνηθισμένα είναι:

- Ρυθμός εκφόρτισης και ομοιομορφία.
- Χαρακτήρας του υδραυλικού μετώπου που δημιουργεί την εκκένωση (πηγές φθίνουσες ή βαρύτητας και ανερχόμενες ή αρτεσιανές πηγές).
- Γεωλογική και γεωμορφολογική δομή που ρυθμίζει την εκφόρτιση (κατάπτωση, επαφή, φράγματα και βυθισμένες πηγές).
- Ποιότητα νερού και θερμοκρασία

Έχουν γίνει διάφορες προσπάθειες συγκέντρωσης πηγών, διαφορετικών υδραυλικών ή γεωλογικών χαρακτηριστικών, σε νέους τύπους με βάση κάποιο συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Για παράδειγμα, η ταξινόμηση των πηγών με βάση τα μικρο-οικοσυστήματα και τα οικοσυστήματα προτείνεται από τους Springer και Stevens (2009).

Ο Meinzer χρησιμοποιεί αυτά τα στοιχεία για τον χαρακτηρισμό των πηγών (Meinzer, 1927):

- Μέγεθος πηγής
- Διακύμανση του ρυθμού εκφόρτισης
- Ο ρόλος της γεωλογίας
- Περιοχή αποστράγγισης, επαναφόρτιση, προέλευση νερού
- Ποιότητα νερού

Ακόμα ο Meinzer, 1927, θέσπισε μια ταξινόμηση των πηγών σε τάξεις με βάση την παροχή που αποδίδουν. Οι τάξεις και οι αντίστοιχες παροχές δίδονται στον πίνακα παρακάτω.

Πίνακας 2-1 Ταξινόμηση πηγών με βάση την παροχή (Meinzer, 1923)

| Τάξη | Παροχή στο S.I. |
|---------|---------------------------------------|
| Πρώτη | 10 m ³ /s ή παραπάνω |
| Δεύτερη | 1 έως 10 m ³ /s ή παραπάνω |
| Τρίτη | 0.1 έως 1 m ³ /s |
| Τέταρτη | 10 έως 100 L/s |
| Πέμπτη | 1 έως 10 L/s |
| Έκτη | 0.1 έως 1 L/s |
| Έβδομη | 10 έως 100 cc/s |
| Όγδοη | Λιγότερα από 10 cc/s |

2.1 Είδη πηγών

Ο όρος σωληνοειδής πηγή (ή πηγή σπηλαίου) χρησιμοποιείται μερικές φορές για να περιγράψει τη ροή από σχετικά μεγάλα ανοίγματα στα πετρώματα. Αυτές οι πηγές είναι χαρακτηριστικές των καρστικών σχηματισμών.

Οι δευτερεύουσες πηγές προέρχονται από τοποθεσίες που βρίσκονται μακριά από την κύρια εκκένωση της πηγής, η οποία καλύπτεται από κολλούβια (θραύσματα) ή άλλα φυσικά θραύσματα και ως εκ τούτου δεν είναι ορατή. Κατά τον εντοπισμό τέτοιων πηγών, πρέπει να γίνει κάθε προσπάθεια να αφαιρεθούν όλα τα θραύσματα και να βρεθεί το κύριο στόμιο, καθώς οι δευτερεύουσες θέσεις εκφόρτισης που τείνουν να μετακινούνται με την πάροδο του χρόνου.

Γενικά, όταν η επαφή μεταξύ των πετρωμάτων και του αδιαπέρατου υποκείμενου πετρώματος κλίνει προς τη πηγή, προς την κατεύθυνση της ροής των υπόγειων υδάτων και ο υδροφορέας είναι πάνω από αυτή την αδιαπέρατη επαφή, η πηγή ονομάζεται πηγή φθίνουσας επαφής. Όταν η αδιαπέραστη επαφή κλίνει μακριά από τη πηγή, σε μια διεύθυνση αντίθετη από τη ροή του υπόγειου νερού, η πηγή ονομάζεται πηγή επαφής υπερχείλισης.

Αύξουσα ή αρτεσιανή ονομάζεται η πηγή της οποίας τα υπόγεια ύδατα αναγκάζονται να ανεβαίνουν από τα μεγαλύτερα βάθη του υδροφόρου ορίζοντα κατά μήκος της επαφής λόγω υδροστατικής πίεσης. Σε αυτού του είδους τις πηγές συνήθως δεν συναντάται μεταβολή της

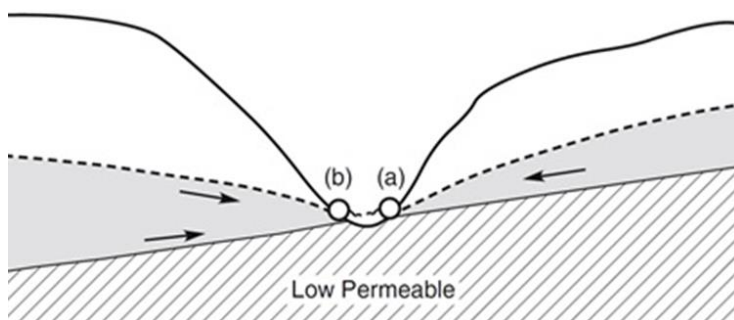
θερμοκρασίας των υδάτων. Εάν αυτή η θερμοκρασία είναι υψηλότερη της μέσης θερμοκρασίας του αέρα, τότε οι πηγές αυτές καθίστανται θερμές πηγές.

Οι διακοπτόμενες πηγές εκκενώνονται μόνο για μια χρονική περίοδο, ενώ άλλες φορές είναι ξηρές. Μπορούν να βρεθούν σε στερεοποιημένα και μη στερεοποιημένα πετρώματα όλων των τύπων, ενώ το μεγαλύτερο επιστημονικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι πηγές που εκκενώνονται από καρστικούς υδροφορείς.

Συχνό φαινόμενο ακόμα αποτελεί η εμφάνιση βυθισμένων πηγών. Με τον όρο βυθισμένες ή υποβρύχιες πηγές αναφέρονται οι πηγές που εκφορτίζουν γλυκό νερό και γίνονται στον πυθμένα της θάλασσας.

Τα ρήγματα παίζουν σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση πηγών, ειδικά σε κατακερματισμένα πετρώματα και καρστικούς υδροφόρους ορίζοντες. Σε κάθε περίπτωση μπορούν να παίζουν έναν από τους ακόλουθους τρεις ρόλους:

- αγωγός για τη ροή υπόγειων υδάτων,
- αποθήκευση υπογείων υδάτων λόγω αυξημένου πορώδους μέσα στο ρήγμα (ζώνη ρηγματών),
- μείωση του πορώδους μέσα στο ρήγμα.



Εικόνα 2-1. Σχηματική απεικόνιση πηγών βαρύτητας (τροποποιημένη από Milojevic, 1966)

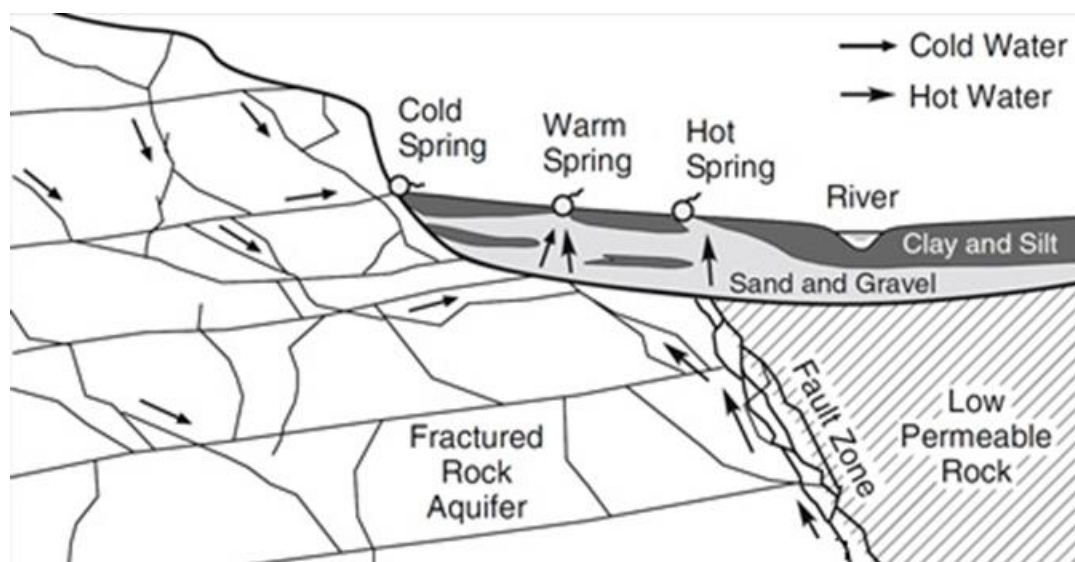
Ένα αδιαπέραστο εμπόδιο μετά από κατακερματισμένο πέτρωμα μπορεί να αναγκάσει τα υπόγεια ύδατα από μεγαλύτερο βάθος να ανέλθουν και να εμφανίσουν εκροές στην επιφάνεια μέσω των υπερκείμενων πτυχωσιγενών ιζημάτων στην λεκάνη απορροής.

Οι ρωγμές παίζουν σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση των πηγών, ειδικά σε σπασμένους βράχους και καρστικούς υδροφορείς. Αξίζει να σημειωθεί όμως, πως μπορούν να λειτουργήσουν ως

μέσο για την κίνηση των υπόγειων υδάτων και να βοηθήσουν στην αποθήκευση των υδάτων αυτών μέσα στην ζώνη ρηγμάτων.

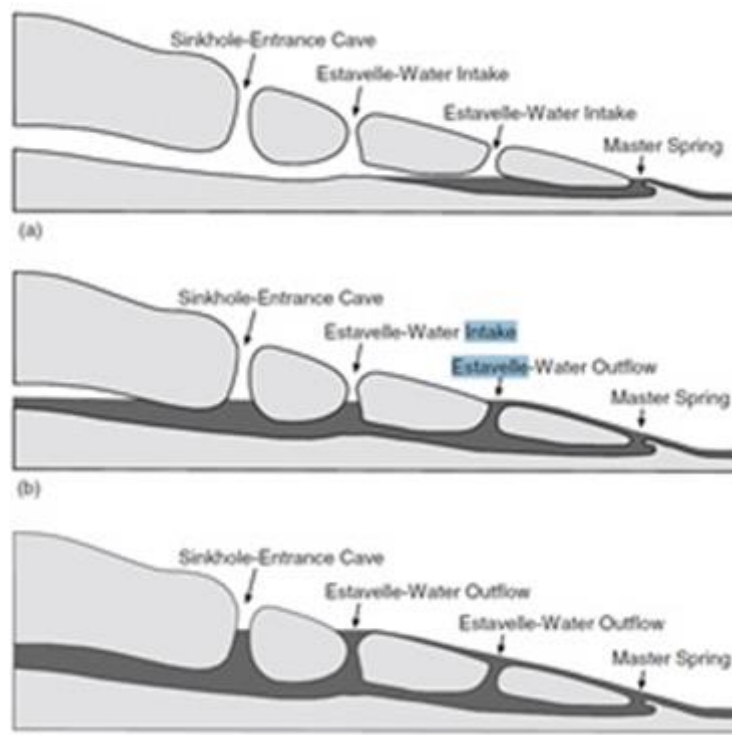
Η ανηρτική επίπτωση που έχουν τα ρήγματα οφείλεται σε τρεις κύριους μηχανισμούς:

- ❖ Η μετατόπιση των εναλλασσόμενων διαπερατών και αδιαπεράτων στρωμάτων γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε τα αδιαπεράτα στρώματα να φτάνουν σε επαφή με τις διαπερατές κλίνες.
- ❖ Η χρήση τσιμέντου που χρησιμοποιείται για να καλυφτεί το κενό που δημιουργείται από τους πόρους, με κατακρήμνιση υλικού, όπως ανθρακικού ασβεστίου, από τα υπόγεια ύδατα που κυκλοφορούν μέσω της ζώνης ρηγμάτων.
- ❖ Εναλλαγή επιμηκών κλαστικών επιπέδων παράλληλα προς το ρήγμα, έτσι ώστε η νέα τους διάταξη να μειώνει τη διαπερατότητα κάθετα προς το ρήγμα.



Εικόνα 2-2. Σχηματική απεικόνιση εμφανίσεων πηγών διαφορετικών θερμοκρασιών σε ρηγματωμένη ζώνη, καλυμμένη από ιζήματα (Kresic, 2010)

Τα estavelle παρουσιάζουν διπλή λειτουργία. Κατά τις περιόδους ύπαρξης μεγάλων υδραυλικών μετώπων λειτουργούν σαν πηγές, ενώ κατά τις περιόδους που το υδραυλικό μέτωπο βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια του υπόγειου νερού λειτουργούν σαν χώρος αποθήκευσης του επιφανειακού νερού. Μια απεικόνιση για το πώς θα μπορούσε να είναι το estavelle δίδεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 2-3. Σχηματική απεικόνιση Estavelle (Kresic, 2010)

2.2 Θερμές, Ζεστές και Ιαματικές πηγές

Συνολικά οι πηγές χαρακτηρίζονται θερμές ή μη, συγκρίνοντας τη θερμοκρασία του νερού που ρέει μέσω αυτών, με τη φυσιολογική θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος (98° Φαρενάιτ ή 37° Κελσίου). (Kresic, 2010 p.46)

Οι ζεστές πηγές έχουν υψηλότερη και οι θερμές πηγές χαμηλότερη θερμοκρασία. Μια ζεστή πηγή έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα στη θέση της εκφόρτισης.

Και οι δύο κατηγορίες πηγών μπορούν να παρουσιάζουν διακύμανση στη θερμοκρασία τους, η οποία διακύμανση φανερώνει την επίδραση της επιφανειακής θερμοκρασίας.

Φαινόμενα όπως οι θερμοί πίδακες και οι φουμαρόλες εμφανίζονται μόνο σε περιοχές με πρόσφατη ή ενεργή ηφαιστειακή δραστηριότητα, και γι αυτό το λόγο δεν θα αναλυθούν παραπάνω στην παρούσα εργασία.

Οι πίδακες (geysers) εμφανίζουν φαινόμενα όπως η εκτόνωση δυνάμεων των υπογείων ρευμάτων, αλλά οι μηχανισμοί τους δεν είναι πλήρως κατανοητοί. Μεγάλες ποσότητες ζεστού νερού εικάζεται ότι πληρούν τις υπόγειες κοιλότητες. Αμελητέα μείωση της πίεσης ή αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί το βρασμό μέρους του νερού. Οι προκύπτουσες δυνάμεις

εξαναγκάζουν το νερό να εκρέει με μεγάλη ταχύτητα στην επιφάνεια. Αυτή η απώλεια νερού μειώνει περαιτέρω την πίεση στο σύστημα αγωγών και το μεγαλύτερο μέρος του παραμένοντος νερού ξαφνικά μετατρέπεται σε ατμό και αναβλύζει περιοδικά και με μεγάλη ταχύτητα στην επιφάνεια.

Οι ιαματικές πηγές θερμαίνονται από τη φυσική θερμική ενέργεια μέσα στη Γη. Παρόλο που το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας απορροφάται από τα πετρώματα, το νερό και ο ατμός που περιέχονται στα ρήγματα και τους πόρους των πετρωμάτων είναι τα μόνα διαθέσιμα φυσικά μέσα για τη μεταφορά αυτής της ενέργειας στην επιφάνεια της Γης. Μερικές από τις μεγαλύτερες περιοχές που έχουν παρατηρηθεί εκροές θερμών υδάτων έχουν υποστεί εκμετάλλευση για τη παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας. Αυτές οι περιοχές χαρακτηρίζονται από υψηλή διαπερατότητα, τουλάχιστον τοπικά, ρήγματα και ιζηματογενή στρώματα. Η υψηλή διαπερατότητα επιτρέπει την κυκλοφορία ρευστού, το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής θερμικής ροής μεταφέρεται προς τα πάνω με τη ανάβλυση νερού ή ατμού.

Στα συστήματα ζεστού νερού το μεγαλύτερο μέρος των ρευστών αποτελείται από νερό που ρέει, το οποίο μεταφέρει το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας και ελέγχει σε μεγάλο βαθμό τις υπόγειες πιέσεις (σε αντιπαραβολή με τα συστήματα ατμού). Μπορεί να υπάρχουν ορισμένοι ατμοί, ως φυσαλίδες διάσπαρτες στο νερό, στα επιφανειακά σημεία αυτών των συστημάτων τα οποία χαρακτηρίζονται από χαμηλή πίεση.

Όλα τα συστήματα μεταφοράς θερμότητας διακρίνονται σε τρεις κλίμακες θερμοκρασιών:

- Πάνω από 150 °C, αυτά τα συστήματα μπορούν να υποστούν εκμετάλλευση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- από 90 έως 150 °C, τα συστήματα αυτά είναι αποτελεσματικά στη θέρμανση χώρων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για λειτουργίες που σκοπό έχουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- κάτω των 90 °C, αυτά τα συστήματα μπορούν να τροφοδοτήσουν τις ενεργειακές ανάγκες των όλο και πιο δημοφιλών γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (Reed, 1983a).

Οι γεωθερμικοί πόροι χαμηλής θερμοκρασίας εμφανίζονται σε δύο τύπους γεωθερμικών συστημάτων:

- ❖ Συστήματα υδροθερμικής μεταφοράς, όπου η προς τα πάνω κυκλοφορία του νερού μεταφέρει τη θερμική ενέργεια σε ταμιευτήρες σε μικρά βάθη ή στην επιφάνεια μέσω

ιαματικών πηγών. Αυτά τα συστήματα εμφανίζονται συνήθως σε περιοχές ενεργού τεκτονισμού.

- ❖ Τα συστήματα μεταφοράς θερμότητας, στα οποία η ροή του νερού προς τα άνω δεν είναι τόσο υψηλή όσο η κάθετη στάθμη γεωθερμικής ενέργειας στον περιβάλλοντα βράχο του υδροφορέα, ο οποίος διαθέτει μεγάλη πλευρική περιοχή (Sorey, Natheson, and Smith, 1983a).

Ο όρος μεταλλική πηγή (ή μεταλλικό νερό) έχει διαφορετικό νόημα σε διάφορες χώρες και θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μια πηγή με νερό που έχει ένα ή περισσότερα χημικά χαρακτηριστικά διαφορετικά από το κανονικό πόσιμο νερό που χρησιμοποιείται για δημόσια χρήση.

Για παράδειγμα, το νερό μπορεί να έχει αυξημένη περιεκτικότητα σε ελεύθερο αέριο διοξείδιο του άνθρακα (φυσικώς ανθρακούχο νερό), υψηλή περιεκτικότητα σε ραδόνιο ("ραδιενεργό" νερό, που καταναλώνεται ακόμα σε ορισμένα μέρη του κόσμου ως «φαρμακευτικό», νερό με «θαυματουργές» επιδράσεις, «καλό για δερματικές παθήσεις» και «μαλακό δέρμα»), υψηλό διαλυμένο μαγνήσιο ή απλά τα συνολικά διαλυμένα στερεά είναι υψηλότερα από 1000 mg/L.

2.3 Μηχανισμοί εκροής

Χαρακτηριστικό όλων των πηγών είναι ότι εκφορτίζονται στον πυθμένα της θάλασσας. Αυτό όμως οδηγεί στον διαχωρισμό τους όσον αφορά τον μηχανισμό εκροής.

Οι πηγές χωρίζονται σε δύο κύριες ομάδες που με βάση τη φύση του υδραυλικού φορτίου στον υποκείμενο υδροφόρο ορίζοντα στο σημείο εκροής:

- Οι πηγές βαρύτητας εμφανίζονται όπου το νερό εκρέει λόγω της βαρύτητας στην επιφάνεια της γης. Καλούνται επίσης καθοδικές πηγές.
- Οι αρτεσιανές πηγές εκρέουν υπό πίεση λόγω περιορισμένων συνθηκών στον υποκείμενο υδροφόρο ορίζοντα. Ονομάζονται επίσης αύξουσες ή ανερχόμενες πηγές.

Παρακάτω παρατίθενται ο διαχωρισμός των πηγών, με βάση τα εξής διαφορετικά τους χαρακτηριστικά :

- Το ρυθμό εκροής και την ομοιομορφία.

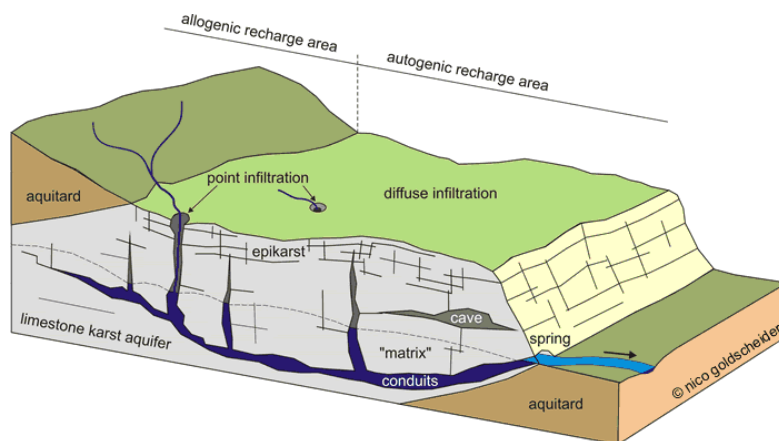
- Το χαρακτήρα του υδραυλικού φορτίου που δημιουργεί την εκροή (φθίνουσες ή βαρυτικές πηγές και ανερχόμενες ή αρτεσιανές πηγές).
- Τη γεωλογική και γεωμορφολογική δομή που ελέγχει την εκφόρτιση (κατάπτωση, επαφή, εμπόδιο και βυθισμένες πηγές).
- Τη ποιότητα νερού και τη θερμοκρασία

2.4 Καρστικές πηγές και καρστικοί υδοφορείς

Το κάρστ είναι ένας επιστημονικός όρος που πήρε το όνομά του από τη γεωγραφική περιοχή των Διναρίδων στην ακτή της Αδριατικής, μεταξύ Σλοβενίας και της Τεργέστης της Ιταλίας, η οποία έχει ένα πολύ ξεχωριστό τοπίο.

Είναι μια γερμανική λέξη για το carso (στα ιταλικά) και kras (στα σλοβενικά), και οι τρεις λέξεις προέρχονται από την ινδοευρωπαϊκή λέξη kar ή karra, που σημαίνουν βράχος.

Το κάρστ δημιουργεί έναν μυστηριώδη υπόγειο κόσμο σπηλαίων και εγκύλων και αποτελεί περιβάλλον που μπορεί μερικές φορές να φτάσει εκατοντάδες μέτρα. Μετά από έντονες βροχές σε λίγες ώρες, μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση ροών σε πολλές προσωρινές πηγές και να αυξήσει τη ροή μόνιμων πηγών κατά χίλιες φορές. Ακόμα το κάρστ και οι καρστικοί υδροφορείς είναι εξαιρετικά ευάλωτο τόσο στη φυσική όσο και στην ανθρωπογενή ρύπανση (Kresic, 2009).



Εικόνα 2-4. Σχηματική απεικόνιση καρστικού πεδίου (www.iah.org/karst)

Μεγάλο μέρος της επιστημονικής και ερευνητικής κοινότητας έχει εμπνευστεί εδώ και δεκαετίες από τις κινήσεις των υπογείων υδάτων σε καρστικό περιβάλλον. Αυτό συμβαίνει λόγω της πολυπλοκότητας που αντιμετωπίζουν οι επιστήμονες κατά τη διάρκεια μελετών πάνω σε προβλήματα που οφείλονται στο κάρστ.

Η κυριότερη συνέπεια της διαπερατότητας των καρστικών υδροφόρων στρωμάτων είναι ότι η υπόγεια ροή των καρστικών πηγών, συχνά εκτείνεται πέρα από τα χαρτογραφημένα όρια, εφόσον οι γεωλογικές συνθήκες των κατώτερων στρωμάτων είναι ομοιόμορφες. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος για τον οποίο οι καρστικοί υδροφόροι σχηματίζουν τις μεγαλύτερες πηγές του κόσμου.

Εκτός από την πλευρική ανάπτυξη των λεκανών αποστράγγισης υπογείων υδάτων σε καρστ, υπάρχει μια άλλη σημαντική πτυχή της διαδικασίας καρστικοποίησης, να εκτείνεται δηλαδή σε μεγάλο βάθος, ανεξάρτητα με το αν η βάση του εγκοίλου αποτελείται από διαβρωμένα πετρώματα. Με άλλα λόγια με τη προϋπόθεση ότι υπάρχει αρκετό πάχος των ανθρακικών ιζημάτων κάτω από τα επιφανειακά ύδατα ή σε επαφή με λιγότερο διαπερατά πετρώματα, η διαδικασία διάλυσης έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη καρστικών αγωγών σε συνεχώς αυξανόμενα βάθη και σχηματισμό ανερχόμενων πηγών. Το διοξείδιο του άνθρακα, όταν είναι διαλυμένο στο νερό (π.χ. στο βρόχινο νερό) διαλύει χημικά το ανθρακικό πέτρωμα. Εκεί που δεν υφίσταται επιφανειακή αποστράγγιση, το νερό διαπερνά το έδαφος σχηματίζοντας έτσι τις χαρακτηριστική γεωλογική καρστική μορφολογία του.

Συμπερασματικά, οι καρστικές πηγές και οι καρστικοί υδροφόροι σχηματίζουν έναν τεράστιο αλλά πολύ ευαίσθητο φυσικό δημιούργημα που διατηρεί τη ροή πολλών επιφανειακών ρευμάτων και οικολογικών μονάδων και δημιουργεί τις προϋποθέσεις για τη δημιουργία οικοτόπων και έχει χρησιμοποιηθεί για να καλύψει τις ανάγκες ύδρευσης εκατοντάδων εκατομμυρίων ανθρώπων σε όλο τον κόσμο.

2.5 Υδρογεωλογικά στοιχεία περιοχής Ρεθύμνου- Κρήτης

Η Κρήτη αποτελεί αντικείμενο υδρολογικής μελέτης λόγω των προβλημάτων λειψυδρίας που έχει αντιμετωπίσει κατά το παρελθόν. Πληθώρα μελετών έχουν εκπονηθεί κατά το παρελθόν που σχετίζονται με την ύπαρξη, συμπεριφορά, και την κατανομή των υδατικών πόρων στην Κρήτη. Για τη συγγραφή της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε μελέτη του ΠΕΣΔΑΚ με χρονολογία εκπόνησης 2010.

2.5.1 Στοιχεία για τις πηγές και τα ιζήματα της περιοχής Ρεθύμνου

Στο Νομό Ρεθύμνου η μεγαλύτερη ποσότητα των επιφανειακών νερών του Νομού απορρέει στη θάλασσα μέσω των κυριότερων χειμάρρων στο βόρειο και νότιο τμήμα αυτού και είναι:

-
- Στο βόρειο τμήμα, οι ποταμοί Γεροπόταμος, Πλατανιάς, Πέτρες και το ρέμα Αργυρούπολης ή Μούσελας
 - Στο νότιο τμήμα οι ποταμοί Πλατύς, Σπηλιανός.

Στα ιζήματα του Νεογενούς ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και τα κροκαλοπαγή στην επιφάνεια των οποίων, αναβλύζει πλήθος μικροπηγών. Τα ανθρακικά πετρώματα που παρεμβάλλονται μεταξύ των καρστικών υδροσυστημάτων των Λευκών Ορέων και τον Ψηλορείτη αποτελούν τεκτονικά καλύμματα, που διαθέτουν ένα μεγάλο υδάτινο δυναμικό.

Οι μεγάλες καρστικές πηγές του Νομού αναβλύζουν και τροφοδοτούνται από αυτά τα ανθρακικά πετρώματα των καλυμμάτων και είναι οι πηγές της Αργυρούπολης ($Q = 781 \text{ m}^3/\text{h}$), του Κουρταλιώτη, του Σπηλίου, τις Λικρές κ.ά..(ΠΕΣΔΑΚ, 2010)

Κεφάλαιο 3: Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Νερών και Στοιχεία Υδροχημείας

Για την μελέτη των ποιοτικών χαρακτηριστικών των διάφορων υδάτων έχουν προκύψει διάφοροι δείκτες, που κατά καιρούς χρησιμοποιήθηκαν από τους ερευνητές.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι βασικοί δείκτες και διαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για τον ποιοτικό χαρακτηρισμό των νερών που εκρέουν από πηγές της περιοχής του Ρεθύμνου.

Παρατίθεται θεωρητική ανασκόπηση του TDS(ολικά διαλυμένα στερεά), της θερμοκρασίας, του pH, του δυναμικού οξειδοαναγωγής, της αγωγιμότητας, της αλκαλικότητας, της σκληρότητας και της ραδιενέργειας.

3.1 Εμφάνσεις Χημικών Στοιχείων στα Φυσικά Νερά

Σχεδόν το σύνολο των στοιχείων που περιλαμβάνονται στον περιοδικό πίνακα, έχουν εντοπιστεί σε χημικές αναλύσεις φυσικών νερών. Σε αυτήν την ενότητα γίνεται αναφορά στις εμφανίσεις αυτών στα νερά αλλά και στους γεωλογικούς σχηματισμούς, από την διάλυση των οποίων προκύπτουν οι συγκεντρώσεις των στοιχείων στα φυσικά νερά.

3.1.1 Κύρια Στοιχεία

Πυρίτιο

Το πυρίτιο είναι το δεύτερο πιο κοινό στοιχείο σε αφθονία στο φλοιό της Γης και πιο συγκεκριμένα η επιφάνεια της γης αποτελείται κατά 28% από διοξείδιο του πυριτίου SiO_2 ενώ ο όγκος αυτός είναι κυρίως από ενώσεις πυριτίου με οξυγόνου που αποτελούν από μόνες τους μια πολύ ισχυρή σχέση.

Το πυρίτιο μπορεί να παραχθεί και μέσα από μια ηλεκτροχημική διαδικασία κατά την οποία χρησιμοποιούνται μειωμένες εκπομπές άνθρακα και άρα και διοξειδίου του άνθρακα αλλά η διαδικασία αυτή δεν «εγκρίνεται» λόγω μεγάλου οικονομικού κόστους. Αντιθέτως ως οικονομικότερη λύση εμφανίζεται αυτή της χημικής μεθόδου. Στη μέθοδο αυτήν χρησιμοποιείται ως κύρια ύλη η άμμος και ο άνθρακας (καθώς και τα παράγωγα του) απουσιάζει από αυτήν. Η άμμος προέρχεται από την θάλασσα κατά την οποία περιέχει από μόνη της ένα υψηλό ποσοστό χαλαζία και έπειτα από επεξεργασία που θα υποστεί θα παραχθεί

το ζητούμενο αντικείμενο που είναι το πυρίτιο ως «σκόνη υψηλής καθαριότητας». Αξίζει να τονιστεί πως η μέθοδος αυτής δεν εφαρμόζεται ευρέως όσο οι πιο σύγχρονες αλλά στο μέλλον μπορεί να αποτελέσει μια αρκετά ικανοποιητική λύση και εφόσον η πόσότητα άνθρακα έχει μειωθεί δραματικά.

Πέρα από αυτές τις τεχνικές υπάρχουν και άλλες αρκετές (όπως η θερμική μετρατροπή τετρααλογονιδίων του πυριτίου σε πυρίτιο κτλ) οι οποίες με την σειρά τους επιδρούν στην τρόπο αντίδρασης του πυριτίου και θα πρέπει να ανταποκρίνονται κάθε φορά στο επιθυμητό αντικείμενο π.χ. μια χαμηλή αντιδραστικότητα, συνίσταται για παραγωγή μεταλλικών εξαρτημάτων, ενώ παράλληλα η οξειδωση του πυριτίου έχει άμεση σχέση με την θερμοκρασία . (Νικολάου, 2008)

Η δομή οξυγόνου-πυριτίου εμφανίζεται επίσης με ιόντα υδροξειδίου, τα οποία έχουν σχεδόν το ίδιο μέγεθος με το O^{2-} ιόν. Το τετράεδρο SiO_4^{4-} είναι μια θεμελιώδης δομική μονάδα των περισσότερων πυριτικών ορυκτών στοιχείων που σχηματίζουν πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα και υπάρχει σε κάποια μορφή στα περισσότερα πετρώματα και εδάφη καθώς και στο φυσικό νερό.

Ο όρος "διοξείδιο του πυριτίου", SiO_2 , χρησιμοποιείται ευρέως στην αναφορά σε πυρίτιο στο φυσικό νερό, αλλά θα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι η πραγματική μορφή είναι ενυδατωμένη και αντιπροσωπεύεται ακριβέστερα ως H_4SiO_4 ή $Si(OH)_4$.

Υπάρχουν έξι βασικές μέθοδοι για τη σύνδεση του τετραέδρου SiO_4 με το σχηματισμό πυριτικού ορυκτού σκελετού. Σε σύγκριση με την αφθονία του πυριτίου, ο τύπος του μοτίβου που εμφανίζεται είναι συνάρτηση της σχετικής αφθονίας οξυγόνου στο βράχο. Σε συστήματα στα οποία το οξυγόνο είναι άφθονο σε σχέση με το πυρίτιο, το κυρίαρχο πρότυπο είναι εκείνο στο οποίο γειτονικά τετράεδρα συνδέονται μέσω χημικής σύνδεσης οξυγόνου με ένα δισθενές κατιόν. Αυτή η μορφή εκτείνεται σε τρεις διαστάσεις, αυτός ο τύπος πυριτικού ονομάζεται μη πυριτικό.

Ο δεύτερος δομικός σχεδιασμός αποτελείται από ένα ζευγάρι τετράεδρων που μοιράζονται ιόντα οξυγόνου, δηλαδή αμορτισέρ. Ορισμένα φυσικά μέταλλα έχουν αυτή τη δομή. Ο τρίτος τρόπος αποτελείται από δακτυλίους στους οποίους δύο ή τρία ιόντα οξυγόνου μοιράζονται τρία ή περισσότερα τετράεδρα.

Μια εξαμελής δομή δακτυλίου εμφανίζεται στο ορυκτό βήρυλλο ($Be_3Al_2Si_6O_{18}$). Το άλας πυριτίου με απομονωμένο δακτύλιο στη δομή ονομάζεται άλας πυρίτη δακτυλίου. Αυτή η δομή είναι επίσης ασυνήθιστη.

Ο σχεδιασμός της δομής κάθε τετράεδρου που μοιράζεται δύο ιόντα οξυγόνου με γείτονες μπορεί να παράγει μια μακρά μονή αλυσίδα όπως ο θάλαμος καύσης ($R_2(SiO_3)_2$). Εάν δύο γειτονικές αλυσίδες συνδέονται μεταξύ τους μέσω κάποιας πρόσθετης κατανομής οξυγόνου, θα σχηματίσει μια αμφίβολη δομή. Για τις αμφίβολες δομές που δεν υπάρχει υποκατάστατο αργιλίου για το πυρίτιο και δεν υπάρχουν μονοσθενή κατιόντα, η ένωση μπορεί να εκφράζεται ως $R_7(OH)_2Si_8O_{22}$. Το σύμβολο R σε αυτούς τους τύπους αντιπροσωπεύει διάφορα δισθενή κατιόντα. συνηθέστερα αυτά είναι Ca^{2+} , Mg^{2+} και Fe^{2+} .

Τα τεκτοπυριτικά αποτελούνται από τετράεδρα στα οποία όλα τα ιόντα οξυγόνου χωρίζονται σε τρεις διαστάσεις μεταξύ γειτονικών τετραεδρών. Η δομή του χαλαζία (SiO_2), ακολουθεί αυτό το μοτίβο.

Οι άστριοι περιέχουν λίγο αργίλιο και άλλα κατιόντα στη θέση του πυριτίου, όπως στους κάλιουχους άστριους ($KAlSi_3O_8$). Τα δομικά χαρακτηριστικά των πυριτικών ορυκτών περιγράφονται λεπτομερέστερα από τον Hiickel (1950, σελ. 740-755) και σε πολλά πιο πρόσφατα κείμενα σχετικά με την ανόργανη χημεία και την ορυκτολογία.

Ο δεσμός πυριτίου-οξυγόνου είναι ισχυρότερος από τους δεσμούς μετάλλου-οξυγόνου που εμφανίζονται στα πυριτικά άλατα. Έτσι, η αντοχή σε χημική προσβολή, η οποία συνεπάγεται τη θραύση των δεσμών που συγκρατούν τη δομή, είναι μεγαλύτερη στις δομές στις οποίες ένα μεγαλύτερο ποσοστό των δεσμών είναι μεταξύ πυριτίου και οξυγόνου.

Αυτοί οι δεσμοί αποτελούν ζώνες αδυναμίας που μπορούν να διασπαστούν σχετικά εύκολα σε σύγκριση με δεσμούς πυριτίου-οξυγόνου ή αλουμινίου-οξυγόνου.

Το κρυσταλλικό SiO_2 ως χαλαζίας είναι ένα κύριο συστατικό πολλών πυριγενών πετρωμάτων και αποτελεί επίσης το μεγαλύτερο μέρος των κόκκων στους περισσότερους ψαμμίτες. Από τα κοινά ορυκτά, ο χαλαζίας είναι ένα από τα πιο ανθεκτικά στην προσβολή από το νερό.

Φαίνεται όμως πιθανό ότι το μεγαλύτερο μέρος του διαλυμένου πυριτίου που παρατηρείται στο φυσικό νερό προκύπτει αρχικά από τη χημική διάσπαση των πυριτικών ορυκτών σε διεργασίες αποσάθρωσης. (Hem, 1985 σελ.69-73)

Αργίλιο

Αν και το αργίλιο είναι το τρίτο πιο άφθονο στοιχείο στον εξωτερικό φλοιό της Γης (συγκεκριμένα έχει συγκέντρωση της τάξης του 8 %), σπάνια εμφανίζεται μέσα σε φυσικό νερό σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από κάποιες δεκάδες έως εκατοντάδες mg/L. Η παραγωγή

του έχει ξεκινήσει ήδη από τον 19^ο αιώνα και στην αρχή το κόστος παραγωγής του ήταν υψηλότερο από αυτό του χρυσού. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι αυτής της ηλεκτρόλυσης των ενώσεων του αργιλίου (συνήθως του βωξίτη) κατά την οποία το πρώτο βήμα είναι η κατεργασία του σε υψηλούς βαθμούς κελσίου ενώ έπειτα ακολουθούν διάφορες φυσικοχημικές αντιδράσεις με τελικό αποτέλεσμα την παραγωγή αργίλου.

Ενώ το κοινό στοιχείο όλων των φυλλοπυριτικών ορυκτών είναι το SiO_4 , το αργίλιο είναι σε θέση να αντικαταστήσει το μισό πυρίτιο των στοιβάδων και να προκύψουν στοιβάδες είτε τετραεδρικές είτε οκταεδρικές. Στην πρώτη περίπτωση το αργιλικό ορυκτό έχει ως βάση το Si^{+4} το οποίο όμως είναι δυνατό να αντικατασταθεί σε Al^{+3} . Το κάθε τετράεδρο ενώνει τις κορυφές του με άλλα τετράεδρα έτσι ώστε να δημιουργούνται εξαμελή δακτύλια και να έχουν όψη προς την ίδια διεύθυνση. Στην δεύτερη περίπτωση, ως βάση είναι το αργίλιο που μπορεί να αντικατασταθεί από διάφορα χημικά στοιχεία (π.χ. Fe^{+3} , Mg^{+2} κτλ),

Με βάση τα τετραεδρικά και οκταεδρικά στρώματα τα αργιλικά ορυκτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις ομάδες (σύμφωνα με Τσώλη-Κατάγα, 1985):

που αποτελούνται από ένα στρώμα και ένα ακόμα στρώμα οκταέδρων (1/1)

αποτελούνται από οκταεδρικό στρώμα που περιβάλλεται από δύο τετραεδρικά στρώματα (1/2) και αυτά που έχουν ακριβώς την ίδια σύνθεση με την δεύτερη κατηγορία με μόνη διαφορά ότι παρεμβάλλονται συνολικά από ένα ακόμα στρώμα οκταέδρων (1/2/1).

Μια άλλη γενικότερη ταξινόμηση που έχει προταθεί είναι με βάση τα κοινά τους χαρακτηριστικά, τις παρόμοιες αντιδράσεις κτλ και περιλαμβάνουν μια μεγάλη ομάδα αργιλικών ορυκτών όπως είναι οι ομάδες Καολινίτη, Ιλλίτη, Σμεκτίτη και άλλα.

Οι εξαιρέσεις είναι κυρίως νερά πολύ χαμηλού pH. Επειδή το αργίλιο είναι τόσο άφθονο και τόσο ευρέως κατανεμημένο, τα φυσικά νερά έχουν πολλές ευκαιρίες να το διαλύσουν. Οι χαμηλές συγκεντρώσεις, σε νερά σε σχεδόν ουδέτερου pH, πρέπει να είναι αποτέλεσμα της διαλυτότητας του στοιχείου. Το αργίλιο εμφανίζεται σε σημαντικές ποσότητες σε πολλά πυριτικά ασβεστολιθικά ορυκτά όπως οι άστριοι, οι μαρμαρυγίες και σε πολλούς αμφίβολους.

Το αργίλιο είναι τρισθενές και οι υποκαταστάσεις από αυτά τα είδη μπορεί να απαιτούν την προσθήκη ή την αφαίρεση κατιόντων ή πρώτονίων για τη διατήρηση ενός καθαρού ισοζυγίου στη δομή.

Τα αργιλικά ορυκτά έχουν μια στρωσιγενή δομή στην οποία το αργίλιο οκταεδρικά συντονισμένο με έξι ιόντα οξειδίου ή υδροξειδίου σχηματίζει ένα τύπο στρώματος, και το τετραεδρικό πυρίτιο συντονισμένο με το οξυγόνο σχηματίζει ένα δεύτερο τύπο στρώματος. Αυτά τα στρώματα εναλλάσσονται με διάφορους τρόπους, σχηματίζοντας τις διάφορες δομές αργίλου. Τα στρώματα δεσμεύονται μαζί με δεσμούς Si-O-Al. Οι αργίλλοι υπάρχουν στα περισσότερα περιβάλλοντα φυσικών υδάτων και είναι άφθονες στα περισσότερα εδάφη και σε υδρολυμένα ιζηματογενή πετρώματα. (Hem, 1985 σελ. 73-76)

Σίδηρος

Αν και ο σίδηρος είναι το δεύτερο σε αφθονία μεταλλικό στοιχείο στον εξωτερικό φλοιό της Γης, οι συγκεντρώσεις που υπάρχουν στα νερά είναι γενικά μικρές. Η χημική συμπεριφορά του σιδήρου και η διαλυτότητά του στο νερό εξαρτώνται έντονα από τον βαθμό αντίδρασης του με το οξυγόνο, στο σύστημα στο οποίο εμφανίζεται καθώς και το pH. Η χημεία του σιδήρου σε υδατικά συστήματα έχει μελετηθεί εκτενώς και διέπεται από τις αρχές χημικής ισορροπίας.

Το όριο ασφαλείας για το σίδηρο στα δημόσια νερά είναι 0,3 mg / L (NAS-NAE, 1972).

Τα πυριγενή ορυκτά που έχουν σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο περιλαμβάνουν τους πυρόξενους, τους αμφίβολους, το βιοτίτη, το μαγνητίτη και, ιδιαίτερα, τον ολιβίνη.

Ο τελευταίος είναι ουσιαστικά ένα στερεό διάλυμα του οποίου τα τελικά μέλη είναι **φοστερίτης** (Mg_2SiO_4) και **φαιαλίτης** (Fe_2SiO_4). Ως επί το πλείστον, ο σίδηρος σε αυτά τα ορυκτά είναι στην δισθενή Fe^{2+} κατάσταση οξειδώσεως, αλλά μπορεί επίσης να υπάρχει και τρισθενής σίδηρος (Fe^{3+}), όπως στον μαγνητίτη (Fe_3O_4).

Όταν τα ορυκτά αυτά αλληλεπιδρούν με το νερό, ο σίδηρος που απελευθερώνεται **κατακρημνίζεται** ως ίζημα. Υπό αναγωγικές συνθήκες, όταν υπάρχει διαθέσιμο θείο, μπορεί να εμφανιστούν τα πολυσουλφίδια σιδήρου όπως ο πυρίτης, μαρκασίτης και τα λιγότερο σταθερά είδη **μακιναβίτης** $(\text{Fe}, \text{Ni})_{1+x}\text{S}$ (όπου $x = 0$ έως 0.11) και **γκριεγκίτης** (Fe_3S_4). Όπου το θείο είναι λιγότερο άφθονο, μπορεί να σχηματιστεί σιδερίτης (FeCO_3). Σε οξειδωτικά περιβάλλοντα τα ιζήματα αποτελούνται οξείδια σιδήρου ή οξυυδροξείδια όπως αιματίτης, Fe_2O_3 , γκαιτίτης, FeOOH ή άλλα μέταλλα που έχουν αυτές τις συνθέσεις.

Οι επικαθίσεις πιθανώς έχουν μη ανεπτυγμένη κρυσταλλική δομή και κοινώς χαρακτηρίζονται ως υδροξείδιο του σιδήρου, $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Ο μαγνητίτης τείνει να αντιστέκεται στην διάλυση από το νερό και συνήθως υπάρχει ως υπόλειμμα σε ανθεκτικά ιζήματα.

Ο σίδηρος είναι ένα κοινό συστατικό των θειούχων μεταλλευμάτων άλλων μετάλλων και το σουλφίδιο του σιδήρου συνδέεται γενικά με τις εμφανίσεις άνθρακα.

Η διάλυτοτητα του σιδήρου επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, ιδίως τις μεταβολές του βαθμού της οξείδωσης ή της αναγωγής.

Υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου δισθενούς σιδήρου μπορεί να εμφανιστούν σε περιοχές αναγωγής των οξυδροξειδίων τριθενούς σιδήρου ή οξείδωσης σουλφιδίων σιδήρου. Στην τελευταία περίπτωση, το θείο προσβάλλεται πρώτα και μεταβάλλεται σε θειικό, απελευθερώνοντας τον δισθενή σίδηρο. Ο σίδηρος υπάρχει στα οργανικά απόβλητα και στα υπολείμματα των φυτών στα εδάφη και στις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στη βιόσφαιρα μπορεί να έχουν ισχυρή επίδραση στην εμφάνιση του σιδήρου στο νερό. Οι μικροοργανισμοί συνήθως εμπλέκονται σε διαδικασίες οξείδωσης και αναγωγής του σιδήρου και μερικά από τα είδη αυτά μπορούν να χρησιμοποιούν αυτές τις αντιδράσεις ως πηγές ενέργειας.

Είδη Σιδήρου στο Φυσικό Νερό και στα έμβια όντα

Η πιο κοινή μορφή διαλυμένου σιδήρου στα υπόγεια ύδατα είναι το δισθενές ιόν σιδήρου Fe^{2+} . Το σύμπλοκο μονοϋδροξειδίου $FeOH^+$ μπορεί να κυριαρχεί πάνω από ένα pH~9,5 (BaesandMesmer, 1976, σελ. 100) και μπορεί να είναι σημαντικό σε κάπως χαμηλότερο pH. Πάνω από pH=11, το ανιόν $Fe(OH)_3^-$ ή $HFeO_2^-$ μπορεί να υπάρχει σε νερό σε αισθητές συγκεντρώσεις, αλλά ένα τόσο υψηλό pH σπάνια επιτυγχάνεται σε φυσικά συστήματα. Ένα ζεύγος ιόντων $FeSO_4(aq)$ που αναφέρθηκε από τους SillenandMartell (1964, σελ. 240) θα μπορούσε να είναι σημαντικό σε διαλύματα που έχουν περισσότερο από μερικές εκατοντάδες χιλιοστόγραμμα θειικού άλατος ανά λίτρο.

Τα σύμπλοκα σιδήρου σχηματίζονται από πολλά οργανικά μόρια και μερικά από τα σύμπλοκα μπορεί να είναι σημαντικά πιο ανθεκτικά στην οξείδωση από ότι θα ήταν τα ελεύθερα ιόντα σιδήρου. Οι οργανικές ενώσεις που περιέχουν σίδηρο είναι ιδιαίτερες σημαντικές στη διαδικασία της ζωής και στις λειτουργίες της αιμοσφαιρίνης στο αίμα των ζώων.

Ο τριθενής σίδηρος μπορεί να εμφανιστεί σε όξινα διαλύματα όπως Fe^{3+} , $FeOH^{2+}$ και $Fe(OH)_2^+$ και σε πολυμερείς μορφές υδροξειδίου, η κυρίαρχη μορφή και συγκέντρωση ανάλογα με το pH. Πάνω από pH 4,8, ωστόσο, η ολική ενεργότητα αυτών των ειδών σε ισορροπία με υδροξείδιο του σιδήρου θα είναι ανώτερη από 10 pg/L. Τα διμερή ή πολυμερικά υδροξεία κατιόντων σιδήρου ($Fe_2(OH)_2^{4+}$, κλπ.) μπορούν να γίνουν σημαντικά σε διαλύματα στα οποία ο ολικός διαλυμένος τριθενής σίδηρος υπερβαίνει τα 1.000 mg/L. Τέτοιες συγκεντρώσεις σιδήρου είναι σπάνιες σε φυσικό νερό. Ωστόσο, πριν από το σχηματισμό

στερεού υδροξειδίου του σιδήρου, η διαδικασία πολυμερισμού ήταν κάπως παρόμοια με εκείνη που περιγράφεται για το αλουμίνιο και μακροκόνια οι μικροκρυσταλλικές μορφές που πλησιάζουν τη σύνθεση $\text{Fe}(\text{OH})_3$ μπορεί να υπάρχουν σε φυσικό νερό σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις.

Το είδος $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{aq})$ που μερικές φορές αναφέρεται ότι είναι μεταξύ των μορφών του διαλυμένου τρισθενούς σιδήρου μπορεί στην πραγματικότητα να αντιπροσωπεύει τέτοια πολυμερή. Η παρουσία του υδροξειδίου του σιδήρου περιορίζεται από την σταθερότητα αυτού του υλικού. Η επίδραση του $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$ στη διαλυτότητα του σιδήρου δεν είναι σημαντική, εν πάσει περιπτώσει, εκτός εάν το pH είναι 10 ή μεγαλύτερο.

Ο τρισθενής σίδηρος σχηματίζει σύμπλοκα ανόργανων διαλυμάτων με πολλά ανιόντα εκτός από το OH^- .

Τα χλωριούχα, φθοριούχα, θειικά και τα φωσφορικά σύμπλοκα μπορεί να παρατηρηθούν σε σημαντικές συγκεντρώσεις σε ορισμένα φυσικά συστήματα. Τα οργανικά σύμπλοκα που περιέχουν σίδηρο υπάρχουν σε σημαντικές ποσότητες σε μερικά νερά. Σύμπλοκα μπορεί να εμφανίζονται είτε με δισθενή σίδηρο είτε με τρισθενή σίδηρο.

Το οξυϋδροξείδιο του σιδήρου έχει σημαντική ικανότητα αφομοίωσης, η οποία μπορεί να επηρεάσει τη συγκέντρωση των δευτερευόντων συστατικών του ύδατος που είναι εξαρτώμενα από το παραπάνω υλικό. Μπορούν να εμφανίσουν διαδικασίες οξειδοαναγωγής που μπορεί να ελέγξει διαλυτότητες άλλων μεταλλικών ιόντων υπό κάποιες συνθήκες. (Hem, 1985 σελ. 76-84)

Μαγγάνιο

Αν και το μαγγάνιο είναι ένα από τα πιο άφθονα μεταλλικά στοιχεία δεν αποτελεί βασικό συστατικό κανενός από τα πιο κοινά πυριτικά ορυκτά, αλλά μπορεί να υποκαταστήσει το σίδηρο, το μαγνήσιο ή το ασβέστιο. Βρίσκεται στο νερό και στο έδαφος και στον αέρα και συνήθως προέρχεται από ενώσεις με θείο, οξυγόνο και χλώριο. Οι τομείς που παράγει έργο το μαγγάνιο είναι πολλοί και ποικίλουν, από παραγωγή χάλυβα μέχρι καλλυντικά, γεωργικά λιπάσματα και άλλα.

Το μαγγάνιο βρίσκεται κυρίως σε αγροτικές περιοχές, στους ωκεανούς αλλά και στο γλυκό νερό ενώ οι επιτρεπτές τιμές ποσότητας του στο πόσιμο νερό δεν πρέπει να υπερβεί τα 0.05 mg/L σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στα χαρακτηριστικά του αναφέρεται πως η υφή του είναι σκληρή, έχει αρκετά αργυρό χρώμα, καίγεται στο καθαρό οξυγόνο και η τοξικότητα του

είναι πολύ μικρή. Στη κατηγορία του ανήκουν ορυκτά όπως ο πυρολουσίτης, ο ψιλομελάνας και άλλα.(Ασλάνογλου, 2015)

Η χημεία του μαγγανίου είναι κάπως παρόμοια με εκείνη του σιδήρου, καθώς και τα δύο μέταλλα συμμετέχουν σε λειτουργίες οξειδοαναγωγής. Ωστόσο, το μαγγάνιο έχει τρεις πιθανές καταστάσεις σθένους σε τέτοια περιβάλλοντα (2^+ , 3^+ και 4^+) και όχι δύο και μπορούν να σχηματίσουν μια μεγάλη ποικιλία οξειδίων μικτού σθένος. Τα είδη 3^+ είναι ασταθή επειδή μπορούν να διασπαστούν.

Δηλαδή, δύο ιόντα Mn^{3+} μπορούν να αλληλεπιδρούν για να παράγουν ένα ιόν Mn^{2+} και ένα Mn^{4+} , και αυτά τα προϊόντα είναι πιο σταθερά θερμοδυναμικά από τα αρχικά είδη Mn^{3+} . Αυτή η ικανότητα έχει αρκετές ενδιαφέρουσες συνέπειες στη χημεία του στοιχείου σε φυσικό νερό. Το μαγγάνιο είναι ένας ανεπιθύμητος ρύπος στις συγκεντρώσεις υδάτων, κυρίως λόγω της τάσης να διοχετεύουν τα λεγόμενα μαύρα νερά που περιέχουν τοξικούς παράγοντες. Πολλά πυριγενή και μεταμορφωμένα ορυκτά περιέχουν δισθενές μαγγάνιο ως δευτερεύον συστατικό.

Το πυριτικό άλας, ροδονίτης ($MnSiO_3$) και το ανθρακικό, ροδοχρωσίτης ($MnCO_3$), είναι ροζ έως κόκκινα ορυκτά που μερικές φορές χρησιμοποιούνται ως πολύτιμοι λίθοι.

Όταν το δισθενές μαγγάνιο απελευθερώνεται σε υδατικό διάλυμα κατά την αποσάθρωση, είναι κάπως δυσκολότερο να οξειδωθεί από ό, τι ο δισθενής σίδηρος.

Γενικά όμως, εάν έρχεται σε επαφή με την ατμόσφαιρα, θα κατακρημνιστεί, σε θέσεις όπου το pH είναι αρκετά υψηλό, ως επιφλοιώση οξειδίου του μαγγανίου 4^+ .

Σε ορισμένες περιοχές το οξείδιο του μαγγανίου μπορεί να συσσωρευτεί με άλλο υλικό με τη μορφή ενός σφαιριδίου Σε λίμνες και ταμιευτήρες όπου αναπτύσσονται διαφορετικά επίπεδα θερμότητας, τα ιζήματα του πυθμένα μπορεί να καταστούν ανοξικά και το οξείδιο μαγγανίου που προηγουμένως έχει εναποτεθεί μπορεί να αναχθεί και να διαλυθεί.

Η αναγωγή των οξειδίων του μαγγανίου σε βάθος στα θαμμένα ιζήματα μπορεί να είναι ένας παράγοντας συσώρευσης κονδύλων μαγγανίου σε πολλά περιβάλλοντα. Διάχυτο Mn^{2+} μπορεί να επανατοποθετηθεί ως οξείδιο όταν φθάνει στην επιφάνεια του στρώματος του ιζήματος και συναντά οξυγονωμένο νερό.

Το μαγγάνιο υπάρχει συχνά σε ποσότητα μεγαλύτερη από 1 mg/L σε ροές από την όξινη αποστράγγιση από ανθρακωρυχεία.

Το μαγγάνιο συνήθως παραμένει στο νερό διατηρώντας μεγαλύτερες αποστάσεις από την πηγή ρύπανσης, σε σχέση με το σίδηρο που περιέχεται στις εισροές αποστράγγισης. Καθώς η

οξύτητα σταδιακά εξουδετερώνεται, πρώτα κατακρημνίζεται το υδροξείδιο του σιδήρου. Ωστόσο, το μαγγάνιο εξαφανίζεται επίσης από τη διάλυση μετά από μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

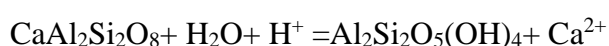
Τα υπόγεια ύδατα ενδέχεται να περιέχουν περισσότερα από 1 mg/L μαγγανίου σε ορισμένες περιπτώσεις. Υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου μπορεί να συνοδεύουν το μαγγάνιο, αλλά αυτό δεν επαληθεύεται πάντα. Τα φερτά υλικά μπορούν να περιλαμβάνουν κόκκους άμμου και βότσαλα που έχουν ένα στρώμα οξειδίου μαγγανίου. Διαλυμένες οργανικές διαλυμένες ουσίες, για παράδειγμα, μπορούν να μειώσουν το οξύδιο και να απελευθερώσουν Mn^{2+} . (Hem, 1985 σελ.84-89)

Ασβέστιο

Το ασβέστιο είναι η πιο άφθονη αλκαλική γαία και αποτελεί δομικό συστατικό πολλών κοινών ορυκτών. Είναι ένα βασικό στοιχείο για τις μορφές ζωής των φυτών και των ζώων και αποτελεί συστατικό των διαλυμένων ουσιών στα περισσότερα φυσικά νερά.

Το ασβέστιο έχει μόνο μία κατάσταση οξείδωσης, Ca^{2+} . Η συμπεριφορά του στα φυσικά υδατικά συστήματα διέπεται γενικά από τη διαθεσιμότητα των πιο διαλυτών στερεών που περιέχουν ασβέστιο και από τις ισορροπίες διαλύματος και αέριας φάσης που εξαρτώνται από τα είδη διοξειδίου του άνθρακα ή από τη διαθεσιμότητα του θείου με τη μορφή θειϊκού άλατος. Το ασβέστιο συμμετέχει επίσης στην ισορροπία ανταλλαγής κατιόντων σε αργιλοπυριτικές και άλλες επιφάνειες ορυκτών.

Το ασβέστιο αποτελεί ουσιαστικό συστατικό πολλών μεταλλικών ορυκτών, ιδιαίτερα των πυριτικών αλυσίδων των πυρόξενων, των αμφιβόλων και των αστρίων. Η ομάδα των αστρίων και των πλαγκιοκλάστων αποτελείται από μείγματα σε διάφορες αναλογίες των τελικών μελών αλβίτη, $NaAlSi_3O_8$ και ανόρθιτου, $CaAl_2Si_2O_8$. Το ασβέστιο εμφανίζεται επίσης σε άλλα πυριτικά ορυκτά που παράγονται με τη διαδικασία της μεταμόρφωσης. Ως εκ τούτου, το ασβέστιο αναμένεται να εντοπιστεί σε νερό που έχει έρθει σε επαφή με πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα. Η συγκέντρωση είναι γενικά χαμηλή, εντούτοις, κυρίως επειδή ο ρυθμός διάλυσης των περισσότερων πυριτικών ορυκτών είναι αργός. Η διάλυση του ανορθίτη μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:



Υπό ορισμένες συνθήκες η διάλυση μπορεί να επιφέρει κορεσμό σε ανθρακικό ασβέστιο. Οι πιο κοινές μορφές ασβεστίου στα ιζηματογενή πετρώματα είναι ανθρακικά άλατα. Οι δύο

κρυσταλλικές μορφές, ο ασβεστίτης και ο αραγωνίτης, έχουν τον τύπο CaCO_3 , και ο δολομίτης που έχει χημικό τύπο $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

Ο ασβεστόλιθος αποτελείται κυρίως από ασβεστίτη με προσμείξεις ανθρακικού μαγνησίου και άλλες προσμείξεις. Ένα ανθρακικό πέτρωμα συνήθως ονομάζεται "δολομίτης" εάν το μαγνήσιο είναι παρόν σε ποσότητες που προσεγγίζουν τη θεωρητική αναλογία 1: 1 με ασβέστιο. Άλλα ορυκτά του ασβεστίου που είναι συνηθισμένα στα ιζήματα περιλαμβάνουν το γύψο ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) και τον ανυδρίτη (CaSO_4) και, σπανιότερα, το φθόριο, φθορίτη (CaF_2). Το ασβέστιο είναι επίσης συστατικό ορισμένων τύπων ζεολίθου και μοντμοριλλονίτη.

Στους ψαμμίτες και σε άλλα σαθρά πετρώματα, ανθρακικό ασβέστιο συνήθως υπάρχει ως συνδετικό υλικό μεταξύ των σωματιδίων ή μερική πλήρωση των κενων. Το ασβέστιο είναι επίσης παρόν με τη μορφή προσροφημένων ιόντων σε αρνητικά φορτισμένες επιφάνειες εδαφών και πετρωμάτων. (Hem, 1985 σελ.89-93)

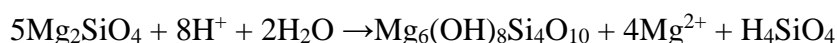
Μαγνήσιο

Το μαγνήσιο ταξινομείται χημικά στις αλκαλικές γαίες και παρουσιάζει μοναδική οξειδωτική κατάσταση, την Mg^{2+} . Η υδροχημική του συμπεριφορά είναι παραπλήσια αυτής του ασβεστίου, όσον αφορά την συνεισφορά τους στην σκληρότητα του νερού. Γεωχημικά, ωστόσο, τα δύο στοιχεία παρουσιάζουν παντελώς διαφορετική συμπεριφορά. Λόγο του μικρότερου μεγέθους τους, σε σχέση με τα ιόντα του ασβεστίου και του νατρίου, τα ιόντα του μαγνησίου μπορούν να βρεθούν μεταξύ έξι μορίων νερού, τοποθετημένα σε οκταεδρική δομή. Η δομή αυτή είναι με τις εμφανίσεις ιόντων αργιλίου.

Μεγάλες ποσότητες μαγνησίου εντοπίζονται στα ηφαιστειακά πετρώματα. Μαγνήσιο βρίσκεται στα σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά όπως τα εξής: στον ολιβίνη, πυρόξενους, αμφίβλους και μαρμαρυγίες. Σε εξαλλοιωμένα πετρώματα το μαγνήσιο βρίσκεται στον χλωρίτη και στον σερπεντίνη.

Στα ιζηματογενή πετρώματα το μαγνήσιο απαντάται στα ορυκτά μαγνησίτης, υδρομαγνησίτης και σε ένωση με το ασβέστιο στον δολομίτη. Στον δολομίτη η αναλογία ασβέστιο/μαγνήσιο είναι 1:1.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εξαλλοίωση του φορστερίτη σε σερπεντίνη. Η αντίδραση της διάλυσης δίδεται παρακάτω.



Παρόμοια αντίδραση είναι και αυτή της εξαλλοίωσης των αστρίων.

Η διαδικασία διάλυσης του ασβεστολίθου αποφέρει στο διάλυμα ιόντα μαγνησίου και είναι αμφίδρομη.

Η ικανότητα του μαγνησίου να προωθεί και να δέχεται ιόντα είναι σχεδόν ίδια με αυτήν του ασβεστίου, πράγμα που σημαίνει ότι η απορρόφησή του από τα αργιλικά ορυκτά καθίσταται εύκολη. (Hem, 1985 σελ.96-99)

Νάτριο

Το αφθονότερο στοιχείο της ομάδας των αλκαλίων είναι το νάτριο. Ο λόγος των συγκεντρώσεων νατρίου και καλίου είναι μεγαλύτερος της μονάδας όταν πρόκειται για ηφαιστειακά πετρώματα. Στα ιζηματογενή πετρώματα ο λόγος είναι πολύ μεγαλύτερος της μονάδας.

Στους εβαπορίτες συναντώνται μεγάλες ποσότητες νατρίου. Όλα τα στοιχεία της ομάδας των αλκαλίων έχουν οξειδωτική κατάσταση +1 και δεν επηρεάζονται από τις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. Η ακτίνα του ιόντος του νατρίου είναι λίγο μεγαλύτερη από 1Å γεγονός που καθιστά την ενυδάτωση τους δύσκολη διεργασία.

Σχεδόν το 60% του εξωτερικού φλοιού της γής δομείται από άστριους. Οι άστριοι είναι τεκτοφυρτικά ορυκτά όπου το πυρίτιο έχει αντικατασταθεί από αργίλιο.

Τύπους αστρίων αποτελούν το ορθόκλαστο και ο μικροκλινής με χημικό τύπο $KAlSi_3O_8$. Η σειρά των πλαγιοκλάστων έχει σύσταση που ποικίλει από αλβίτη($NaAlSi_3O_4$) έως και ανορθίτη($CaAl_2Si_2O_8$). Οι καλιούχοι άστριοι τείνουν να μην διαβρώνονται χημικά ενώ τα ορυκτά που περιέχουν νάτριο και ασβέστιο διαβρώνονται ευκολότερα.

Ένα από τα πιο δυσδιάλυτα άλατα του νατρίου είναι το όξινο ανθρακικό νάτριο ($NaHCO_3$). (Hem, 1985 σελ.99-104)

Κάλιο

Το κάλιο είναι ελαφρώς σπανιότερο από το νάτριο στα πυριγενή πετρώματα, αλλά πιο αφθονο σε όλα τα ιζηματογενή πετρώματα. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι επειδή σε ανάμειξη με το νερό έχει διαβρώνεται πιο εύκολα και γενικότερα εντοπίζεται στη φύση με την μορφή ιονικών αλάτων. Ωστόσο η υψηλή παρουσία του σε φρούτα εξάγει εύκολα το συμπέρασμα πως η πλειοψηφία του βρίσκεται σε αγροτικές περιοχές. Ο μοναδικός τρόπος παραγωγής (που έχει τις ρίζες του από τον 19^ο αιώνα στην Αγγλία) είναι με ηλεκτρόλυση του τήγματος του υδροξειδίου του καλίου. Αποτελεί το χημικό στοιχείο με ελάχιστη πυκνότητα, έχει πολύ μικρό βαθμό σκληρότητας κάνοντας εύκολη την αποκοπή και διάσπασή του. (Αθανασιάδου, 2013)

Το κάλιο τείνει να παραμείνει σε διάλυση αφού απελευθερωθεί από δομές πυριτικών ορυκτών, εκμεταλλεύονται σε μεγάλο βαθμό από τους μικροοργανισμούς και συνήθως κατακρατείται στο έδαφος.

Το κάλιο απελευθερώνεται με μεγαλύτερη δυσκολία από τα πυριτικά άλατα και παρουσιάζει ισχυρή τάση να επανενσωματωθεί στα στερεά προϊόντα της αποσάθρωσης, ιδιαίτερα σε ορισμένα αργιλικά ορυκτά. Στα περισσότερα φυσικά νερά, η συγκέντρωση του καλίου είναι πολύ χαμηλότερη από τη συγκέντρωση του νατρίου.

Τα κυριότερα καλιούχα ορυκτά, από τα πυριτικά, είναι οι άστριοι, το ορθόκλαστο, οι μαρμαρυγίες και ο αστριοειδής λευκίτης. Οι καλλιούχοι άστριοι είναι ανθεκτικοί στην διάβρωση από το νερό.

Στα ιζήματα, το κάλιο εμφανίζεται συνήθως σε μη εξαλλοιωμένα σωματίδια άστριων ή μαρμαρυγιών ή σε ιλλίτη ή άλλα αργιλικά ορυκτά.

Τα εβαπορητικά πετρώματα μπορεί τοπικά να περιλαμβάνουν στρώματα αλάτων καλίου και αποτελούν πηγή υψηλής συγκέντρωσης καλίου.

Σε φυσικά νερά στα οποία το άθροισμα των συγκεντρώσεων νατρίου και καλίου είναι μικρότερο από 10 mg/L, δεν είναι ασυνήθιστο η συγκέντρωση καλίου να είναι ίση ή και να υπερβαίνει το συγκέντρωση νατρίου.

Οι συγκεντρώσεις καλίου πάνω από μερικές δεκάδες χιλιοστόγραμμα ανά λίτρο είναι σαφώς ασυνήθιστες εκτός από το νερό που έχει υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων στερεών ή από νερό από θερμές πηγές. (Hem, 1985 σελ.104-105)

Θείο

Επειδή το στοιχείο θείο εμφανίζεται σε καταστάσεις οξείδωσης που κυμαίνονται από το S^{2-} έως S^{6+} , η χημική συμπεριφορά του σχετίζεται έντονα με τις οξειδοαναγωγικές συνθήκες των υδατικών συστημάτων. Στην πιο οξειδωμένη μορφή, η πραγματική ακτίνα του ιόντος του θείου είναι μόνο 0,20 Angstrom (\AA) και σχηματίζει σταθερή, τετραεδρική δομή με το οξυγόνο, το θειϊκό ανιόν SO_4^{2-} . Το ανηγμένο ιόν, S^{2-} , σχηματίζει σουλφίδια χαμηλής διαλυτότητας με τα περισσότερα μέταλλα. Επειδή ο σίδηρος είναι άφθονος και ευρέως κατανεμημένος, τα σουλφίδια σιδήρου έχουν σημαντική επίδραση στη γεωχημεία του θείου. Το στοιχείο είναι απαραίτητο στις διαδικασίες ζωής των φυτών και των ζώων.

Οι διεργασίες οξείδωσης και αναγωγής του θείου είναι αργές εκτός αν επιταχύνονται λόγω της παρουσίας μικροοργανισμών. Μια απλουστευμένη ερμηνεία με όρους χημικής ισορροπίας

αντιδράσεων του θείου μπορεί να οδηγήσει σε μη ρεαλιστικά αποτελέσματα. Ωστόσο, ορισμένα σημαντικά χαρακτηριστικά μπορούν να προσδιοριστούν με τη χρήση των διαγραμμάτων Eh/pH. Έχει δειχθεί ότι όπου το θείο είναι άφθονο και ειδικά σε pH πάνω από περίπου 9, σχηματίζονται πολυσουλφίδια.

Σε αυτές τις περιπτώσεις, η οξειδωτική κατάσταση του θείου κυμαίνεται μεταξύ 0 και 2. Σε άλλες εργασίες, έχει δειχθεί ότι οι μετρήσεις του δυναμικού οξειδοαναγωγής θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των ποσοτήτων μετασταθών πολυσουλφιδίων σε αυτά τα συστήματα και ότι η συμπεριφορά του χαλκού και του σιδήρου στα συστήματα στα οποία επήλθε οξείδωση υδρόθειου ήταν σύμφωνη με τις θεωρητικές προβλέψεις. Τα πλούσια σε θείο συστήματα μπορούν επίσης να περιέχουν και άλλα μετασταθή διαλελυμένα είδη. Το θείο είναι ευρέως κατανεμημένο σε ανηγμένη μορφή τόσο σε πυριγενή όσο και σε ιζηματογενή πετρώματα ως μεταλλικά σουλφίδια.

Μεγάλες συγκεντρώσεις των εν λόγω σουλφιδίων συνήθως αποτελούν μεταλλεύματα οικονομικής σημασίας. Όταν τα ορυκτά των σουλφιδίων αποσθρώνονται από το νερό, το θείο οξειδώνεται και απελευθερώνονται θειικά ιόντα και σημαντική ποσότητα ιόντων υδρογόνου. Κρύσταλλοι του σιδηροπυρίτη εμφανίζονται σε πολλά ιζηματογενή πετρώματα και αποτελούν πηγή δισθενούς σιδήρου και θειικού άλατος στα υπόγεια ύδατα. Ο σίδηροπυρίτης, σχετίζεται συνήθως με βιογενείς αποθέσεις όπως ο άνθρακας, οι οποίες σχηματίστηκαν κάτω από έντονα αναγωγικές συνθήκες. Η οξείδωση του σιδηροπυρίτη και άλλων μορφών θείου επίσης δημιουργείται από την ανθρώπινη δραστηριότητα: η χρήση των καυσίμων και η η τήξη των μεταλλευμάτων είναι σημαντικές πηγές θειικών στο φυσικό νερό.

Τα οργανικά σουλφίδια μπορούν επίσης να υποστούν οξείδωση σε φυσικές διεργασίες εδάφους ή σε επεξεργασία οργανικών αποβλήτων. Το θείο σε ανηγμένη ή οξειδωμένη μορφή μπορεί να εξαχρωθεί και να απελευθερωθεί σε μεγάλες ποσότητες σε ηφαιστειακές περιοχές και μπορεί να υπάρχει στο γεωθερμικό νερό, γενικά σε οξειδωμένη μορφή. Σημαντική είναι και η συνδρομή των βακτηρίων στη μετατροπή του H_2S σε SO_2 σε γεωθερμικά συστήματα.

Θείο εμφανίζεται σε ορισμένα πυριγενή ορυκτά της ομάδας των αστριο-ειδών, αλλά οι πιο εκτεταμένες και σημαντικές εμφανίσεις είναι στα εβαπορητικά ιζήματα. Θεικό ασβέστιο ως γύψος ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), ή ως ανυδρίτης ($CaSO_4$), δεν περιέχει νερό κρυστάλλωσης, αποτελεί σημαντικό μέρος πολλών στρώσεων εβαπορητικών πετρωμάτων. Τα θειικά άλατα του βαρίου και του στροντίου είναι λιγότερο διαλυτά από το θεικό ασβέστιο και είναι σχετικά σπάνια. (Hem, 1985 σελ.112-117)

Χλώριο

Το χλώριο αποτελεί το πιο συνηθισμένο στοιχείο, από τα αλογόνα. Οι ενώσεις που σχηματίζει με τα αλκαλικά μέταλλα αλλά και με τις αλκαλικές γαίες είναι ιδιαιτέρως ευδιάλυτες στο νερό.

Παρ' όλα αυτά το χλώριο εμφανίζει οξειδωτικές καταστάσεις που ποικίλουν από αριθμούς οξείδωσης -1 έως +7. Η πιο συνηθισμένη μορφή του χλωρίου είναι η Cl^{-1} .

Στα ηφαιστειακά πετρώματα, το χλώριο εμφανίζεται στα εξής ορυκτά:

Σοδαλίτης- $\text{Na}_8[\text{Cl}_2(\text{AlSiO}_4)_6]$

Απατίτης – $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$

Οι χημικές ενώσεις που απαρτίζουν αυτά τα ορυκτά όμως είναι ιδιαίτερα δυσδιάλυτες πράγμα που οδηγεί στην πολύ μικρή συγκέντρωση του χλωρίου στο νερό.

Το χλώριο στις περισσότερες περιπτώσεις προέρχεται από τα ιζηματογενή πετρώματα και συγκεκριμένα από τους εβαπορίτες.

Μετά την βύθιση πορώδων πετρωμάτων στην θάλασσα τα πετρώματα αυτά, όπως π.χ. οι σχιστόλιθοι, διαποτίζονται με ευδιάλυτα άλατα. Οι εμφανίσεις χλωρίου είναι είτε κρύσταλλοι NaCl είτε ιόντα των δύο στοιχείων. (Hem, 1985 σελ.117-120)

Φθόριο

Σπανίως έχουν παρατηρηθεί συγκεντρώσεις μεγαλύτερες του 1mg/L φθορίου σε φυσικό νερό, γεγονός που δεν εμποδίζει όμως τους ερευνητές να το συμπεριλαμβάνουν στις αναλύσεις ως κύριο ιόν. Το φθόριο αποτελεί το ελαφρύτερο αλογόνο και λόγω ηλεκτραρνητικότητας παρουσιάζει τελείως διαφορετική συμπεριφορά. Το μόνο ιόν που σχηματίζεται είναι αυτό με αριθμό οξείδωσης -1.

Η ομοιότητα των ιόντων χλωρίου με αυτά του OH^- , όσον αφορά την ακτίνα και το φορτίο, καθιστά συνηθισμένη τη διεργασία της αντικατάστασης του ενός από το άλλο. Το φθόριο επίσης παρουσιάζει την δυνατότητα σχηματισμού ισχυρών συμπλόκων με πολλά κατιόντα και ορυκτά, τα οποία έχουν χαμηλή διαλυτότητα.

Το συνηθέστερο ορυκτό του φθορίου είναι ο φθορίτης(CaF_2). Εμφανίσεις φθορίου υπάρχουν στα ηφαιστειακά και στα ιζηματογενή πετρώματα. Φθόριο υπάρχει στον απατίτη ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$), καθώς και σε μαρμαρηγίες που έχει συνήθως αντικαταστήσει μέρος του OH^- .

Τα πετρώματα που είναι πλούσια σε αλκάλια και οψιδιανό, περιέχουν μιας τάξης παραπάνω φθόριο από τα υπόλοιπα ηφαιστειακά πετρώματα.

Υψηλά ποσοστά σε φθόριο έχουν συχνά τα αλκαλικά ύδατα. Σε συνθήκες με $6 < \text{pH} < 7,5$ η απορρόφηση είναι μεγαλύτερη στα αλκαλικά ύδατα. Τέλος σε θαλασσινό νερό έχουν παρατηρηθεί συγκεντρώσεις φθορίου με τάξη μεγέθους περίπου $1,3 \text{ mg/L}$. (Hem, 1985 σελ.120-123)

Άζωτο

Το άζωτο παρίσταται στην ατμόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και την βιόσφαιρα, σε οξειδωτικές καταστάσεις που κυμαίνονται μεταξύ N^{3-} - N^{5+} . Το 80% της ατμόσφαιρας αποτελείται από άζωτο. Ωστόσο παρόλο που έχει τόσο υψηλό ποσοστό, δεν είναι δυνατή η άμεση χρησιμοποίησή του. Εκτός από την ατμόσφαιρα μπορεί να βρεθεί στο έδαφος, στη θάλασσα, στη βροχή κτλ με διάφορες χημικές μορφές όπως νιτρικού οξέους. Χρησιμοποιείται ευρέως στην βιομηχανία και ειδικότερα στη γεωργία και στα λιπάσματα καθώς είναι δυνατό να δημιουργήσει ενώσεις όπως αμινοξέα, νιτροενώσεις και άλλα. (Μιχαήλ, 2013)

Το άζωτο στην ανόργανη μορφή του εμφανίζεται ως νιτρώδες και ως νιτρικό ιόν (NO_2^- και NO_3^-), και σε κατιονική μορφή σαν αμμώνιο (NH_4^+). Άλλες δομές όπως το κυάνιο (CN^-) είναι επίσης πιθανό να εντοπιστούν. Στην οργανική του μορφή και ειδικότερα στο έδαφος μπορεί να έχει την μορφή πρωτεϊνών και αμινοξέων. Οι πρωτεϊνικές ενώσεις προκύπτουν συνήθως από ενώσεις με άλλα χημικά στοιχεία όπως λιγνίνη. (Μιχαήλ, 2013)

Υπάρχουν διακριτές διαφορές μεταξύ των συμπεριφορών των δομών στις οποίες εμφανίζεται το άζωτο.

Τα κατιόντα αμμωνίου απορροφούνται συνήθως από τις επιφάνειες ορυκτών. Οι ανιονικές δομές όπως το νιτρικό ιόν είναι σταθερές σε ένα μεγάλο εύρος συνθηκών. Σε pH μεγαλύτερο του 9,2 οι περισσότερες εμφανίσεις διαλυμένου αμμωνίου βρίσκονται ως $\text{NH}_4\text{OH}(\text{aq})$. (Hem, 1985 σελ.123-125)

Φωσφόρος

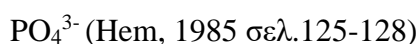
Ο φώσφορος είναι ένα αρκετά συνηθισμένο στοιχείο στα ηφαιστειακά πετρώματα. Είναι επίσης αρκετά συνηθισμένο στοιχείο στα ιζήματα, αλλά οι συγκεντρώσεις που βρίσκονται στα φυσικά νερά δεν ξεπερνούν τα δέκατα του mg/L . Βασικά χημικά χαρακτηριστικά του φώσφορου που διέπουν την συμπεριφορά του είναι η χαμηλή του διαλυτότητα. Στο έδαφος

συναντώνται με τρεις μορφές, τον διαλυτό, τον ευκίνητο και τον δυσκίνητο. Ο διαλυτός βρίσκεται σε πολύ μικρό ποσότητα σε σχέση με τον συνολικό φώσφορο, ωστόσο είναι αυτός που απορροφάται πιο εύκολα από τους φυτικούς οργανισμούς. Ο ευκίνητος (η αλλιώς ασταθής) υπάρχει σε σχετικά μεγαλύτερη ποσότητα από τον παραπάνω. Δυσκολεύεται όμως να κατακρατηθεί από το έδαφος και μόνο η ήδη υπάρχουσα παρουσία αργίλου μπορεί να τον κρατήσει. Ο δυσκίνητος (η αλλιώς σταθερός) φώσφορος αποτελεί την πλειοψηφία του συνολικού φωσφόρου και δεν είναι εφικτός (στην αρχική του μορφή) να παραληφθεί από τα φυτά.(Αθανασιάδου, 2013)

Ο φώσφορος ανήκει στην ίδια ομάδα με το άζωτο. Μπορεί να εμφανιστεί σε οξειδωτικές καταστάσεις P^{3-} ή P^{5+} . Το συνηθέστερο ορυκτό του φώσφορου είναι ο απατίτης, του οποίου η σύσταση περιέχει OH^- , Cl^- και F^- σε διαφορετικές ποσότητες ανάλογα με το σθένος του φώσφορου.

Άλλα ορυκτά του φώσφορου περιέχουν σίδηρο και αργίλιο.

Το φωσφορικό ιόν PO_4^{3-} αποτελεί προϊόν διάλυσης του φωσφορικού οξέως (H_3PO_4). Επειδή η διάσπαση του φωσφορικού οξέως γίνεται σε στάδια είναι δυνατόν να εμφανιστούν τα εξής τέσσερα είδη διαλυμένων ιόντων:



Βόριο

Αν και δευτερεύον στοιχείο, το βόριο έχει μελετηθεί εκτενώς όσον αφορά στην περιεκτικότητά του νερού σε αυτό, λόγω της σημασίας του για την ανάπτυξη των φυτών. Όταν υπάρχει σε συγκέντρωση μεγαλύτερη του 1 mg/L γίνεται τοξικό για κάποια είδη όπως οι λεμονιές και οι πορτοκαλιές. Το βόριο αποτελεί χημικό στοιχείο που παρόλο που δεν είναι μέταλλο κατηγοριοποιείται σε αυτήν την κατηγορία καθώς περιέχει μερικές ιδιότητες ημι- μετάλλων. Η απομόνωση του αποτελεί μια δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία, βρίσκεται σε αδράνεια σε θερμοκρασία 25°C, ενώ σε υψηλότερες θερμοκρασίες αποτελεί μια αρκετά δραστική ουσία.

Ανάλογα με την χημική ουσία που αντιδρά χρησιμοποιείται και σε διαφορετικές περιπτώσεις. Το βορικό οξύ (H_3BO_3) αποτελεί μια μικροβιοκτόνο ουσία για την απολύμανση χώρων όπου βρίσκονται πολλά έντομα όπως κατσαρίδες, μυρμήγκια κτλ. Παράλληλα το βόριο βρίσκει

εφαρμογή σε μεγάλες γεωργικές εκτάσεις καθώς μια μικρή ποσότητα του είναι ικανή να αυξήσει την παραγωγή γεωργικών-αγροτικών προϊόντων. Τέλος μια ακόμα χρήση του είναι στα πυροτεχνήματα (εξαιτίας του βορίου εμφανίζεται η πράσινη φλόγα) , σε εργασίες μόνωσης κτηρίων και άλλων. (Φούσκας, 2011)

Το πιο διαδεδομένο ορυκτό, πυριγενών πετρωμάτων, που περιέχει βόριο είναι ο τουρμαλίνης. Ο τουρμαλίνης είναι εξαιρετικά ανθεκτικός στη χημική αποσάθρωση και εμφανίζεται τόσο σε ιζήματα όσο και στο αρχικό πυριγενές πέτρωμα.

Το ορυκτό αυτό απαντάται κυρίως στα γρανιτικά πετρώματα και τους πηγματίτες. Εντούτοις, το βόριο μπορεί επίσης να υπάρχει ως δευτερεύον συστατικό του βιοτίτη και των αμφιβόλων.

Το βόριο είναι ένα ελαφρύ στοιχείο και τα ιοντικά και διαλυτά του είδη τείνουν να είναι πτητικά. Το βόριο μπορεί να απελευθερωθεί σε ηφαιστειακά αέρια με τη μορφή ορθοβορικού οξέος, H_3BO_3 ή ως αλογονίδια όπως το BF_3 .

Το νερό σε ηφαιστειακές περιοχές και το νερό πολλών ιαματικών πηγών, μπορεί να περιέχει σημαντικές συγκεντρώσεις βορίου. Το νερό του ωκεανού έχει 4,6 mg/L βόριο, πιθανώς ως επί το πλείστον με τη μορφή αδιάστατου βορικού οξέος. Τα κοινά ορυκτά του βορίου είναι κολμανίτης, $Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$ και ο κερνίτης, $Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$.

Οι υδροχημικές αναλύσεις αναφέρουν κανονικά τις συγκεντρώσεις στοιχειακού βορίου (B), χωρίς να προσπαθούν να προσδιορίσουν τα υπάρχοντα είδη.

Το βόριο σχηματίζει μία εκτεταμένη σειρά συμπλοκών και πολυμερικών ιόντων. Μονομερή είδη υδροξειδίου περιλαμβάνουν βορικό οξύ, H_3BO_3 , το οποίο μπορεί επίσης να είναι γραμμικό και ως $B(OH)_3(aq)$.

Ωστόσο, είναι ένα ασθενές οξύ και δεν διύσταται εύκολα.

Τα πολυμερισμένα είδη υδροξειδίου του βορίου δεν είναι αρκετά σταθερά για να είναι σημαντικά σε διαλύματα που περιέχουν λιγότερο από 500 mg/L βόριο (**ως B**). Υπάρχει μια σειρά φθοροβορικών συμπλοκών στα οποία όλο ή μέρος του υδροξειδίου στο $B(OH)_4^-$ αντικαθίσταται από F^- . Επειδή τα πιο σημαντικά είδη διαλυμένου βορίου είναι ανιονικά ή αφόρτιστα, πιθανότατα σε ορισμένες ορυκτές επιφάνειες δεν αφομοιώνονται με την ίδια έκταση δεν απορροφώνται εκτεταμένα σε άλλες ορυκτές επιφάνειες. Τα διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με την σταθερότητα των κατιονικών συμπλοκών βορικών και μεταλλικών ιόντων είναι σπάνια. (Hem, 1985 σελ.129)

3.2 Αλκαλικές Γαίες

Βηρύλιο

Τα ιόντα βηρυλλίου είναι αρκετά μικρά για να αντικαταστήσουν το πυρίτιο στα ασβεστολιθικά ορυκτά.

Το στοιχείο έχει μερικές σημαντικές τεχνολογικές εφαρμογές. Το ποσό που καταναλώθηκε (ως BeO) στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1979 ήταν περίπου 9.500 τόνοι. Το βηρύλιο είναι ένα μάλλον σπάνιο στοιχείο. Η αφθονία του στα πετρώματα του φλοιού είναι παρόμοια με εκείνη του καισίου. Οι ενώσεις θεικού και ανθρακικού βηρυλλίου είναι ευδιάλυτες, αλλά το οξείδιο και τα υδροξείδια παρουσιάζουν πολύ χαμηλές διαλυτότητες.

Υπάρχει προφανώς πιθανότητα για συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν τα 1,0 mg/L σε όξινα ύδατα, όπως μπορεί να συμβεί σε ρεύματα αποστράγγισης ορυχείων ή βιομηχανικών αποβλήτων. (Hem, 1985 σελ.134-135)

Στρόντιο

Η χημεία του στροντίου είναι παρόμοια με εκείνη του ασβεστίου. Το στρόντιο είναι ένα αρκετά κοινό στοιχείο, που αντικαθιστά το ασβέστιο ή το κάλιο στα πυριγενή ορυκτά σε μικρές ποσότητες.

Ο στροντιανίτης (SrCO_3) και ο σελεστίνης (SrSO_4) είναι ορυκτά που απαντώνται συχνά στα ιζήματα. ο λόγος στροντίου προς ασβέστιο στα περισσότερα ασβεστολιθικά πετρώματα είναι μικρότερος του 1/1000.

Η διαλυτότητα για το θεικό στρόντιο είναι της τάξης του $10^{-6.50}$ στους 25°C. Αξίζει να σημειωθεί, πως η συγκέντρωση στροντίου που περιέχεται στην πλειοψηφία των φυσικών νερών απέχει αρκετά από το όριο διαλυτότητας τόσο του στροντιανίτη ούτε του σελεστίνης. (Hem, 1985 σελ.135)

Βάριο

Στα πυριγενή πετρώματα το βάριο βρίσκεται σε μεγαλύτερη ποσότητα από το στρόντιο, αντίθετα με τα ανθρακικά πετρώματα τα οποία περιέχουν λιγότερο βάριο από στρόντιο.

Τα ιόντα βαρίου έχουν μεγαλύτερη ακτίνα από τα ιόντα στροντίου και πιθανώς δεν μπορούν εύκολα να εισέλθουν στα κρυσταλλικά πλέγματα των ανθρακικών αλάτων των ελαφρύτερων αλκαλικών γαιών.

Η συγκέντρωση του βαρίου σε φυσικά νερά ελέγχεται από τη διαλυτότητα του βαρύτη (BaSO_4), το οποίο είναι ένα αρκετά συνηθισμένο ορυκτό στην πλειοψηφία του φυσικού νερού.

Το γινόμενο διαλυτότητας του βαρύτη είναι περίπου ίσο με 10^{-10} και για μοριακές συγκεντρώσεις των θεικών κοντά στο $\sim 10\text{mg/L}$ ή κοντά στα 100mg/L , η αντίστοιχη γραμμομοριακή συγκέντρωση κατά την ισορροπία θα είναι για το Ba^{2+} θα είναι 0.14mg/L ή 0.014mg/L , αντίστοιχα. Ένας άλλος παράγοντας που φαίνεται να επηρεάζει τη συγκέντρωση του βαρίου στο φυσικό νερό είναι η προσρόφησή του από οξείδια ή υδροξείδια μετάλλων.

Το βάριο απαντάται σε κονδύλους μαγγανίου σε βαθιές θάλασσες και επίσης σε αποθέσεις οξειδίου μαγγανίου (γλυκού νερού).

Η μέση συγκέντρωση βαρίου στα δημόσια ύδατα είναι $0,043\text{mg/L}$, η οποία ελέγχεται από τη διαλυτότητα του θεικού βαρίου. Η μέση συγκέντρωση στους μεγαλύτερους ποταμούς της Βόρειας Αμερικής ισούται με $0,045\text{mg/L}$.

Μέταλλα

Τιτάνιο

Αν και το τιτάνιο είναι ένα άφθονο στοιχείο στα πετρώματα του φλοιού της γής, στο φυσικό νερό υπάρχει σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Στα ορυκτά όπου εμφανίζεται βρίσκεται σε ανάμειξη με οξυγόνο ή και με άλλων ειδών μέταλλα όπως αλκαλιμετάλλιο και πυρίτιο. Το τιτάνιο δεν είναι εύκολο να εξορυχθεί και στην πλειοψηφία των μεθόδων που χρησιμοποιούνται είναι δύσκολες και αρκετά κοστοβόρες. Μια συνηθισμένη μέθοδος είναι αυτή της διαδικασίας Kroll(προσθήκη του τετραχλωριδίου του τιτανίου TiCl_4 με μαγνήσιο)όπου παράγεται τιτάνιο που χρησιμοποιείται για καθαρά βιομηχανικούς σκοπούς. (Κεραμίδας, 2013)

Τα οξείδια Ti^{4+} περιλαμβάνουν το ρουτίλιο (TiO_2) και το στοιχείο συνυπάρχει συνήθως με το σίδηρο στον ιλμενίτη, FeTiO_3 , και τα συναφή μέταλλα με διαφορετικές αναλογίες Fe-Ti.

Αυτά τα ορυκτά είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στην αποσάθρωση και τείνουν να παραμένουν σε κλαστικά ιζήματα. Σε χαμηλό pH το τιτάνιο απαντάται ως TiO_2 ή $\text{Ti}(\text{OH})_2^{2+}$.

Η διαλυτότητα των λιγότερο σταθερών μορφών του οξειδίου TiO_2 μπορεί να υπερβαίνει το 1mg/L για $\text{pH}<2$. Για $\text{pH}>3$ επικρατεί το χωρίς φορτίο, $\text{Ti}(\text{OH})_4(\text{aq})$.

Η διαλυτότητα μεταξύ pH 4 και pH 8 είναι περίπου 150pg/L .

Η διαλυτότητα του τιτανίου μπορεί να επηρεαστεί από σύμπλοκα του φθόριου ή από οργανικούς δεσμευτές, αλλά δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για την αξιολόγηση αυτής της πιθανότητας ή για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του στοιχείου για $\text{pH} > 8$. Το ιόν Ti^{3+} μπορεί να εμφανιστεί σε ισχυρά όξινα-αναγωγικά συστήματα.

Φαίνεται, ωστόσο, πιθανό ότι μόνο τα είδη του Ti^{4+} θα πρέπει να αναμένονται σε φυσικό νερό.

Οι βάσεις δεδομένων και οι εκτιμήσεις των συγκεντρώσεων τιτανίου στο φυσικό νερό υποδηλώνουν ότι το στοιχείο είναι γενικά παρόν σε ποσότητες που κυμαίνονται έως και μερικές δεκάδες μικρογραμμάρια ανά λίτρο.

Το τιτάνιο χρησιμοποιείται εκτεταμένα στις αεροναυπηγικές και διαστημικές βιομηχανίες. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι διότι είναι εύκολο στην επεξεργασία του, είναι ικανό για αντιμετώπιση στρεπτικών και διατμητικών φορτιών με μόνο μειονέκτημα του πως αποτελεί ένα ακριβό χημικό στοιχείο ως προς την συντήρηση και παραγωγή του. Το οξείδιο χρησιμοποιείται κυρίως ως λευκή χρωστική ουσία σε βαφές. (Hem, 1985 σελ.137)

Βανάδιο

Βρίσκεται στη φύση σε πάνω από 50 διαφορετικά ορυκτά και σε λίγα κοιτάσματα ορυκτών ανθράκων. Συνήθως η παρουσία σε αυτά τα κοιτάσματα συνδέεται με την παρουσία άλλων οργανισμών γνωστών ως εχινόδερμων. Επίσης αξιοσημείωτο είναι πως έχει παρατηρηθεί η ύπαρξη βαναδίου σε ορισμένα αστέρια στον γαλαξία. Ωστόσο στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η παραγωγή του γίνεται έπειτα με ανάμειξη άλλων μεταλλικών παραπροϊόντων.

Γενικά παρουσιάζει μεγάλη αντοχή απέναντι στην διάβρωση, στο οξυγόνο και στο νερό. Παρόλα αυτά σε ορισμένες θερμοκρασίες παρουσιάζει βίαιες αντιδράσεις και γι αυτό αποφεύγεται να χρησιμοποιείται στην καθαρή του μορφή αλλά σε μορφή κράματος. Το κράμα αποτελεί και την κυρία εμπορική του χρήση ιδιαίτερα για την περίπτωση χαλύβων. υδατική γεωχημεία του βαναδίου είναι περίπλοκη. Διαθέτει τρεις καταστάσεις οξείδωσης V^{3+} , V^{4+} και V^{5+} οι οποίες είναι όλες σταθερές στα υδατικά συστήματα, αλλά η κυρίαρχη είναι τα σύμπλοκα V^{5+} με οξυγόνο και υδροξύλια.

Η συσχέτιση του βαναδίου με το ουράνιο σε ορισμένους τύπους ορυκτών αποθέσεων έχει μελετηθεί αρκετά εκτεταμένα. Οι λιγότερο οξειδωμένες μορφές βαναδίου έχουν σχετικά χαμηλή διαλυτότητα για $\text{pH} > 4$. Προφανώς το βανάδιο και το ουράνιο έχουν χαμηλή διαλυτότητα σε αναγωγικό περιβάλλον.

Τα όξινα νερά από ιαματικές πηγές μπορεί να περιέχουν μερικές εκατοντάδες µg/L βαναδίου, αλλά τα συνηθισμένα υπόγεια και επιφανειακά νερά σπάνια φέρουν περισσότερα από 10 µg / L. (Hem, 1985 σελ.137-138)

Χρώμιο

Το χρώμιο αποτελεί χημικό στοιχείο που συγκαταλέγεται στα βαρέα μέταλλα και άρα από μόνο αποτελεί μια ειδική μορφή κινδύνου για τον ανθρώπινο οργανισμό. Βρίσκεται στα ορυκτά, στις ηφαιστιακές περιοχές, στο έδαφος και γενικότερα στο φυσικό περιβάλλον. Οι μορφές του στο έδαφος μπορεί να είναι από τρισθενείς (που είναι και το πιο συνηθισμένο) μέχρι το εξασθενές και επειδή έχει λαμπερή και σκληρή μορφή χρησιμοποιείται ιδιαίτερα για εκλεπτυσμένες μεταλλικές κατασκευές. Το εξασθενές είναι επικίνδυνο για τα ζώα και τους ανθρώπους ενώ το τρισθενές έχει χαμηλή δραστηριότητα. (Τσάκου, 2011)

Η αφθονία του χρωμίου στο φλοιό της γής είναι παρόμοια με εκείνη του βαναδίου. Στα ορυκτά των πετρωμάτων η κυρίαρχη κατάσταση οξείδωσης είναι Cr^{3+} . Το διαλυμένο χρώμιο, ωστόσο, μπορεί να υπάρχει ως Cr^{3+} ή ως ανιόν Cr^{6+} .

Τα υπερβασικά (ultramafic) πυριγενή πετρώματα έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε χρώμιο από ότι άλλα είδη πετρωμάτων. Ο χρωμίτης, FeCr_2O_4 , βρίσκεται σε λατεριτικά υπολείματα που υπέρκεινται υπερβασικών πετρωμάτων.

Έξι διαφορετικές ιονικές μορφές χρωμίου θεωρήθηκαν σταθερές σε υδατικά συστήματα.

Οι ανηγμένες μορφές είναι Cr^{3+} , CrOH^{2+} , $\text{Cr}(\text{OH})_2^+$ και $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$.

Οι ανιονικές μορφές, που υπάρχουν υπό οξειδωτικές συνθήκες, περιλαμβάνουν το διχρωμικό $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ και το χρωμικό CrO_4^{2-} ιόν. Οι διαλυμένες μορφές που κυριαρχούν σε ανηγμένα συστήματα μεταξύ pH 5 και pH 9 είναι πιθανώς CrOH^{2+} και $\text{Cr}(\text{OH})_2^+$.

Το μετασταθές υδροξείδιο, $\text{Cr}(\text{OH})_3$, έχει ελάχιστη διαλυτότητα κοντά στα 5 µg/L σε pH περίπου 9,0. Αυτό το υλικό μπορεί να καθιζάνει από διαλύματα που περιέχουν χρωμικά ανιόντα εάν υπάρχουν αναγωγικά μέσα.

Η διαλυτότητα του οξειδίου του χρωμίου Cr_2O_3 είναι πολύ μικρότερη από 1 µg/L σε pH μεταξύ 5 και 13, αλλά είναι απίθανο να κατακρημνιστεί απευθείας από το διάλυμα. Τα χρωμικά ανιόντα Cr_2O_4 με σθένος (-2) είναι τα κυρίαρχα είδη σε διαλύματα που είναι αλκαλικά και ελαφρώς οξειδωτικά.

Οι βιομηχανικές εφαρμογές χρωμίου μπορούν να παράγουν διαλύματα αποβλήτων που περιέχουν χρωμικά ανιόντα. Η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση ολικού χρωμίου σύμφωνα

με τις υποχρεωτικές προδιαγραφές πόσιμου ύδατος των ΗΠΑ ισούται με 50 $\mu\text{g/L}$ και στην Ελλάδα μόλις 2 $\mu\text{g/L}$ σύμφωνα με απόφαση του Διοικητικού Πρωτοδικείου Χαλκίδας (ΕΡΑ, 1976). Περιστατικά ρύπανσης των υπόγειων υδάτων με χρώμιο έχουν συμβεί σε πολλές τοποθεσίες.

Οι συγκεντρώσεις χρωμίου στα φυσικά ύδατα που δεν έχουν επηρεαστεί από τη διάθεση των αποβλήτων είναι συνήθως μικρότερες από 10 $\mu\text{g/L}$. (Hem, 1985 σελ.138)

Κοβάλτιο

Η συγκέντρωση κοβαλτίου στον εξωτερικό φλοιό της Γης είναι παρόμοια με εκείνη του λιθίου και έχει ιδιότητες αρκετά παρόμοιες με το νικέλιο και το σίδηρο. Βρίσκεται στο έδαφος, στο νερό, στον αέρα και γενικότερα σε πολλά στοιχεία της φύσης (π.χ. ορυκτά). Συνήθως η παρουσία του στο νερό και στον αέρα οφείλεται στη σκόνη, στη βροχή κτλ ενώ επίσης μικρή συγκέντρωση κοβαλτίου διαχέεται στο περιβάλλον τους ρύπους που παράγουν τα αυτοκίνητα. Η χρήση του περιορίζεται στην δημιουργία κραμάτων και ως συστατικό στοιχείο μπαταριών ενώ σπανιότερα σε ορθοδοντικές επεμβάσεις αντί νικελίου που μπορεί να προκαλέσει ερεθισμούς. (Καραπαναγιωτίδης Π. Δημήτριος 2020) Το στοιχείο αυτό είναι απαραίτητο για την επιβίωση των φυτών και των ζώων, ειδικά για τα μηρυκαστικά ωστόσο για τον άνθρωπό αποτελεί μια τοξική ουσία η οποία εκδηλώνεται συνήθως με δύσπνοια.

Τα ιόντα κοβαλτίου μπορούν να υποκαταστήσουν μέρος του σιδήρου σε σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά και όπως και ο σίδηρος, το κοβάλτιο μπορεί να εμφανιστεί σε κατάσταση οξείδωσης 2^+ ή 3^+ .

Η συγκαταβύθιση ή η προσρόφηση του κοβαλτίου από τα οξείδια του μαγγανίου και του σιδήρου φαίνεται να είναι ένας σημαντικός παράγοντας στον έλεγχο της ποσότητας που μπορεί βρίσκεται υπο διάλυση στο φυσικό νερό.

Όταν αντιδρά με οξείδιο μαγγανίου, όπως και με κόνδυλους μαγγανίου, η κατάσταση οξείδωσης του κοβαλτίου φαίνεται γενικά να είναι Co^{3+} .

Με την πιθανή εξαίρεση ορισμένων σύνθετων ιόντων, τα υδατικά είδη Co^{3+} δεν είναι θερμοδυναμικά σταθερά κάτω από συνθήκες Eh και pH που συναντώνται συνήθως στο φυσικό νερό.

Η ενεργότητα του κοβαλτίου είναι γενικά από το ένα δέκατο έως το ένα εκατοστό της ενεργότητας του διαλυμένου μαγγανίου σε οξυγονωμένο νερό μεταξύ pH 5 και pH 8.

Η διαλυτότητα του $\text{Co}(\text{OH})_2$ είναι παρόμοια με εκείνη του υδροξειδίου του σιδήρου οπότε η συγκέντρωσή του κοβαλτίου στο φυσικό νερό δεν ελεγχεται από αυτή την ένωση. Η διαλυτότητα του CoCO_3 , ωστόσο, είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή του σιδερίτη. Έτσι, σε pH 8,0 και με την παρουσία περίπου 100 mg/L HCO_3^- , η διαλυτότητα του κοβαλτίου θα είναι 10^{-7} mol/L δηλαδή περίπου 6 pg/L .

Το κοβάλτιο σχηματίζει πολλά σύνθετα ιόντα τα οποία τείνουν να αυξάνουν τη διαλυτότητα, πάνω από τις υπολογισμένες τιμές, μη επιτρέποντας τη δημιουργία συμπλοκών. Αν και το ανθρακικό κοβάλτιο έχει πολύ χαμηλή διαλυτότητα το κοβάλτιο είναι μόνο ένα δευτερεύον συστατικό των ανθρακικών πετρωμάτων. Η συγκέντρωση κοβαλτίου στους ποταμούς είναι μικρή, κάτω από το όριο ανίχνευσιμότητας των συνηθισμένων οργάνων ανάλυσης. (Hem, 1985 σελ.138-139)

Νικέλιο

Το νικέλιο είναι πιο άφθονο στα πετρώματα σε σχέση με το κοβάλτιο. Τα δύο στοιχεία έχουν ορισμένα παρόμοια χαρακτηριστικά ως προς το ότι μπορούν να υποκαταστήσουν το σίδηρο στα σιδηρομαγνησιούχα πυριγενή πετρώματα και τείνουν να συγκαταβυθίζονται με οξειδία του σιδήρου και οξειδία του μαγγανίου. Έχει χρώμα αργυρόλευκο και οι διάφορες ενώσεις του δεν διαλύονται στο νερό κάτι το οποίο δεν ισχύει με τα βιολογικά υγρά ενώ όταν έρχεται σε επαφή με τον αέρα μετατρέπεται σε NiO . Το Νικέλιο περιλαμβάνεται στις καρκινογόνες ουσίες για τον άνθρωπο και σχετίζεται με την εμφάνιση καρκίνου στον πνεύμονα, των νεφρών κτλ ενώ σε ηπιότερες καταστάσεις μπορεί να προκαλέσει αλλεργία.

Η υδατική χημεία του νικελίου ασχολείται κυρίως με την κατάσταση οξείδωσης Ni^{2+} , αλλά και τη Ni^{4+} .

Το νικέλιο είναι ένα σημαντικό βιομηχανικό μέταλλο. Χρησιμοποιείται ευρέως στη παραγωγή ανοξειδωτού χάλυβα και άλλα κράματα ανθεκτικά στη διάβρωση και σε μικρότερο βαθμό για άλλους σκοπούς. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται ως κράμα που εμπεριέχει μικρές ποσότητες άλλων χημικών στοιχείων όπως είναι του θείου και του άνθρακα. Από αυτά ξεχωρίζουν το Alnico (για χρήση σε ηλεκτρομαγνήτες), το Ινκονέλ (βρίσκει εφαρμογή σε βιομηχανίες γάλακτος) κ.α. Τα εμπορικά εκμεταλλεύσιμα μεταλλεύματα περιλαμβάνουν δισθενή σουλφίδια στα οποία το νικέλιο αντικαθιστά μέρος του σιδήρου και νικελιούχοι λατερίτες που αναπτύσσονται σε υπερβασικά πετρώματα.

Ορισμένες ενώσεις νικελίου για τις οποίες είναι διαθέσιμα τα θερμοδυναμικά δεδομένα είναι πιο διαλυτές από τα αντίστοιχα είδη κοβαλτίου. Οι διαδικασίες οξείδωσης στη συν-

κατακρήμνιση νικελίου με το μαγγάνιο μπορεί επίσης να είναι λιγότερο αποτελεσματικές. Ωστόσο, οι μηχανισμοί συγκατακρήμνισης οξειδίων δεν έχουν μελετηθεί ιδιαίτερα.

Η υψηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο των κονδύλων μαγγανίου που υπάρχουν σε μέρη του Ειρηνικού Ωκεανού υποδεικνύει συγκατακρήμνιση με οξείδια του μαγγανίου, διατηρεί τη συγκέντρωση του νικελίου χαμηλότερα από οποιονδήποτε από τους απλούς μηχανισμούς κατακρήμνισης για το Ni^{2+} .

Το $\text{Ni}(\text{OH})_2$ είναι πιο σταθερό από το $\text{Co}(\text{OH})_2$ και η συγκέντρωση του Ni^{2+} να είναι μικρότερη από 100 $\mu\text{g/L}$ σε pH 8.5. (Hem, 1985 σελ.139-140)

Μολυβδαίνιο

Όπως δείχνουν τα δεδομένα που παρατίθενται στη βιβλιογραφία, το μολυβδαίνιο είναι σπάνιο στοιχείο με κατάσταση οξείδωσης που κυμαίνεται από Mo^{3+} έως Mo^{6+} , αλλά συνήθως απαντάται ως Mo^{4+} (πχ MoS_2 ή Mo^{6+} (MoF_6)).

Το μολυβδαίνιο συναντάται στην ατμόσφαιρα, στο νερό, στο έδαφος και σε ορισμένες τροφές. Πιο συγκεκριμένα στην ατμόσφαιρα βρίσκεται σε μικρή ποσότητα ενώ όταν υπάρχει σε μεγάλη ποσότητα οφείλεται συνήθως στην καύση ορυκτών καυσίμων και άρα σε αυτήν την περίπτωση αποτελεί μια ανθρωπογενή διαδικασία. Στο νερό (και συγκεκριμένα στο νερό της θάλασσας) μπορεί να εμφανιστεί έπειτα από την απόθεση αποβλήτων από διάφορες βιομηχανίες που δραστηριοποιούνται στο χώρο των μεταλλευμάτων ενώ στο έδαφος από την καύση άνθρακα. Τέλος στις τροφές εμφανίζεται μόνο στην περίπτωση των αλκαλικών εδαφών που παρουσιάζουν υψηλή συγκέντρωση μολυβδαίνιου και άρα εισέρχονται στις ρίζες των φυτών. Η παραπάνω ανάλυση δείχνει ότι δεν απαιτείται η εργαστηριακή του παραγωγή διότι όπως γίνεται φανερό συνδέεται με αρκετές δραστηριότητες του ανθρώπου. (Γηρούση, 1996)

Για $\text{pH} < 2$ το κυρίαρχο είδος μολυβδαίνιου είναι η αφόρτιστη μορφή, $\text{H}_2\text{MoO}_4(\text{aq})$ ενώ για $2 < \text{pH} < 5$ επικρατεί ο ιόν HMoO_4^- . Για $\text{pH} > 5$ επικρατεί το μολυβδαινικό ιόν MoO_4^{2-} .

Πολλά από τα μεταλλικά στοιχεία σχηματίζουν μολυβδαινικά άλατα με χαμηλή διαλυτότητα. Τα ιόντα μολυβδαίνιου έχουν την τάση να πολυμερίζονται ανάλογα με το pH και τη συνολική συγκέντρωση του μολυβδαίνιου. Ωστόσο, τα πολυμερή δεν εμφανίζονται ως κύρια συστατικά, εκτός εάν το συνολικό μολυβδαίνιο σε διάλυση υπερβεί τα περίπου 10 mg/L .

Αυτές οι γενικεύσεις σχετικά με τη γεωχημεία του μολυβδαίνιου δείχνουν ότι έχει σχετικά υψηλή γεωχημική κινητικότητα και την τάση να διαλύεται στο νερό σε κανονικές συνθήκες.

Η διαλυτότητα του μολυβδαινίου εξαρτάται από το σχηματισμό ενώσεων με κοινά μεταλλικά στοιχεία που έχουν σα συνέπεια την αύξηση της διαλυτότητας.

Η διαλυτότητα του μολυβδαινικού σιδήρου FeMoO_4 μπορεί να περιορίσει τη ενεργότητα του μολυβδαινίου σε λιγότερο από 100 $\mu\text{g/L}$ σε σχετικά πλούσια σε σίδηρο νερά και $\text{pH} < 5$. Το γινόμενο διαλυτότητας για το μολυβδαινικό ασβέστιο CaMoO_4 είναι $10^{-8.7}$ που σημαίνει ότι τα νερά που περιέχουν σημαντικές συγκεντρώσεις διαλυμένου Ca^{2+} δεν πρέπει να περιέχουν μεγάλες συγκεντρώσεις διαλυμένου μολυβδαινίου. Το μολυβδαίνιο είναι ένα συστατικό σε πολλά μεταλλεύματα.

Αναφορικά με την γεωχημική αναζήτηση, πάντα λαμβάνεται υπόψη και γίνεται με γνώμονα το παραπάνω χαρακτηριστικό.

Η κύρια χρήση του είναι για παραγωγή ηλεκτρικών αντιστάσεων ενώ ορισμένες φορές χρησιμοποιείται και ως καταλύτης του πετρελαίου ενώ ο ρόλος του στην ανθρώπινη διατροφή δεν είναι γνωστός, και δεν υπάρχουν ανώτατα όρια που περιέχεται στο πόσιμο νερό. (Hem, 1985 σελ.140)

Εμφανίσεις Άλλων Μετάλλων στα Φυσικά Νερά

Χαλκός

Ο χαλκός εμφανίζεται στον φλοιό ως ελεύθερο φυσικό μέταλλο Cu^0 , ή σαν ιόν Cu^{1+} ή Cu^{2+} και σχηματίζει σταθερά σουλφίδια, ορισμένα εκ των οποίων περιέχουν επίσης σίδηρο. Ο χαλκός μπορεί να εμφανιστεί σε διάλυμα σαν Cu^{2+} ή Cu^{1+} , αλλά οι οξειδοαναγωγικές συνθήκες ευνοούν την πιο οξειδωμένη μορφή. Τα ιόντα του χαλκού σχηματίζουν σύμπλοκα με πολλούς διαφορετικούς δεσμευτές. Σε διαλύματα με $\text{pH} > 7$ συνηθέστερη είναι η μορφή $\text{Cu}(\text{OH})_3^-$. Οι υδροξυ-ανθρακικές ενώσεις του χαλκού έχουν μικρή διαλυτότητα οπότε η συγκέντρωση του χαλκού είναι κάτω από 10 $\mu\text{g/L}$. Η προσρόφηση ή η συγκατακρύμνηση με οξυ-υδροξείδια σιδήρου μπορεί να ελατώσει τη συγκέντρωση στο νερό.

Γενικά, οι συγκεντρώσεις χαλκού σε ποτάμια και υπόγεια νερά είναι κοντά ή κάτω από τις προβλέψεις με βάση τα διαγράμματα pH-Eh . Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις μπορούν εύκολα να εξηγηθούν ως αποτελέσματα συγκαταβύθισης με οξείδια ή προσρόφηση σε επιφάνειες ορυκτών. (Hem, 1985 σελ.141)

Άργυρος

Παρόλο που είναι ένα σπάνιο στοιχείο στα πετρώματα του φλοιού, ο άργυρος χρησιμοποιείται εκτενώς από τον άνθρωπο. Είναι ένα κοινό δευτερεύον συστατικό των βιομηχανικών

αποβλήτων, αλλά είναι επαρκώς πολύτιμο για να δικαιολογήσει εντατικές προσπάθειες για την ανάκτησή του.

Το διάγραμμα pH-Eh για τον άργυρο υποδηλώνει ότι ο άργυρος και τα στερεά χλωριούχου αργύρου ή τα σουλφίδια είναι πιθανό να περιορίσουν τη διαλυτότητα του στοιχείου σε πολύ λιγότερο από 10 µg/L στο πιο φυσικό νερό. (Hem, 1985 σελ.141-142)

Ψευδάργυρος

Ο ψευδάργυρος έχει περίπου την ίδια αφθονία στα πετρώματα του φλοιού της Γης όπως ο χαλκός ή το νικέλιο και επομένως είναι αρκετά συνηθισμένος. Πέρα από τα πετρώματα ο ψευδάργυρος συναντάται στην ατμόσφαιρα και στο νερό και η πρόλευσή του μπορεί να προέρχεται είτε από τον άνθρωπο είτε από φυσικές διαδικασίες. Οι δραστηριότητες του ανθρώπου που ευθύνονται για την μεταφορά του ψευδαργύρου από τα ορυκτά στο νερό και στον αέρα ποικίλλουν και μπορούν να είναι από εξόρυξη και την χρήση λιπασμάτων μέχρι την καύση τοξικών αποβλήτων και λινάθρακα. Ειδικά όταν η μεταφορά αυτή γίνεται προς το θαλασσινό νερό έχει ως αποτέλεσμα τα ψάρια να απορροφούν τον ψευδάργυρο και εν συνεχεία μέσω της αλείας να καταλήγουν στον άνθρωπο. Στον άνθρωπο δεν θεωρείται επιβλαβές εκτός από ορισμένες χημικές ενώσεις του και όταν δεν γίνεται σε υπερβολικό βαθμό έτσι ώστε να εμποδίζει την απορρόφηση σιδήρου. (Καραπαναγιωτίδης, 2020)

Ωστόσο, ο ψευδάργυρος έχει μόνο μία σημαντική κατάσταση οξείδωσης, το Zn^{2+} και τείνει να είναι ουσιαστικά περισσότερο διαλυτός στους περισσότερους τύπους φυσικού ύδατος από ό, τι τα άλλα δύο μέταλλα. Ο ψευδάργυρος είναι απαραίτητος για τον μεταβολισμό των φυτών και των ζώων, αλλά το νερό δεν αποτελεί σημαντική πηγή του στοιχείου με την διατροφική έννοια.

Ο ψευδάργυρος χρησιμοποιείται ευρέως στη μεταλλουργία, κυρίως ως συστατικό του ορείχαλκου και του μπρούντζου, ή για τον γαλβανισμό, στον οποίο εναποτίθεται ως επίστρωση για την αναστολή της διάβρωσης του χάλυβα. Επίσης μια ακόμα χρήση του είναι σε διάφορες μικρές εφαρμογές όπως είναι η παραγωγή ζωοτροφής (συγκεκριμένα τον θειικό ψευδάργυρο), σαμπουάν για την καταπολέμηση της πυτιρίδας (με οξείδιο του ψευδαργύρου)κ.α.

Τα δεδομένα για τη διαλυτότητα του ανθρακικού ψευδαργύρου και υδροξειδίου του ψευδαργύρου υποδεικνύουν ότι το νερό που περιέχει 610 mg/LHCO₃⁻, περιέχει λιγότερο από 100 µg/L ψευδαργύρου για pH 8 έως 11. Σε κατάσταση ισοροπίας με πυριτικά άλατα του ψευδαργύρου (βιλεμίτης-Zn₂SiO₄), σε αυτό το εύρος pH η διαλυτότητα του ψευδαργύρου

μπορεί να είναι μικρότερη από 10 pg/L αλλά είναι άγνωστο αν αυτό το ορυκτό μπορεί να αφήσει ιζήματα σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να περιορίσει τη συγκέντρωση ψευδαργύρου στο νερό είναι η αλληλεπίδραση με την επιφάνεια ορυκτών, μέσω απλών διεργασιών απορόφησης, ιοντοανταλλαγής ή συγκαταβύθισης.

Οι τιμές για τις συγκεντρώσεις ψευδαργύρου, και αναφέρονται σε ποτάμια ύδατα, κυμαίνονται από 5 έως 45 $\mu\text{g} / \text{L}$.

Η μέση συγκέντρωση των επιφανειακών υδάτων είναι 10 pg/L. (Hem, 1985 σελ.142)

Μόλυβδος

Όπως δείχνουν τα στοιχεία, ο μόλυβδος είναι συγκρίσιμος σε αφθονία με το κοβάλτιο και είναι αρκετά σύνηθες στα ιζηματογενή πετρώματα. Έχει χρώμα μπλέ με γκρι και όταν βρίσκεται στο καθαρό οξυγόνο μπορεί να αποκτήσει σκούρο χρώμα. Επιπλέον όταν έρχεται σε επαφή με τον αέρα σε μια φυσιολογική θερμοκρασία δημιουργείται μια επίστρωση υδροξειδίου που λειτουργεί ως φράγμα για την δημιουργία διάβρωσης. Αντιθέτως σε επαφή με το νερό όταν δεν υπάρχει αεράς δεν φαίνεται να προκαλείται κάποια αλλοίωση ενώ αν στο νερό συνυπάρχει και αέρας, ο μόλυβδος μετατρέπεται σε υδροξείδιο του μόλυβδου.

Έχει χρήση στις κατασκευές κραμάτων, κόλλας, χρωμάτων, καλλυντικών κτλ. Επιπλέον θεωρείται αρκετά καλό υλικό για αντιμετώπιση της ραδιενέργειας ενώ παλαιότερα χρησιμοποιούνταν και σε σωλήνες-αγωγούς νερού σε οικοδομές. Αυτή η τεχνική ωστόσο έχει σταματήσει καθώς ο μόλυβδος είναι αρκετά επικίνδυνος για τον άνθρωπο και λειτουργεί συσσωρευτικά κάτι το οποίο σημαίνει πως μετά την έκθεση είναι αδύνατη η απομάκρυνση του από τον ανθρώπινο οργανισμό.

Η φυσική του κινητικότητα είναι χαμηλή, λόγω της χαμηλής διαλυτότητας των υδροξυ-ανθρακικών και φωσφορικών.

Η προσρόφηση μολύβδου στην επιφάνεια οργανικών και ανόργανων ιζημάτων και η συνκατακρίμνησή του με οξείδια του μαγγανίου τείνουν επίσης να διατηρούν χαμηλά τα επίπεδα συγκέντρωσης στα επιφανειακά και υπόγεια νερά.

Οι κύριες διαλυμένες ανόργανες μορφές μολύβδου είναι τα ελεύθερα ιόντα Pb^{2+} , σύμπλοκα υδροξειδίων τα ιοντικά ζεύγη ανθρακικών και θεικών ιόντων. Η σημασία των οργανικών

συμπλοκών είναι αβέβαιη, αλλά μπορεί να αποτελούν σημαντικό μέρος του διαλυμένου μολύβδου σε ορισμένα ύδατα.

Οι υπολογισμοί της διαλυτότητας, δείχνουν ότι η χημική ισορροπία που αφορά στα βασικά ανθρακικά του μολύβδου, διατηρεί τη συγκέντρωση διαλυμένου μολύβδου κάτω από περίπου 50 pg/L σε νερό που έχει 61 mg/L HCO_3 και pH μεταξύ 7,5 και 8,5. Το νερό που έχει χαμηλότερη αλκαλικότητα και pH μπορεί να δημιουργήσει μεγαλύτερες συγκεντρώσεις.

Οι συγκεντρώση μολύβδου στη βροχή και το χιόνι κυμαίνεται γύρω στα 100 pg/L σε περιοχές με επιβαρυνμένη ατμόσφαιρα ή κάτω του 1 μg/L σε πιο απομακρυσμένες περιοχές.

Το ραδιενεργό και εκπέμπον ακτινοβολία β ισότοπο ^{210}Pb παράγεται από τη σειρά διάσπασης του ^{238}U . Έχει χρόνο ημιζωής 21.4 χρόνια και έχει χρησιμοποιηθεί ως ιχνηλάτης σε πολλά είδη υδρολογικών μελετών. Ένας πρόδρομος αυτής της διάσπασης είναι το ^{222}Rn . (Hem, 1985 σελ.143-144)

Εμφανίσεις μη μεταλλικών στοιχείων

Αντιμόνιο

Το αντιμόνιο αποτελεί χημικό στοιχείο γνωστό από την αρχαιότητα που βρίσκεται στη φύση συνήθως με την μορφή του αντιμονίτη (Sb_2S_3). Αποτελεί ένα σπάνιο χημικό στοιχείο στην επιφάνεια του πλανήτη και γι αυτό εκτιμάται πως τα αποθέματα δεν θα είναι διαθέσιμα στα επόμενα χρόνια αφήνοντας όμως ως ελπίδα την ανακάλυψη νέου κοιτάσματος. Οι χώρες που το παράγουν και το εξάγουν σε μεγάλη ποσότητα είναι συνήθως οι Ρωσία- Κίνα. Η παραγωγή αυτή προορίζεται στην πλειοψηφία της για επιβραδυντικά φλόγας και για κράματα και σπανιότερα για μπαταρίες. Ωστόσο η έκθεση με το αντιμόνιο θα πρέπει να είναι περιορισμένη καθώς είναι τοξική και μπορεί να αναφερθούν συμπτώματα όπως εμετός ενώ παράλληλα η φύλαξη του θα πρέπει να γίνεται βάση συγκεκριμένων πρωτοκόλλων που αφορούν την σωστή θερμοκρασία, τοποθέτηση κτλ.

Αν και μερικά από τα χημικά χαρακτηριστικά του είναι παρόμοια με εκείνα του αρσενικού, το αντιμόνιο φαίνεται να έχει αφθονία 1:10 σε σχέση με το αρσενικό, στα πετρώματα.

Οι συγκεντρώσεις αντιμονίου που απαντώνται στα φυσικά νερά δεν αναμένεται να είναι υψηλές. (Hem, 1985 σελ.145)

Σελήνιο

Η χημεία του σεληνίου είναι παρόμοια με εκείνη του θείου, αλλά το σελήνιο είναι ένα πολύ σπανιότερο στοιχείο. Πολύ λίγα ορυκτά βρίσκονται στη φύση και είναι πλήρως σεληνιούχες ενώσεις καθώς στην πλειοψηφία του εμφανίζεται ως ένωση με ορυκτά θειούχων μετάλλων. Παράλληλα τα άλατα του σεληνίου σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να είναι τοξικά ενώ αντιθετως σε φυσιολογικές ή μικρές ποσότητες είναι αρκετά χρήσιμα για την επιβίωση πολλών ζώων. Η πρόσληψη σεληνίου από τα ζώα προέρχεται κυρίως από τη βλάστηση. Η πρόσληψη του σεληνίου από τα φυτά δεν είναι πολύ εύκολη διαδικασία καθώς απαιτεί από την μία υψηλές ποσότητες να βρίσκονται στο έδαφος και από την άλλη δεν απορροφάται από όλα τα είδη χλωρίδας.

Το σελήνιο χρησιμοποιείται κυρίως στις βιομηχανίες κατασκευής υαλού, βαφών. Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν και σε διαφορές ηλεκτρικές συσκευές ωστόσο η δραστηριότητα αυτή έχει ατονίσει καθώς πλέον την θέση του παίρνει το τιτάνιο.

Το στοιχείο εμφανίζεται σε οξειδωτικά διαλύματα με τη μορφή ιόντων σεληνίτη (SeO_3^{2-}) αλλά ανάγεται εύκολα σε στοιχειακό και σχετικά αδιάλυτο Se^0 .

Οι περισσότερες οξειδωμένες μορφές μπορούν να προσροφηθούν, ή να αλληλεπιδράσουν με άλλα οξυ υδροξείδια τρισθενούς σιδήρου.

Η ένωση H_2Se είναι ένα αέριο στις συνήθεις θερμοκρασίες της επιφάνειας της Γης. Το σελήνιο είναι ένα σχετικά σπάνιο στοιχείο. (Hem, 1985 σελ.145-146)

Εμφανίσεις Ραδιενεργών Στοιχείων στα Φυσικά Νερά

Ουράνιο

Το ουράνιο αποτελεί το βαρύτερο από τα φυσικά στοιχεία της γης και πολλές φορές η παρουσία του έχει συνδεθεί και με την ταυτόχρονη παρουσία φωσφορικών ιζηματογενών σχηματισμών. Το ουράνιο βρίσκεται τόσο στο νερό όσο και στο έδαφος και στα ορυκτά. Η παρουσία του μπορεί είτε να οφείλεται στην ανθρώπινη επέμβαση (π.χ. ραδιενεργά απόβλητα) είτε από την ίδια την γη και όταν εμφανίζεται στο νερό μπορεί μέσω αυτού να αποτιμηθεί η ηλικία των υπογείων υδάτων ενώ όσον αφορά το πόσιμο νερό έχει οριστεί το όριο του να μην υπερβαίνει τα 2mg/L σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας. (Κρικώνη, 2018)

Το φυσικό ουράνιο έχει αρκετά ισότοπα, εκ των οποίων κυριαρχεί το ουράνιο-238. Αυτό το νουκλίδιο είναι το σημείο εκκίνησης σε μια σειρά ραδιενεργών διασπάσεων που τελειώνει με το σταθερό ισότοπο του μολύβδου-206. Ο χρόνος ημιζωής του ουρανίου-238 είναι 4,5 έως 10 έτη, πράγμα που δείχνει ότι το νουκλίδιο είναι μόνο ασθενώς ραδιενεργό.

Τα σύμπλοκα ουρανίου με ανθρακικές και θεικές ρίζες μπορούν να επηρεάσουν τη συμπεριφορά του διαλυμένου ουρανίου. Οι χημικές ιδιότητες του ιόντος U^{6+} ευνοούν την ευρεία διασπορά του ουρανίου στο οξειδωμένο τμήμα του φλοιού της Γης. (Hem, 1985 σελ.148)

Ράδιο

Στη φύση απαντώνται τέσσερα ισότοπα του ραδίου: ράδιο-223, ράδιο -224, ράδιο -226 και ράδιο -228. Δύο από αυτά, το ράδιο -228 και το ράδιο-224, είναι προϊόντα διάσπασης του θορίου-232. Το ράδιο-223 είναι ένα προϊόν διάσπασης του ουρανίου-235 και το ράδιο-226 είναι προϊόν της διάσπασης του ουρανίου-238.

Ο χρόνος ημιζωής του ραδίου 226 είναι 1.620 έτη, πολύ μεγαλύτερος από οποιοδήποτε άλλο φυσικό ισότοπο ραδίου και θεωρείται ευρέως ότι το ράδιο-226 είναι συνήθως η κυρίαρχη μορφή στο φυσικό νερό. Όλα τα ισότοπα ραδίου είναι έντονα ραδιενεργά και μπορούν να ανιχνευθούν ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις. Το ράδιο είναι ένα μέταλλο (αλκαλική γαία) και η χημική του συμπεριφορά ομοιάζει με του βαρίου. Η διαλυτότητα του $RaSO_4$ στους $25^{\circ}C$, είναι κάπως μικρότερη από τη διαλυτότητα του $BaSO_4$, υπό περίπου τις ίδιες συνθήκες. Θεωρητικά, εάν το ουράνιο ή το θόριο διασπαστούν σε ένα κλειστό σύστημα, στο οποίο τα προϊόντα δεν διαφεύγουν, επέρχεται τελικά ραδιενεργός ισορροπία.

Φαίνεται όμως πιθανό ότι λίγα υδατικά συστήματα θα μπορούσαν να φθάσουν σε μια ισορροπία μεταξύ του ουρανίου-238 και του ραδίου-226 λόγω της μεγάλης απαιτούμενης χρονικής περιόδου.

Επειδή οι χημικές διεργασίες των δύο στοιχείων είναι τόσο διαφορετικές, η πιθανότητα διαχωρισμού αυξάνεται περαιτέρω.

Η συγκέντρωση του ραδίου στα περισσότερα φυσικά νερά είναι πολύ μικρότερη από εκείνη του ουρανίου και είναι ως επί το πλείστον κάτω από $1,0 \text{ pCi} / \text{L}$.

Σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις ραδίου είναι πιθανότερο να εμφανιστούν στο νερό από υδροφορείς μεγάλου βάθους ή σε περιοχές που επηρεάζονται από εξόρυξη ουρανίου ή φωσφορικών άλατων. (Hem, 1985 σελ.148-149)

Ραδόνιο

Είναι ραδιενεργό στοιχείο που δεν έχει χρώμα και οσμή, είναι πολύ βαρή (το πιο βαρύ από όλα τα αέρια). Η παραγωγή του εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποσότητα του ραδίου που υπάρχει στους κόκκους του εδάφους, παράγεται δηλαδή μόνο κατά την παρουσία του ραδίου.

Ωστόσο ενώ προέρχεται από το ράδιο παρουσιάζει διαφορές ως προς την μορφή του, καθώς το ράδιο είναι στερέο στοιχείο εν αντιθέσει με το ραδόνιο που αδρανές και δεν συγκρατείται εύκολα στο έδαφος. Για να συμβεί βέβαια αυτό σημαντικό ρόλο παίζει το μέγεθος και η μορφή των κόκκων καθώς και η υγρασία η όχι του εδάφους. Η έκθεση του ανθρώπου στο Rne είναι επικίνδυνη καθώς έχει κατηγορηθεί πολλές φορές για καρκίνο στον πνεύμονα όταν εισπνέεται από κοντινή απόσταση. Ο λόγος που το κάνει ακόμα πιο επικίνδυνο είναι πως δεν έχει μυρωδιά οπότε δεν γίνεται αντιληπτό. (Θεοδοσίου Γιώργος-Τσαρουχάς, 2013)

Επειδή το ραδόνιο (Rn) είναι αέριο έχει πολύ υψηλότερη κινητικότητα από το ουράνιο και το ράδιο (U-Ra) τα οποία είναι στερεά και σταθερά σε πετρώματα και εδάφη. Το ραδόνιο μπορεί πιο εύκολα εξέρχεται από τα πετρώματα και τα εδάφη, διαφεύγοντας μέσα από ρήγματα και κενά που υπάρχουν στα πετρώματα και μεταξύ του πορώδους του εδάφους. Έτσι παρατηρείται σχετική ευκολία στην κίνηση του ραδονίου στο χώρο, μέσω ρηγμάτων και του πορώδους με αποτέλεσμα το ραδόνιο κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες να μπορεί να ταξιδέψει μεγάλες αποστάσεις πριν συντελεστεί η σχάση. Το είδος και η ταχύτητα κίνησης του ραδονίου μέσω του εδάφους ελέγχεται από την ποσότητα του νερού στο πορώδες (porespace), δηλαδή την περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία, το πορώδες, και την ικανότητα του εδάφους να μεταφέρει νερό και αέρια (διαπερατότητα). Το ραδόνιο κινείται πιο εύκολα μέσω διαπερατών εδαφών όπως είναι η άμμος και το χαλίκι παρά σε αδιαπέρατα όπως είναι η άργιλος. Τα ρήγματα σε οποιαδήποτε επιφάνεια βοηθούν το ραδόνιο να κινείται πιο γρήγορα. **Το ραδόνιο στο νερό κινείται πιο αργά από ότι στον αέρα ενώ η απόσταση που διανύει το ραδόνιο πριν τη διάσπαση του μεγαλύτερου μέρους του είναι περίπου τριάντα εκατοστά σε κορεσμένα από νερό εδάφη και πετρώματα αλλά περίπου στα δύο μέτρα σε ξηρά εδάφη.** Επειδή το νερό κινείται αργά από τους πόρους του εδάφους των πετρωμάτων και των ρηγμάτων από ότι ένα αέριο, το ραδόνιο συμπερασματικά μπορεί να ταξιδέψει μικρότερες αποστάσεις σε υγρές συνθήκες από ότι σε ξηρά εδάφη (πριν διασπαστεί). Για τους λόγους αυτούς σε ξηρές περιοχές και ιδιαίτερα σε διαπερατά εδάφη, λόφους, πλαγιές, φαράγγια μπορεί να υπάρχουν υψηλά επίπεδα ραδονίου.

Όσο πλησιέστερα βρίσκεται ένα πέτρωμα στον υδροφόρο ορίζοντα τόσο περισσότερο νερό περιέχουν οι πόροι του, επομένως η συγκέντρωση του ραδονίου στον χώρο των πόρων αυξάνεται καθώς αυτό «εγκλωβίζεται» με αποτέλεσμα να μειώνεται η ταχύτητα του στο νερό και με την οποία αυτό «ταξιδεύει» στον χώρο. Στο επίπεδο κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα όλοι οι πόροι είναι γεμάτοι με νερό, οπότε όλο το ραδόνιο που εκπέμπεται από το πέτρωμα διαλύεται στο νερό. Ωστόσο το ραδόνιο παραμένει εν διαλύσει και ακολουθεί την πορεία του

νερού μόνον στις περιπτώσεις όπου η κίνηση του νερού είναι γρήγορη και υπάρχει διαφυγή σημαντικών ποσοτήτων (Segoviaetal., 1999; Zalewskietal., 2001; Βογιάννης, 2005).

Το ραδόνιο έχει έντονη παρουσία σε περιπτώσεις που το υπόγειο νερό κινείται κοντά σε ρήγματα ή σε περιοχές με ηφαιστειακή δραστηριότητα ή ακόμα και μέσα από καρστικές κοιλότητες, όπου το ραδόνιο μπορεί να είναι εγκλωβισμένο (MomminandSeidel, 1992; MonninandSeidel, 1997; Segoviaetal., 1997; Βογιάννης, 2005).

Κεφάλαιο 4: Διαδικασίες Μετρήσεων

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε σειρά μετρήσεων σε ιστορικά ιαματικές αλλά και άλλες πιθανώς θερμομεταλλικές πηγές της Περιφερειακής Ενότητας Ρεθύμνου.

Κατά την πρώτη μέτρηση των πηγών λήφθησαντα βασικά μεγέθη για τον προσδιορισμό των ποιοτικών παραμέτρων των υδάτων που εκρέουν από τις πηγές. Τα μεγέθη αυτά είναι τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS), η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), η θερμοκρασία και το pH.

Μια ακόμα διαδικασία που πραγματοποιήθηκε είναι και η μέτρηση ραδονίου και θορίου στον χώρο του εργαστηρίου, σε δείγματα νερού από τις προαναφερθείσες πηγές.

Εν συνεχεία πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις των δειγμάτων για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των νερών.

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται οι διαδικασίες μέτρησης των μεγεθών που μελετήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και υδροχημικές αναλύσεις σε πηγές που βρίσκονται στην περιφερειακή ενότητα Ρεθύμνου.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις πηγές που βρίσκονται περιοχές Καπεδιανά, Ρουκουνέλι, Λίγγρες, Αγαλιανός, Μέρωνας, Γεράνι, Λιγιόλακος, Μούταλη, Λιχνιστής, Αγία Ελεούσα, Αρολίθι, Σύρικας, Άνω Βαλσαμόνερο και Κάστελλος.

Το νερό κατά το διάστημα που μεσολαβεί από την δειγματοληψία έως και την ανάλυσή του θα πρέπει να εξασφαλιστεί πως δεν θα βουλώσουν τα σωληνάκια και αυτό μπορεί να γίνει με την διήθηση και την οξίνιση. Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν συνολικά 8 δειγματοληψίες στην περιοχή του νομού Ρεθύμνου. Οι δειγματοληψίες έγιναν σε πηγές για τις οποίες υπήρχαν βιβλιογραφικές ενδείξεις (Λέκκας, 1948) ότι το νερό το οποίο αποδίδουν είναι μεταλλικό.

Ακόμα δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε και σε πηγές για τις οποίες υπήρχαν πληροφορίες από τους τοπικούς φορείς για τις ιαματικές ιδιότητες των νερών. Αναλυτικότερα, οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν στο χρονικό διάστημα από τον Σεπτέμβριο του 2017 και τον Μάρτιο του 2018.

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν στις περιοχές Αρμένιοι, Καπεδιανά, Μέρωνας, Γεράνι, Αγαλιανός, Μέλαμπες, Άνω Βαλσαμόνερο, Κάστελλος Βιλανδρέδο, Αγία Ελεούσα κ.α..

Στο ύπαιθρο μετρήθηκαν pH, θερμοκρασία νερού και περιβάλλοντος, TDS και ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν με φορητό πολύμετρο.

Κατά τις δειγματοληψίες λαμβανόντουσαν τρία φιαλίδια νερού. Τα φιαλίδια αποτελούνταν από πολυαιθυλένιο το οποίο κατά την επαφή του με το νερό παραμένει αδρανές και κατά συνέπεια δεν επιφέρει μεταβολές στη σύσταση του νερού.

Το φιαλίδιο χωρητικότητας 100 ml ήταν νερό που δεν είχε υποστεί επεξεργασία.

Το δεύτερο φιαλίδιο χωρητικότητας 50 ml αποτελεί νερό που έχει διέλθει από φίλτρο μεμβράνης με διάμετρο 0,45μm.

Παρακάτω δίδονται οι συντεταγμένες των πηγών, που προσδιορίστηκαν με χρήση συσκευής GPS.

Σε όλες τις πηγές μετρήθηκαν TDS, pH, θερμοκρασία νερού και περιβάλλοντος και ηλεκτρική αγωγιμότητα. Τα δείγματα που πάρθηκαν υποβλήθηκαν σε υδροχημική ανάλυση για να προσδιοριστεί η χημική τους σύσταση και άλλες εργαστηριακά προσδιοριζόμενες ιδιότητες τους όπως το Eh και η αλκαλικότητα. Παρακατω παρατίθενται τα αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων.

| Δείγμα | Ημ/νια | X | Y | Z | T | pH | TOC | Αγωγιμ. | TDS | Σκληρ. | Eh | Ca | Mg | Na | K | Cl | HCO3 | SO4 | F | SiO2 |
|-------------------------|------------|----------|----------|-----|------|-----|------|---------|------|--------|-------|--------|--------|---------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|
| | | m | m | m | °C | | mg/l | uS/cm | mg/l | mg/L | mV | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l | mg/l |
| Kapediana-1 | 9/19/2017 | 545043 | 3908678 | 357 | 18.2 | 5.5 | | 280 | 130 | 4.5 | 43.7 | 5.89 | 12.44 | 31.49 | 0.81 | 44.50 | 55.60 | 36.86 | 0.08 | 6.23 |
| Kapediana-2 | 9/7/2018 | 545043 | 3908678 | 357 | 18.1 | 5.8 | 2.98 | 339 | 155 | 10.0 | 173.1 | 5.78 | 6.89 | 20.86 | 0.83 | 39.52 | 121.99 | 30.65 | 0.16 | 6.29 |
| Roukouneli-1 | 9/19/2017 | 541821 | 3906695 | 372 | 19.4 | 7 | 1.11 | 440 | 210 | 3.0 | 119.1 | 16.19 | 15.83 | 53.62 | 1.02 | 80.70 | 37.06 | 32.84 | 0.10 | 6.35 |
| Roukouneli-2 | 9/8/2018 | 541821 | 3906695 | 372 | 20.5 | 7 | 0.68 | 456 | 219 | 4.5 | 170.7 | 12.96 | 8.03 | 34.12 | 0.61 | 97 | 55.47 | 34.74 | 0.133 | 5.91 |
| Ligres-1 | 10/8/2017 | | | | 18.2 | 7.4 | 0.61 | 390 | 140 | 8.7 | 265 | 44.04 | 11.30 | 24.38 | 11.78 | 41 | 106.70 | 25.95 | 0.15 | |
| Agalianos-1 | 10/20/2017 | 548241 | 3890075 | 236 | 19 | 7.6 | 0.38 | 1060 | 520 | | 208 | 116.02 | 45.89 | 66.14 | 1.65 | 144 | 233.54 | 72.10 | 0.14 | 16.56 |
| Agalianos-2 | 9/8/2018 | 548241 | 3890075 | 236 | 21.9 | 7.4 | | 1078 | 555 | 25.4 | 150.4 | 46.80 | 17.66 | | 18.24 | 155 | 311.57 | 86.43 | 0.09 | 8.36 |
| Meronas-1 | 10/20/2017 | 556212 | 3895507 | 662 | 15.3 | 7.4 | | 640 | 310 | | 209 | 88.86 | 42.59 | 16.77 | 0.61 | 28 | 243.24 | 54.77 | 0.16 | 8.58 |
| Meronas-2 | 9/7/2018 | 556212 | 3895507 | 662 | 17.4 | 7.2 | 1.82 | 657 | 327 | 20.7 | 158.3 | 52.13 | 19.79 | | 20.22 | 9.36 | 253.30 | 61.96 | 0.11 | 9.25 |
| Gerani-1 | 10/31/2017 | 536820 | 3912791 | 0 | 19.9 | 7.4 | 0.77 | 710 | 350 | | 225 | 124.86 | 194.82 | 1094.25 | 42.16 | 9710 | 218.11 | 1038.00 | 1.43 | 7.17 |
| Ligiolakos-1 | 11/8/2017 | 557580 | 3884392 | 359 | 21.4 | 7.7 | 0.04 | 1100 | 540 | 14.6 | 212 | 69.17 | 8.56 | 41.09 | 1.18 | 102 | 179.27 | 29.97 | 0.12 | 21.82 |
| Moutalis-1 | 11/8/2017 | 559003 | 3884517 | 229 | 21.8 | 7.8 | 0.58 | 1040 | 510 | 19.9 | 215 | 105.74 | 26.68 | 53.84 | 2.23 | 111 | 243.22 | 130.96 | 0.18 | 26.70 |
| Lichnistis-1 | 11/8/2017 | 559291 | 3884102 | 50 | 26.4 | 7.8 | 1.06 | 1240 | 620 | 22.6 | 212 | 110.91 | 32.47 | 44.02 | 2.87 | 98 | 276.40 | 195.00 | 0.40 | 17.46 |
| Arolithi-1 | 2/27/2018 | 529052 | 3901741 | 551 | 14.3 | 7 | 0.81 | 140 | 60 | 1.7 | 168 | 5.46 | 4.44 | 8.24 | 0.00 | 23.1 | 20.58 | 8.14 | 0.10 | 6.97 |
| Arolithi-2 | 9/8/2018 | 529052 | 3901741 | 551 | 17.6 | 6 | 0.96 | 243 | 104 | 2.0 | 167 | 3.78 | 4.56 | 10.66 | 0.24 | 18.18 | 24.26 | 34.09 | 0.08 | 7.40 |
| Syrikas-1 | 2/27/2018 | 530704 | 3900694 | 490 | 12.4 | 6.7 | 0.72 | 278 | 133 | 4.3 | 178 | 12.95 | 4.15 | 9.55 | 0.00 | 26.3 | 52.70 | 18.26 | 0.20 | 5.73 |
| AnoValsamonero-1 | | 03906126 | 00538167 | 388 | 15.6 | 7.5 | 2.79 | 558 | 271 | 16.2 | 187 | 41.22 | 20.63 | 11.05 | 0.00 | 32.4 | 198.45 | 12.38 | 0.19 | 4.47 |
| AnoValsamonero-2 | 9/7/2018 | 03906126 | 00538167 | 388 | 21.8 | 7.5 | 0.71 | 567 | 279 | 22.7 | 146.7 | 34.37 | 19.17 | 13.61 | 0.46 | 17.68 | 277.71 | 14.78 | 0.06 | 4.04 |
| Kastellos-1 | | 539820 | 3906000 | 345 | 16.1 | 6.8 | 2.70 | 710 | 330 | 18.0 | 211 | 78.24 | 9.39 | 18.41 | 0.00 | 54.3 | 220.56 | 15.48 | 0.16 | 7.70 |
| Kastellos-2 | 9/8/2018 | 539820 | 3906000 | 345 | 18.6 | 7 | | 702 | 352 | 21.5 | 157.9 | 52.64 | 7.20 | 19.67 | 0.58 | 52 | 263.42 | 14.57 | 0.034 | 6.50 |

Πίνακας 5-1. Πίνακας δεδομένων. Χρόνος δειγματοληψίας, θέσεις πηγών και κύρια ιόντα.

| Δείγμα | NO2 | NO3 | NH4 | Al | B | Ba | Cr | Cu | Fe | Li | Mn | Mo | Ni | Pb | Sb | Se | Sr | U | V | Zn |
|--------------------------|------|-------|-------|------|---------|--------|------|-------|------|-------|--------|--------|------|-------|------|--------|---------|-------|-------|--------|
| | μg/L | mg/l | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L | μg/L |
| Kapediana-1 | | 0.095 | 288.8 | | 1.42 | | | | 7975 | 0.35 | 133.30 | | | | | | 18.09 | | | 6.63 |
| Kapediana-2 | 4 | 0.173 | 233.8 | 7.2 | 11.26 | 5.95 | 0.22 | 1.776 | 3106 | 4.07 | 92.99 | 0.293 | 7.90 | 0.30 | | | 18.45 | 0.103 | | 598.20 |
| Roukouneli-1 | | 0.195 | 76.6 | | 1.40 | 8.21 | | | 8 | 0.79 | 29.42 | | | | | | 66.51 | | | |
| Roukouneli-2 | 5 | 0.176 | 121.8 | 12.7 | 7.57 | 25.76 | 0.43 | 1.071 | 19 | 4.89 | 77.71 | 0.267 | 6.25 | 0.47 | | | 37.82 | 0.192 | | 8.06 |
| Ligres-1 | 3 | 2.370 | 174.9 | | 0.00 | 55.72 | | | 96 | | | 78.818 | | | 984 | | 404.76 | | | |
| Agalianos-1 | 2 | 1.770 | 0.0 | | 114.00 | 44.32 | | | 0 | | | | | | | | 481.80 | | | |
| Agalianos-2 | 8 | 0.902 | 135.6 | 1.2 | 39.25 | 30.37 | 3.68 | 1.392 | 198 | 3.69 | 9.82 | 0.502 | 1.88 | 0.25 | | 0.114 | 325.28 | 0.655 | | 17.64 |
| Meronas-1 | | 0.522 | 0.0 | | 2.21 | 22.78 | | | 16 | | | | | | | | 386.64 | | | |
| Meronas-2 | 4 | 0.410 | 53.0 | 2.5 | 41.69 | 37.84 | 1.16 | 1.621 | 46 | 3.99 | 5.17 | 0.378 | 1.91 | 0.37 | | | 356.62 | 0.695 | | 14.36 |
| Gerani-1 | 4 | 0.900 | 43.7 | | 1160.44 | 8.13 | | | 0 | 10.00 | | | | | | 21.189 | 1055.97 | | | |
| Ligiolakos-1 | 2 | 0.203 | 21.6 | | 35.00 | 164.66 | | | 16 | 1.33 | | | | | | | 420.39 | | | |
| Moutalis-1 | 3 | 0.076 | 190.6 | | 82.30 | 66.61 | | 1.202 | 28 | 9.17 | | | | | | | 513.22 | | | 7.96 |
| Lichnistis-1 | | 0.186 | 55.0 | | 96.20 | 67.92 | | | 51 | 7.40 | 3.33 | | | | | | 1959.58 | | | |
| Arolithi-1 | | | 41.3 | 20.0 | 11.80 | 7.94 | | 1.377 | 45 | 1.33 | 0.79 | | | 0.55 | 1.61 | 0.092 | 42.79 | | 1.77 | 12.37 |
| Arolithi-2 | 3 | 0.436 | 106.1 | 15.0 | 6.78 | 11.74 | 0.90 | 2.033 | 340 | 2.20 | 0.00 | 0.680 | 3.57 | 0.75 | | | 33.36 | 0.202 | | 57.18 |
| Syrikas-1 | 2 | | 55.0 | | 6.45 | 4.66 | | 0.342 | 709 | 2.44 | 133.17 | 0.807 | 2.27 | 0.33 | 1.58 | 0.123 | 32.93 | | 1.69 | 15.99 |
| Ano Valsamonero-1 | 5 | 1.590 | 115.9 | | 11.26 | 4.22 | | | 29 | 0.13 | 0.00 | | | 0.32 | 1.61 | 0.431 | 48.42 | | 2.43 | 5.10 |
| Ano Valsamonero-2 | 3 | 1.150 | 96.3 | 3.6 | 11.42 | 5.65 | 0.63 | 0.980 | 27 | 0.90 | 0.00 | 0.396 | 1.35 | 0.203 | | | 48.26 | 0.749 | 0.429 | 3.84 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|-------|-----|-----|-------|-------|------|-------|----|------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Kastellos-1 | 3 | 2.620 | 0.0 | | 21.64 | 11.27 | | | 18 | 0.91 | 2.65 | | | 0.428 | 1.60 | 0.687 | 59.54 | | 2.224 | 5.98 |
| Kastellos-2 | 5 | 2.640 | 0.0 | 0.3 | 12.33 | 12.31 | 1.32 | 0.897 | 11 | 1.53 | 1.57 | 0.316 | 1.39 | 0.160 | | | 46.97 | 0.444 | 0.165 | 13.97 |

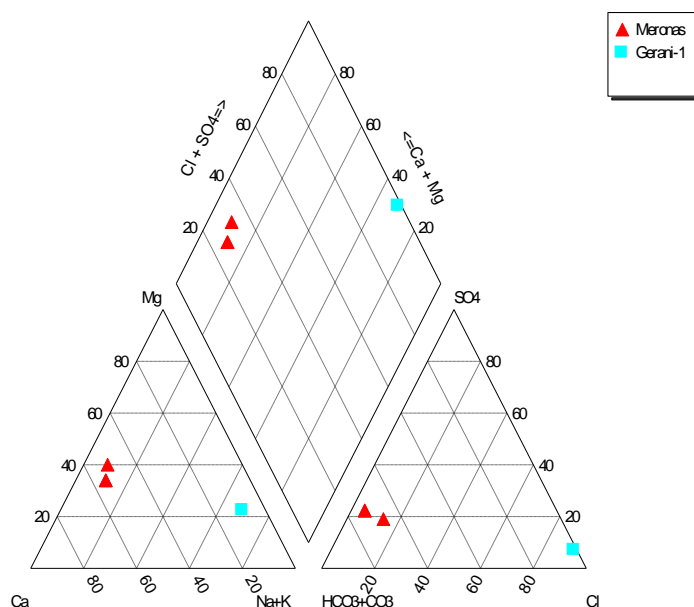
Πίνακας 5-2. Πίνακας δεδομένων με τις συγκεντρώσεις σε ιχνοστοιχεία.

5.1 Πηγές που εκρέουν εντός Αλπικών Σχηματισμών

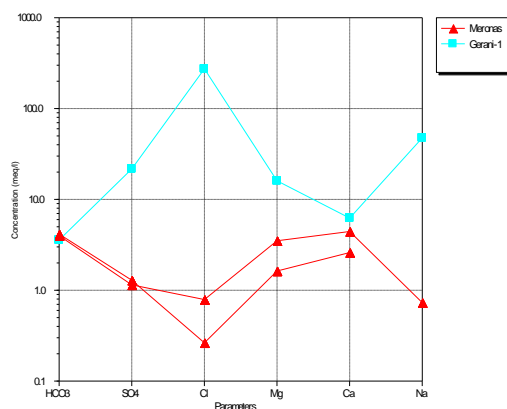
Κατασκευάστηκαν και παρατίθενται υδροχημικά διαγράμματα με τα δείγματα ομαδοποιημένα ανάλογα με τη γεωλογική ζώνη στην οποία παρατηρούνται οι εκροές της πηγής.

5.1.1 Πηγές που εκρέουν εντός σχηματισμών της ζώνης Τρίπολης

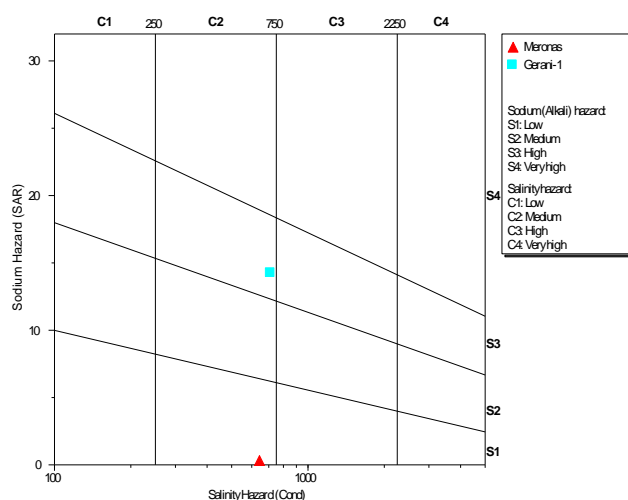
Παρακάτω παρατηρούμε Διάγραμμα *river* για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της ζώνης Τρίπολης που αφορά τις πηγές που εκρέουν εντός των σχηματισμών της ζώνης στην Τρίπολη.



Εικόνα 5-1. Διάγραμμα *river* για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της ζώνης Τρίπολης



Εικόνα 5-2. Διάγραμμα Schoeller για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της ζώνης Τρίπολης



Εικόνα 5-3 Διάγραμμα SAR για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της ζώνης Τρίπολης

Αποτελέσματα για τη πηγή Μέρωνας

Για την πηγή Μέρωνας οι τιμές που μετρήθηκαν στο πεδίο για το TDS είναι 310 mg/L, για το pH είναι 7,4, η θερμοκρασία της μετρήθηκε 15,3 °C και η ηλεκτρική αγωγιμότητα 640 mS/cm. Ακόμη στο εργαστήριο μετρήθηκαν για την πηγή Μέρωνας το Eh και η σκληρότητα με μετρήσεις για τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντίστοιχα 209 mV και 0,004. Το νερό της πηγής χαρακτηρίζεται ως Ca-Mg-HCO₃.(βλ. εικόνα 5.1)

Κατά την δευτερη δειγματοληψία, οι τιμές που μετρήθηκαν στο ύπαιθρο, για την πηγή Μέρωνας τα στοιχεία που προέκυψαν είναι τα εξής: θερμοκρασία 17,4 °C, pH 7,2, ηλεκτρική αγωγιμότητα 950 mS/cm ενώ το TDS μετρήθηκε 460 mg/L.

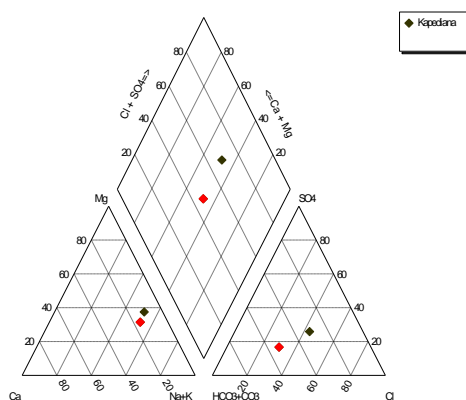
Από το διάγραμμα Schoeller φαίνεται ότι η περιεκτικότητα των υδάτων που εκρέουν από τη πηγή σε χλώριο, παρουσιάζει απόκλιση μεταξύ των δύο δειγμάτων. Ακόμα, στο δεύτερο δείγμα η συγκέντρωση του νατρίου ήταν μικρότερη του ορίου ανίχνευσης.(βλ. εικόνα 5.2)

Επίσης από το διάγραμμα SAR η πηγή ταξινομείται ως χαμηλού κινδύνου ως προς τη περιεκτικότητα σε νάτριο και μετρίου κινδύνου ως προς την αλατότητα.(βλ. εικόνα 5.3)

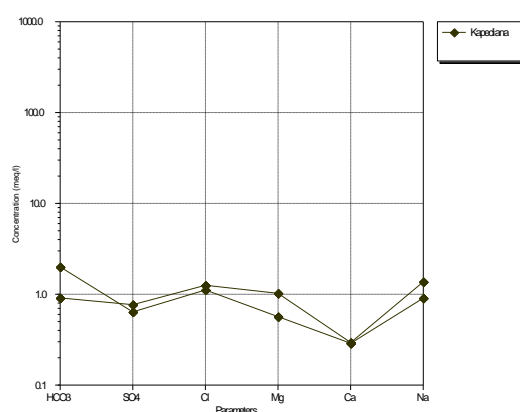
Δειγματοληπτικά αποτελέσματα για τη πηγή Γεράνι

Για την πηγή Γεράνι οι τιμές που μετρήθηκαν στο πεδίο για το TDS είναι 350 mg/L, για το pH είναι 7,4, η θερμοκρασία της μετρήθηκε 19,9 °C και η ηλεκτρική αγωγιμότητα 710 mS/cm. Ακόμη στο εργαστήριο μετρήθηκαν για την συγκεκριμένη πηγή το Eh και η σκληρότητα, με μετρήσεις για τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντίστοιχα 225 mV και 0,0036. Το νερό της πηγής χαρακτηρίζεται ως Na-Cl (βλ. εικόνα 5.1) Επίσης από το διάγραμμα SAR η πηγή ταξινομείται ως υψηλού κινδύνου ως προς τη περιεκτικότητα σε νάτριο και μετρίου κινδύνου ως προς την αλατότητα. (βλ. εικόνα 5.3)

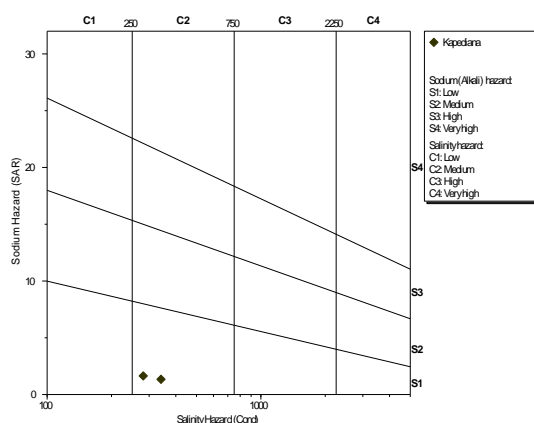
5.1.2 Πηγές που εκρέουν εντός των πλακωδών ασβεστολίθων



Εικόνα 5-4 Διάγραμμα piper για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός των πλακωδών ασβεστολίθων



Εικόνα 5-5 Διάγραμμα Schoeller για το δείγμα από την πηγή που εκρέει εντός των πλακωδών ασβεστολίθων



Εικόνα 5-6 Διάγραμμα SAR για το δείγμα από τη πηγή που εκρέει εντός των πλακωδών ασβεστολίθων

Αποτελέσματα για τη πηγή Καπεδιανά

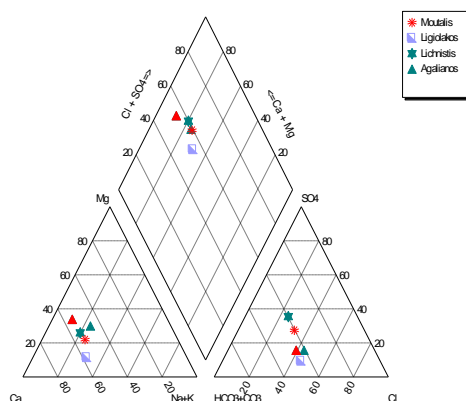
Αναφορικά με την πηγή Καπεδιανά οι τιμές που μετρήθηκαν στο πεδίο για το TDS είναι 130 mg/L, για το pH είναι 5.5, η θερμοκρασία της μετρήθηκε 18.2°C και η ηλεκτρική αγωγιμότητα 280 mS/cm. Ακόμη στο εργαστήριο μετρήθηκαν για την πηγή Καπεδιανά το Eh και η σκληρότητα με μετρήσεις για τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντίστοιχα 43.7mV και 0.00091. Το νερό της πηγής χαρακτηρίζεται ως Na-Mg-Cl-HCO₃-SO₄(βλ. εικόνα 5.4).

Κατά την δεύτερη δειγματοληψία, οι τιμές που μετρήθηκαν στο ύπαιθρο, για την πηγή Καπεδιανά τα στοιχεία που προέκυψαν είναι τα εξής: θερμοκρασία 18.1 °C, pH 5.8, ηλεκτρική αγωγιμότητα 290 mS/cm ενώ το TDS μετρήθηκε 140 mg/L.

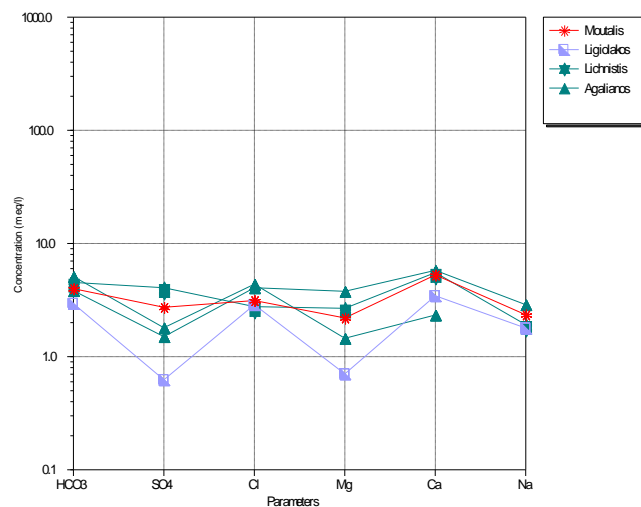
Από το διάγραμμα Schoeller δεν προκύπτουν αξιοσημείωτες διακυμάνσεις ως προς τις συγκεντρώσεις των υπό εξέταση στοιχείων. (βλ. εικόνα 5.5)

Επίσης από το διάγραμμα SAR η πηγή ταξινομείται ως χαμηλού κινδύνου ως προς τη περιεκτικότητα σε νάτριο και μετρίου κινδύνου ως προς την υφαλμύρινση. (βλ. εικόνα 5.6)

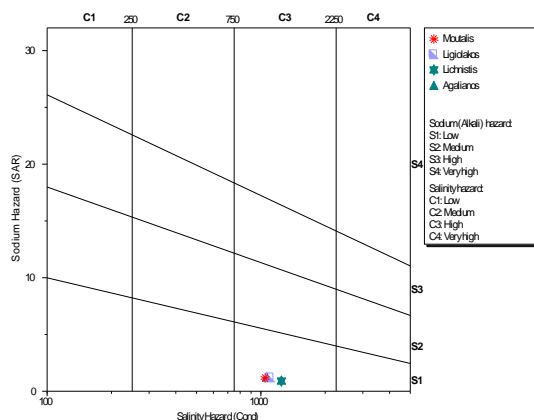
5.1.3 Πηγές που εκρέουν εντός σχηματισμών της ζώνης Πίνδου



Εικόνα 5-7 Διάγραμμα *piper* για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της ζώνης Πίνδου



Εικόνα 5-8 Διάγραμμα Schoeller για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της ζώνης Πίνδου



Εικόνα 5-9 Διάγραμμα SAR για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της ζώνης Πίνδου

Αποτελέσματα για τη πηγή Αγαλιανός

Για την πηγή Αγαλιανός οι τιμές που μετρήθηκαν στο πεδίο για το TDS είναι 520 mg/L, για το pH είναι 7,6, η θερμοκρασία της μετρήθηκε 19 °C και η ηλεκτρική αγωγιμότητα 1060 mS/cm. Ακόμη στο εργαστήριο μετρήθηκαν για την πηγή Αγαλιανός, το Eh και η αλκαλικότητα με μετρήσεις για τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντίστοιχα 208 mV και 0,0038. Επιπλέον, με χρήση του λογισμικού Aquachem και των δεδομένων υδροχημείας,

κατασκευάστηκε το διάγραμμα Piper από το οποίο εξήχθη το συμπέρασμα ότι, το νερό της πηγής χαρακτηρίζεται ως Ca-Mg-Na-Cl-HCO₃. (βλ. εικόνα 5.7)

Κατά την δευτερη δειγματοληψία, οι τιμές που μετρήθηκαν στο ύπαιθρο, για την πηγή Αγαλιανός τα στοιχεία που προέκυψαν είναι τα εξής: θερμοκρασία 21,9 °C, pH 7,4, ηλεκτρική αγωγιμότητα 610 mS/cm ενώ το TDS μετρήθηκε 1240 mg/L.

Από το διάγραμμα Schoeller φαίνεται σημαντική διαφορά στις συγκεντρώσεις μαγνησίου μεταξύ των δύο δειγμάτων. (βλ. εικόνα 5.8)

Επίσης από το διάγραμμα SAR η πηγή ταξινομείται ως χαμηλού κινδύνου ως προς τη περιεκτικότητα σε νάτριο και υψηλού κινδύνου ως προς την αλατότητα. (βλ. εικόνα 5.9)

Αποτελέσματα για τη πηγή Μούταλη

Για την πηγή Μούταλη οι τιμές που μετρήθηκαν στο πεδίο για το TDS είναι 510 mg/L, για το pH είναι 7,8, η θερμοκρασία της μετρήθηκε 21,8 °C και η ηλεκτρική αγωγιμότητα 1040 mS/cm. Ακόμη στο εργαστήριο μετρήθηκαν για την συγκεκριμένη πηγή το Eh και η αλκαλικότητα με μετρήσεις για τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντίστοιχα 215 mV και 0,004. Το νερό της πηγής χαρακτηρίζεται ως Ca-Na-Mg-HCO₃-Cl-SO₄(βλ. εικόνα 5.7).

Το δείγμα που ελήφθη από την πηγή Μούταλη βρέθηκε ότι εμπεριέχει και είναι κορεσμένο σε στοιχεία όπως ο αραγωνίτης, βαρίτης, ασβεστίτης, χαλκηδόνιο, δολομίτης, γκαιτίτης, αιματίτης, χαλαζίας και τάλκη.

Επίσης από το διάγραμμα SAR η πηγή ταξινομείται ως χαμηλού κινδύνου ως προς τη περιεκτικότητα σε νάτριο και υψηλού κινδύνου ως προς την υφαλμύριση. (βλ. εικόνα 5.9)

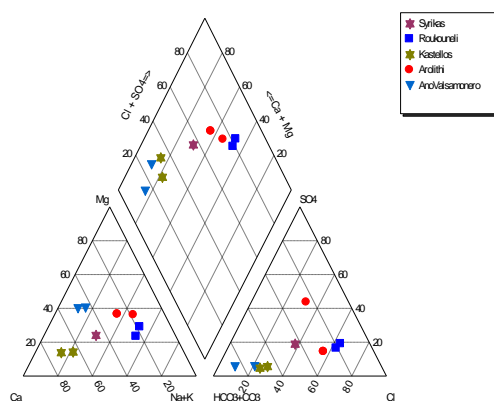
Αποτελέσματα για τη πηγή Λιγιάλακκος

Για την πηγή Λιγιάλακκος οι τιμές που μετρήθηκαν στο πεδίο για το TDS είναι 540 mg/L, για το pH είναι 7,7, η θερμοκρασία της μετρήθηκε 21,4 °C και η ηλεκτρική αγωγιμότητα 1100 mS/cm. Ακόμη στο εργαστήριο μετρήθηκαν για την συγκεκριμένη πηγή το Eh και η σκληρότητα με μετρήσεις για τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντίστοιχα 212 mV και 0,0029. Το νερό της πηγής χαρακτηρίζεται ως Ca-Na-HCO₃-Cl(βλ. εικόνα 5.7). Επίσης από το διάγραμμα SAR η πηγή ταξινομείται ως χαμηλού κινδύνου ως προς τη περιεκτικότητα σε νάτριο και υψηλού κινδύνου ως προς την αλατότητα. (βλ. εικόνα 5.9)

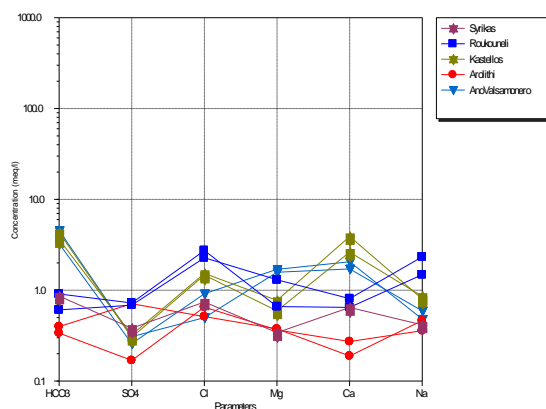
Αποτελέσματα για τη πηγή Λιχνιστής

Για την πηγή Λιχνιστής οι τιμές που μετρήθηκαν στο πεδίο για το TDS είναι 620 mg/L, για το pH είναι 7,8, η θερμοκρασία της μετρήθηκε 26,4 °C και η ηλεκτρική αγωγιμότητα 1240 mS/cm. Ακόμη στο εργαστήριο μετρήθηκαν για την συγκεκριμένη πηγή το Eh και η αλκαλικότητα με μετρήσεις για τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντίστοιχα 212 mV και 0,0045. Το νερό της πηγής χαρακτηρίζεται ως Ca-Mg-HCO₃-SO₄-Cl(βλ. εικόνα 5.7).Επίσης από το διάγραμμα SAR η πηγή ταξινομείται ως χαμηλού κινδύνου ως προς τη περιεκτικότητα σε νάτριο και υψηλού κινδύνου ως προς την αλατότητα. (βλ. εικόνα 5.9)

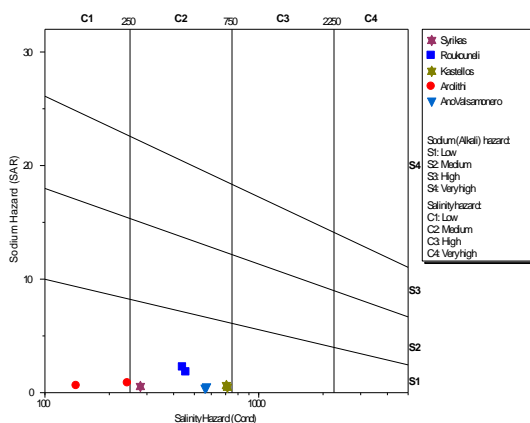
5.1.4 Πηγές που εκρέουν εντός σχηματισμών της Φυλλιτικής- Χαλαζιτικής σειράς



Εικόνα 5-10 Διάγραμμα *piper* για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της φυλλιτικής χαλαζιτικής σειράς



Εικόνα 5-11 Διάγραμμα Schoeller για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της φυλλιτικής χαλαζιτικής σειράς



Εικόνα 5-12 Διάγραμμα SAR για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός της φυλλιτικής χαλαζιτικής σειράς

Αποτελέσματα για τη πηγή Ρουκουνέλι

Για την πηγή Ρουκουνέλι οι τιμές που μετρήθηκαν στο πεδίο για το TDS είναι 210 mg/L, για το pH είναι 7, η θερμοκρασία της μετρήθηκε 17,4°C και η ηλεκτρική αγωγιμότητα 440 mS/cm. Ακόμη στο εργαστήριο μετρήθηκαν για την συγκεκριμένη πηγή το Eh και η αλκαλικότητα με μετρήσεις για τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντίστοιχα 119,1mV και 0,00061. Τα ύδατα της πηγής χαρακτηρίζονται ως Na-Mg-Ca-Cl με βάση τα δεδομένα της χημικής ανάλυσης. (βλ. εικόνα 5.10)

Κατά την δευτερη δειγματοληψία, οι τιμές που μετρήθηκαν στο ύπαιθρο, για την πηγή Ρουκουνέλι τα στοιχεία που προέκυψαν είναι τα εξής: θερμοκρασία 20,5 °C, pH 7, ηλεκτρική αγωγιμότητα 480 mS/cm ενώ το TDS μετρήθηκε 230 mg/L. Από το διάγραμμα Schoeller παρατηρείται διαφορά στις συγκεντρώσεις μαγνησίου των δύο δειγμάτων. (βλ. εικόνα 5.11)

Επίσης από το διάγραμμα SAR η πηγή ταξινομείται ως χαμηλού κινδύνου ως προς τη περιεκτικότητα σε νάτριο και μετρίου κινδύνου ως προς την αλατότητα. (βλ. εικόνα 5.12)

Αποτελέσματα για τη πηγή Αρολίθι

Για την πηγή Αρολίθι οι τιμές που μετρήθηκαν στο πεδίο για το TDS είναι 60 mg/L, για το pH είναι 7, η θερμοκρασία της μετρήθηκε 14,3 °C και η ηλεκτρική αγωγιμότητα 140 mS/cm. Ακόμη στο εργαστήριο μετρήθηκαν για την συγκεκριμένη πηγή το Eh και η σκληρότητα με μετρήσεις για τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντίστοιχα 168 mV και 0,00034. Επίσης με χρήση του λογισμικού Aquachem και των δεδομένων υδροχημείας, κατασκευάστηκε το διάγραμμα Piper από το οποίο εξήχθη το συμπέρασμα ότι, το νερό της πηγής χαρακτηρίζεται ως Mg-Na-Ca-Cl-HCO₃. (βλ. εικόνα 5.10)

Κατά την δευτερη δειγματοληψία, οι τιμές που μετρήθηκαν στο ύπαιθρο, για την πηγή Αρολίθι τα στοιχεία που προέκυψαν είναι τα εξής: θερμοκρασία 17,6 °C, pH 6, ηλεκτρική αγωγιμότητα 210 mS/cm ενώ το TDS μετρήθηκε 100 mg/L.

Ακόμα από το διάγραμμα Schoeller παρατηρείται απόκλιση στις τιμές του SO₄. (βλ. εικόνα 5.11)

Επίσης από το διάγραμμα SAR η πηγή ταξινομείται ως χαμηλού κινδύνου ως προς τη περιεκτικότητα σε νάτριο και χαμηλού κινδύνου ως προς την αλατότητα. (βλ. εικόνα 5.12)

Αποτελέσματα για τη πηγή Κάστελλος

Για την πηγή Κάστελλος οι τιμές που μετρήθηκαν στο πεδίο για το TDS είναι 330 mg/L, για το pH είναι 6,8, η θερμοκρασία της μετρήθηκε 16,1 °C και η ηλεκτρική αγωγιμότητα 710 mS/cm. Ακόμη στο εργαστήριο μετρήθηκαν για την πηγή Κάστελλος, το Eh και η σκληρότητα με μετρήσεις για τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντίστοιχα 211 mV και 0,0036. Το νερό της πηγής χαρακτηρίζεται ως Ca-HCO₃-Cl (βλ. εικόνα 5.10).

Κατά την δευτερη δειγματοληψία, οι τιμές που μετρήθηκαν στο ύπαιθρο, για την πηγή Κάστελλος τα στοιχεία που προέκυψαν είναι τα εξής: θερμοκρασία 18,6 °C, pH 7, ηλεκτρική αγωγιμότητα 710 mS/cm ενώ το TDS μετρήθηκε 340 mg/L. Επίσης από το διάγραμμα SAR η

πηγή ταξινομείται ως χαμηλού κινδύνου ως προς τη περιεκτικότητα σε νάτριο και μετρίου κινδύνου ως προς την υφαλμύριση.

Αποτελέσματα για τη πηγή Άνω Βαλσαμόνερο

Για την πηγή Άνω Βαλσαμόνερο οι τιμές που μετρήθηκαν στο πεδίο για το TDS είναι 260 mg/L, για το pH είναι 7,5, η θερμοκρασία της μετρήθηκε 15,6 °C και η ηλεκτρική αγωγιμότητα 540 mS/cm. Ακόμη στο εργαστήριο μετρήθηκαν για την συγκεκριμένη πηγή το Eh και η σκληρότητα με μετρήσεις για τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντίστοιχα 187 mV και 0,0033. Το νερό της πηγής χαρακτηρίζεται ως Ca-Mg-HCO₃-Cl (βλ. εικόνα 5.10).

Κατά την δευτερη δειγματοληψία, οι τιμές που μετρήθηκαν στο ύπαιθρο, για την πηγή Άνω Βαλσαμόνερο τα στοιχεία που προέκυψαν είναι τα εξής: θερμοκρασία 21,8 °C, pH 7,5, ηλεκτρική αγωγιμότητα 580 mS/cm ενώ το TDS μετρήθηκε 280 mg/L.

Σε συνέχεια της λήψης των παραμέτρων υπαίθρου και των χημικών αναλύσεων, πραγματοποιήθηκε ανάλυση των δεδομένων με χρήση του λογισμικού Aquachem.

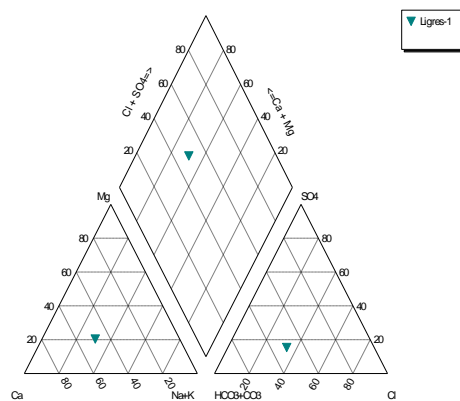
Επίσης από το διάγραμμα SAR η πηγή ταξινομείται ως χαμηλού κινδύνου ως προς τη περιεκτικότητα σε νάτριο και μετρίου κινδύνου ως προς την αλατότητα. (βλ. εικόνα 5.12)

Αποτελέσματα για τη πηγή Σύρικα

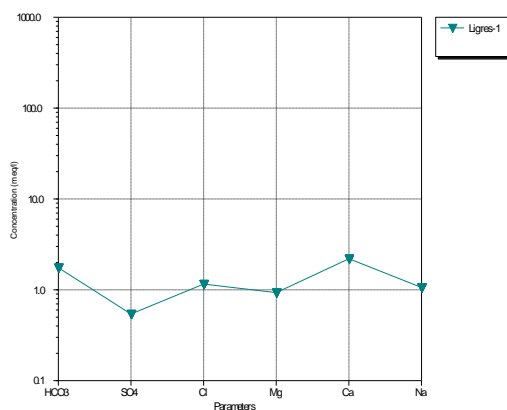
Για την πηγή Σύρικα οι τιμές που μετρήθηκαν στο πεδίο για το TDS είναι 100 mg/L, για το pH είναι 6,7, η θερμοκρασία της μετρήθηκε 12,4 °C και η ηλεκτρική αγωγιμότητα 200 mS/cm. Ακόμη στο εργαστήριο μετρήθηκαν για την συγκεκριμένη πηγή το Eh και η αλκαλικότητα με μετρήσεις για τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντίστοιχα 178 mV και 0,00086. Το νερό της πηγής χαρακτηρίζεται ως Ca-Na-Mg-HCO₃-Cl-SO₄(βλ. εικόνα 5.10).

Επίσης από το διάγραμμα SAR η πηγή ταξινομείται ως χαμηλού κινδύνου ως προς τη περιεκτικότητα σε νάτριο και μετρίου κινδύνου ως προς την αλατότητα. (βλ. εικόνα 5.12)

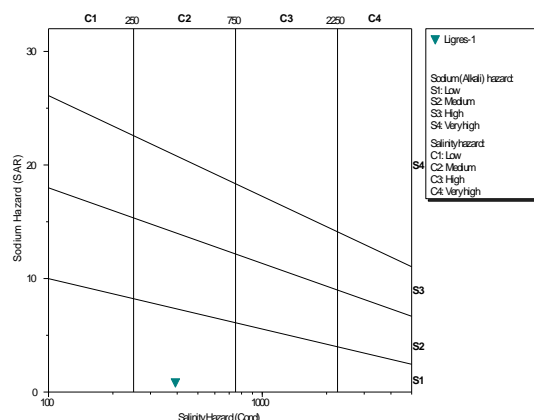
5.2 Πηγή που εκρέει εντός μετά-αλπικών σχηματισμών



Εικόνα 5-13 Διάγραμμα piper για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός μετά-αλπικών σχηματισμών



Εικόνα 5-14 Διάγραμμα Schoeller για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός μετά-αλπικών σχηματισμών



Εικόνα 5-15 Διάγραμμα SAR για τα δείγματα από της πηγές που εκρέουν εντός μετά-αλπικών σχηματισμών

Αποτελέσματα για τη πηγή Λίγγρες

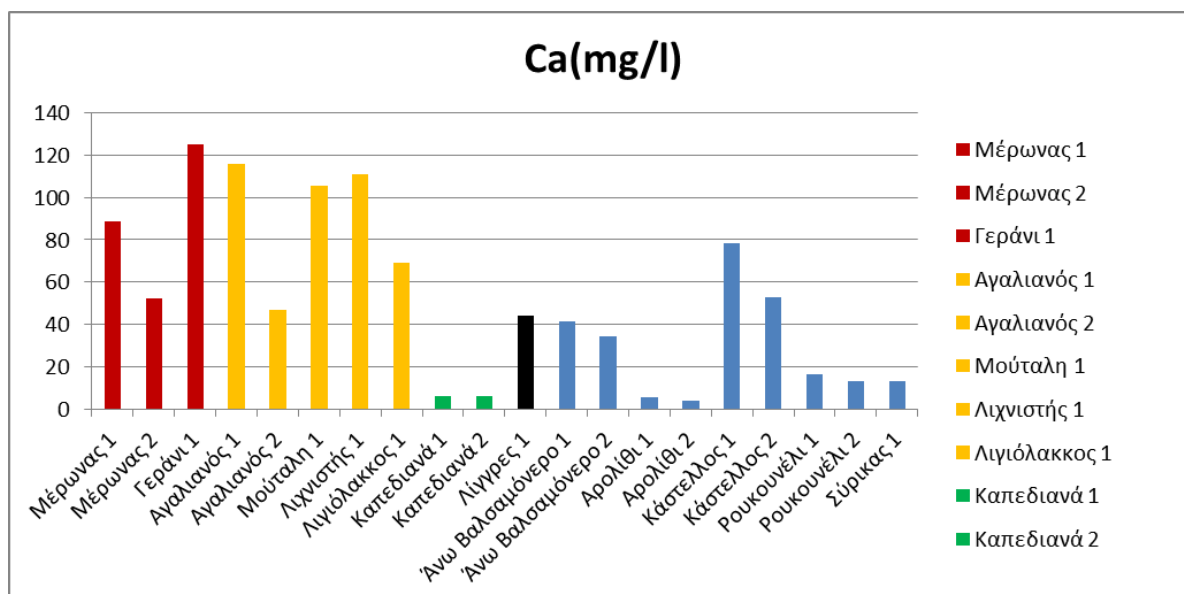
Για την πηγή Λίγγρες οι τιμές που μετρήθηκαν στο πεδίο για το TDS είναι 140 mg/L, για το pH είναι 7,4, η θερμοκρασία της μετρήθηκε 18,2°C και η ηλεκτρική αγωγιμότητα 390 mS/cm. Ακόμη στο εργαστήριο μετρήθηκαν για την συγκεκριμένη πηγή το Eh και η αλκαλικότητα με μετρήσεις για τα δύο αυτά μεγέθη είναι αντίστοιχα 265mV και 0,0018. Το νερό της πηγής χαρακτηρίζεται ως Ca-Na-Mg-HCO₃-Cl(βλ. εικόνα 5.13).Επίσης από το διάγραμμα SAR η πηγή ταξινομείται ως χαμηλού κινδύνου ως προς τη περιεκτικότητα σε νάτριο και μετρίου κινδύνου ως προς την υφαλμύριση. (βλ. εικόνα 5.15)

5.3 Συγκριτικά Ραβδογράμματα

Στα ραβδογράμματα που παρατίθενται σε αυτή την ενότητα τα στοιχεία έχουν ομαδοποιηθεί με βάση το γεωλογικό σχηματισμό στον οποίο παρατηρούνται οι εκροές της κάθε πηγής. Από αριστερά προς τα δεξιά απεικονίζονται οι πηγές που εκρέουν στη ζώνη Τρίπολης(κοκκινο χρώμα), Πίνδου(πορτοκαλί χρώμα), πλακώδεις ασβεστόλιθοι(πράσινο χρώμα), μετά-αλπικά(μαύρο χρώμα) και τέλος οι πηγές που εκρέουν εντός της φυλλιτικής χαλαζιτικής σειράς(μπλέ χρώμα).

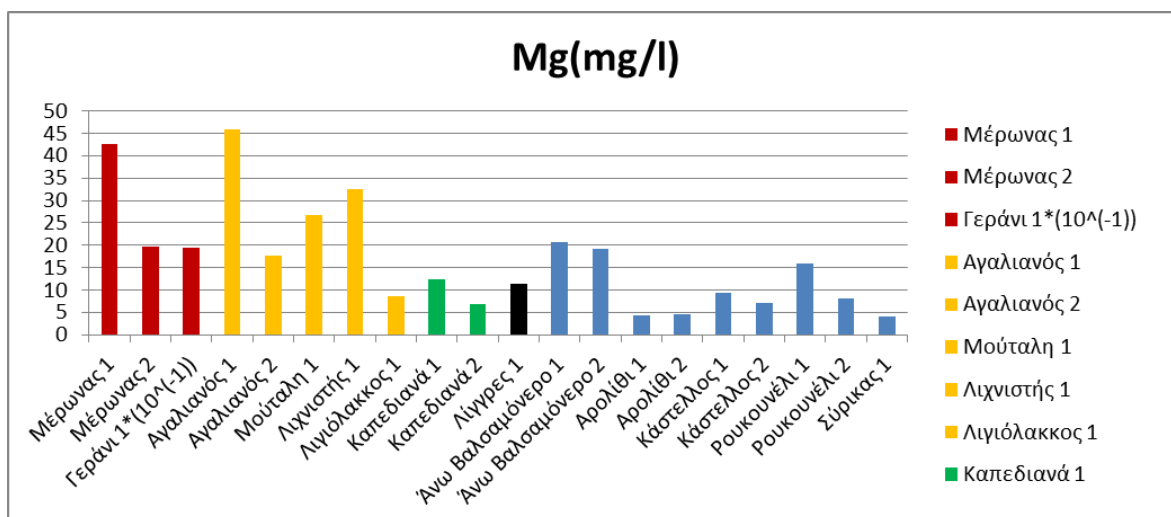
5.3.1 Συγκριτικά ραβδογράμματα κύριων στοιχείων

Για την ευκολότερη κατανόηση αλλά και την πληρέστερη απεικόνιση των αποτελεσμάτων κατασκευαστηκαν ραβδογραμματα με τις συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων.



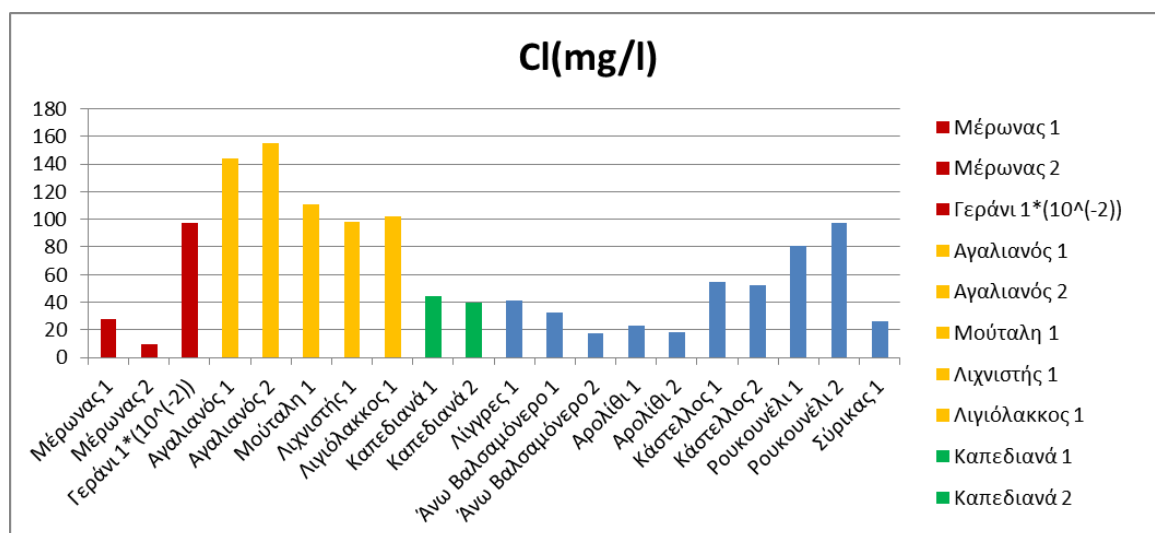
Εικόνα 5-16 Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων ασβεστίου.

Σημαντικές συγκεντρώσεις ασβεστίου εμφανίζονται στις πηγές Αγαλιανός, Μούταλη, Λιχνιστής, Λιγιάλακκος, Γεράνι και Μέρωνας. Επίσης από το παραπάνω ραβδόγραμμα παρατηρείται πως η συνολική ποσότητα που εκρέει στη ζώνη της Τρίπολης είναι πολύ μεγαλύτερη από όλες τις άλλες πηγές (σύμφωνα με την ομαδοποίηση που προτάθηκε παραπάνω) και άρα μας δείχνει πως υπάρχει «πλούσια» συγκέντρωση ασβεστίου όπως και στην περίπτωση των πηγών που εκρέουν στην Πίνδο με μεγαλύτερο αριθμό πηγών όμως. . Αντιθέτως πηγές όπως οι Αρολίθι και Συρίκας μας δείχνουν μια ελάχιστη ποσότητα ασβεστίου Ca. Αξίζει επίσης να τονιστεί πως η περιεκτικότητα του οργανισμού ενός μέσου ανθρώπου σε ασβέστιο είναι της τάξης των 1200 mg/L και σε ποσοστό 1,9% ως προς την σύσταση του στα δομικά στοιχεία, κάτι το οποίο εξηγεί την τόσο μεγάλη ποσότητα ασβεστίου στις πηγές σε σύγκριση με τις ποσότητες των παρακάτω χημικών ουσιών. (Λούκας, 2005)



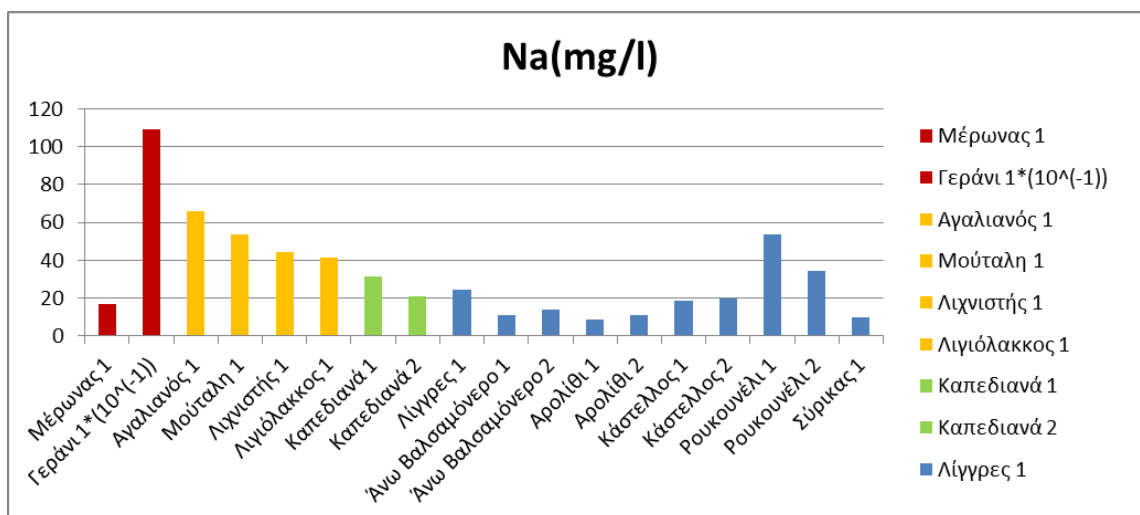
Εικόνα 5-17 Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων μαγνησίου.

Η υψηλότερη περιεκτικότητα σε μαγνήσιο εμφανίζεται στα δείγματα από τις πηγές Αγαλιανός, Μέρωνας, Γεράνι, Μούταλη και Λιχνιστής. Στο συγκεκριμένο ραβδόγραμμα είναι φανερό πως η περίπτωση της ζώνης της Πίνδου εμφανίζει την μεγαλύτερη ποσότητα σε μαγνήσιο με μοναδική εξαίρεση του λιγνιόλακκου. Το μαγνήσιο έχει υπολογιστεί ότι ανέρχεται σε περίπου 40 γραμμάρια στον ανθρώπινο οργανισμό (εξού και το ραβδόγραμμα δεν διαθέτει πολύ υψηλότερες τιμές) και καταλαμβάνει ελάχιστο η και καθόλου ποσοστό ως δομικό στοιχείο στον άνθρωπο (Γεωργίου Λούκα, 2005)



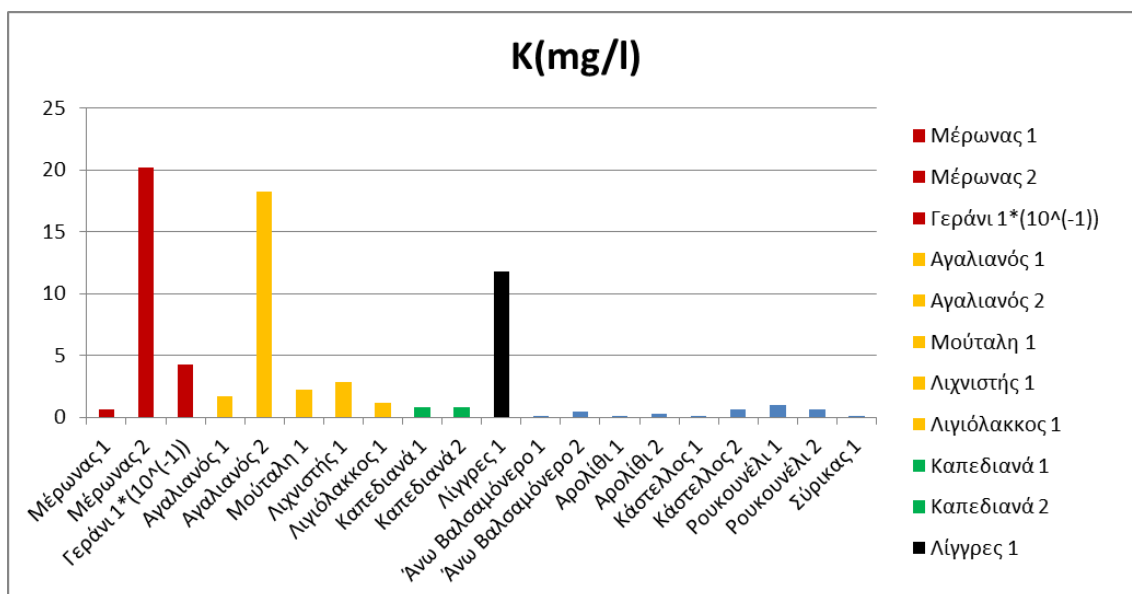
Εικόνα 5-18 Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων χλωρίου

Η μεγαλύτερη συγκέντρωση χλωρίου παρατηρείται στην πηγή Αγαλιανού. Πέραν αυτής,σημαντικές συγκεντρώσεις βρίσκονται στα ύδατα των πηγών Γερανίου, Ρουκουνέλι, Λιγιάλακκος, Μούταλη και Λιχνιστής



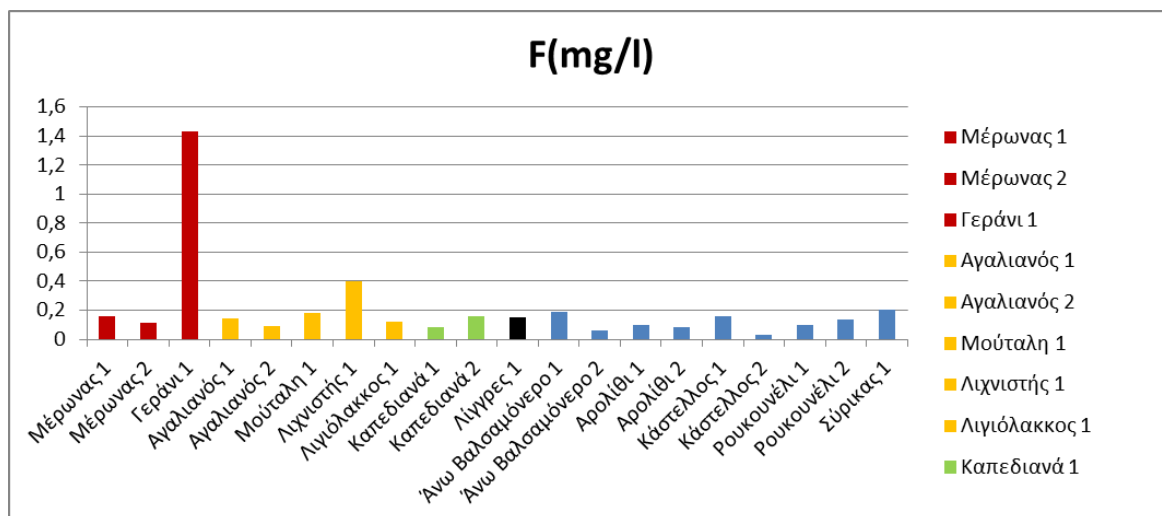
Εικόνα 5-19 Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων νατρίου.

Πέρα από την πηγή Γεράνι που είναι εμφανώς υφάλμυρη, σημαντική περιεκτικότητα σε νάτριο βρίσκονται στις πηγές Ρουκουνέλι, Αγαλιανός, Μούταλη, Λιχνιστής και Λιγιάλακκος. Αντιθέτως πολύ μικρές συγκεντρώσεις νατρίου βρίσκονται στις πηγές Αρολίθι και Βαλασμόνερο. Σύμφωνα με επιστημονικές μελέτες το νάτριο βρίσκεται στον ανθρώπινο οργανισμό ως τρίτο σε περιεκτικότητα (70 mg/l) και σε ποσοστό 0.11% κάτι το οποίο ταυτίζεται με την γενικότερη εικόνα του παραπάνω ραβδογράμματος.



Εικόνα 5-20 Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων καλίου.

Συγκεντρώσεις σε κάλιο φαίνονται στις πηγές Μέρωνας, Αγαλιανός και Λίγγρες. Στις πηγές Αγαλιανός και Μέρωνας οι συγκεντρώσεις καλίου εμφανίζονται μόνο στα αποτελέσματα της δευτερης δειγματοληψίας.



Εικόνα 5-21 Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων φθορίου.

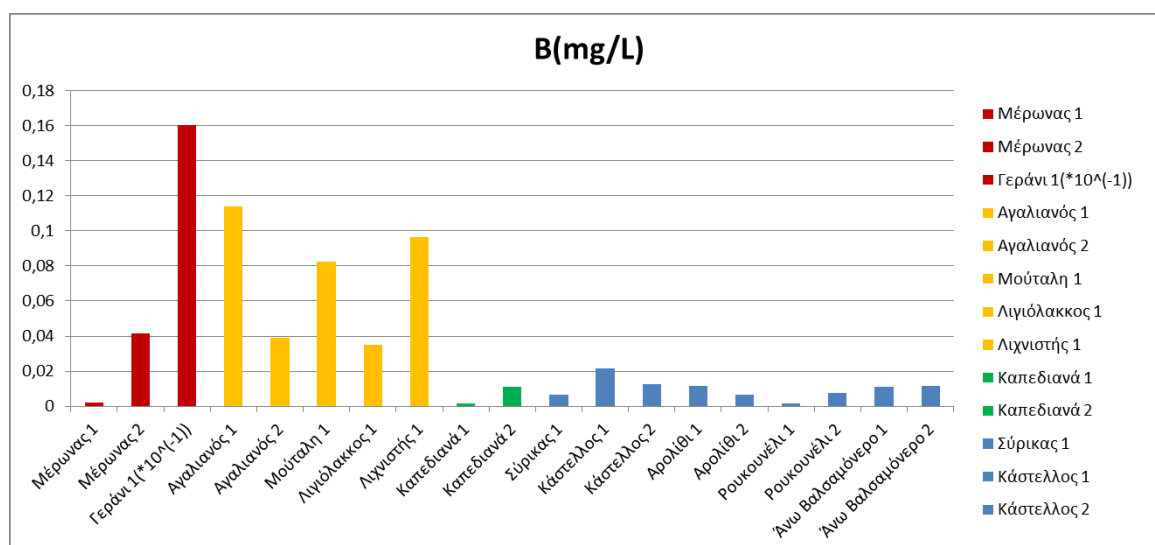
Εκτός από την πηγή Γεράνι η σημαντικότερη περιεκτικότητα σε φθόριο φαίνεται στις πηγές Λιγνολακκος, Μούταλη και Λιχνιστής.

5.3.2 Συγκριτικά διαγράμματα ιχνοστοιχείων

Για την κατανόηση του χημισμού των δειγμάτων κατασκευάστηκαν ραβδογράμματα με τη συγκέντρωση του κάθε δείγματος σε ιχνοστοιχεία.

Βόριο

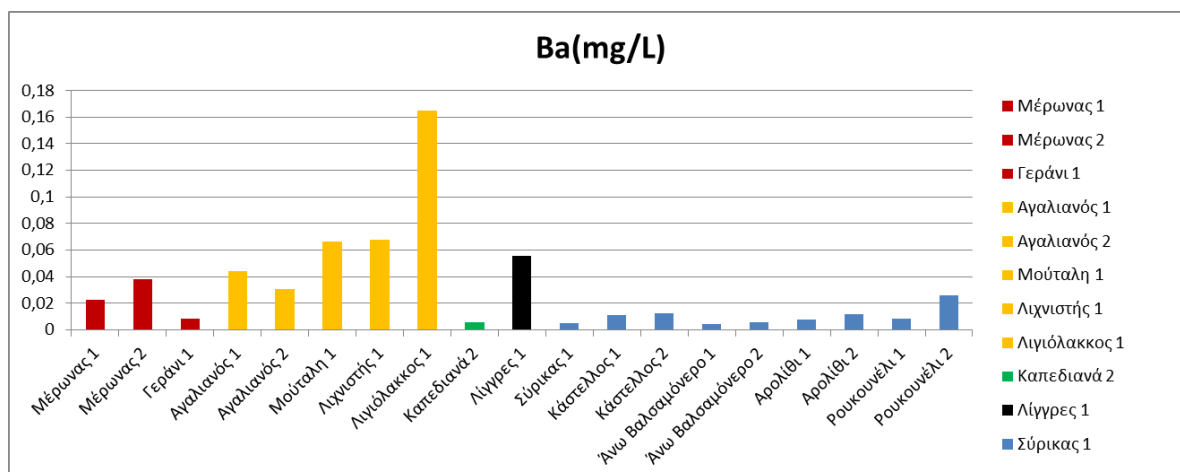
Το ραβδόγραμμα που ακολουθεί δείχνει ότι το δείγμα Γεράνι παρουσιάζει υψηλή συγκέντρωση σε βόριο, ενώ μεγάλες συγκεντρώσεις σε βόριο εμφανίζουν τα δείγματα Αγαλιανός, Λιχνιστής και Μούταλη. Τα υπόλοιπα δείγματα παρουσιάζουν ελάχιστη συγκέντρωση στο ζητούμενο στοιχείο. Ωστόσο το σημαντικότερο στοιχείο που πρέπει να τονιστεί είναι πως όλες οι πηγές περιέχουν ικανοποιητικές ποσότητες βορίου καθώς δεν υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια που υπάρχουν στο νερό (που για την Ευρώπη και την Ελλάδα είναι της τάξης του 0.6mg/L).



Εικόνα 5-22. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων βορίου.

Βάριο

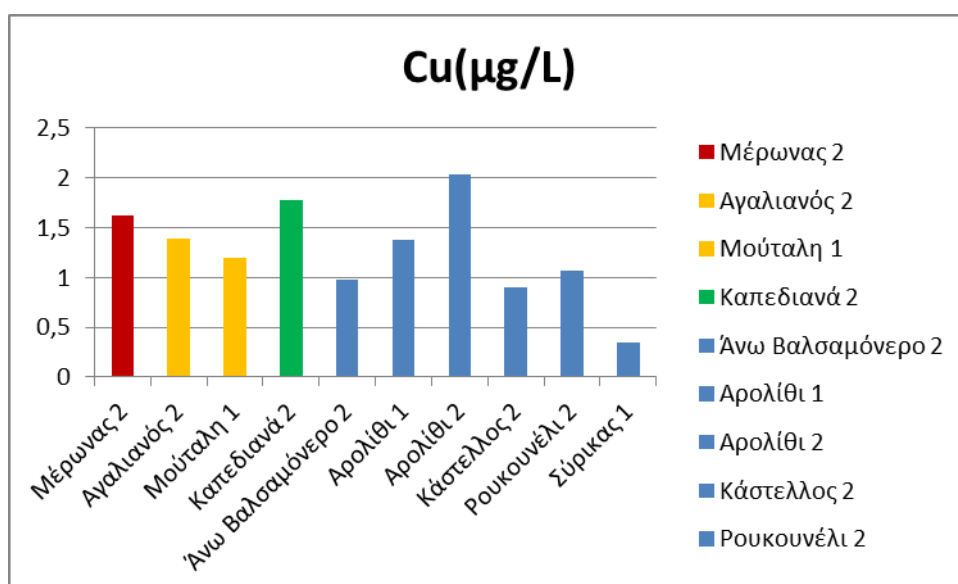
Τα δείγματα Αγαλιανός, Λιχνιστής, Λιγιάλακκος, Λίγγρες, Μέρωνας και Μούταλη έχουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σε βάριο. Στα υπόλοιπα δείγματα οι ποσότητες του βαρίου ήταν μικρότερες του ορίου ανίχνευσης. Αυτές οι ποσότητες μας δείχνουν πως ακόμα και σε ακούσια κατάποση κατά την ιαματική διαδικασία δεν υπάρχουν σοβαροί κίνδυνοι καθώς βρίσκονται αρκετά χαμηλά από το ανώτατο όριο (0.7 mg/L) όπως έχει τονιστεί στο κεφάλαιο 3.



Εικόνα 5-23. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων βαρίου.

Χαλκός

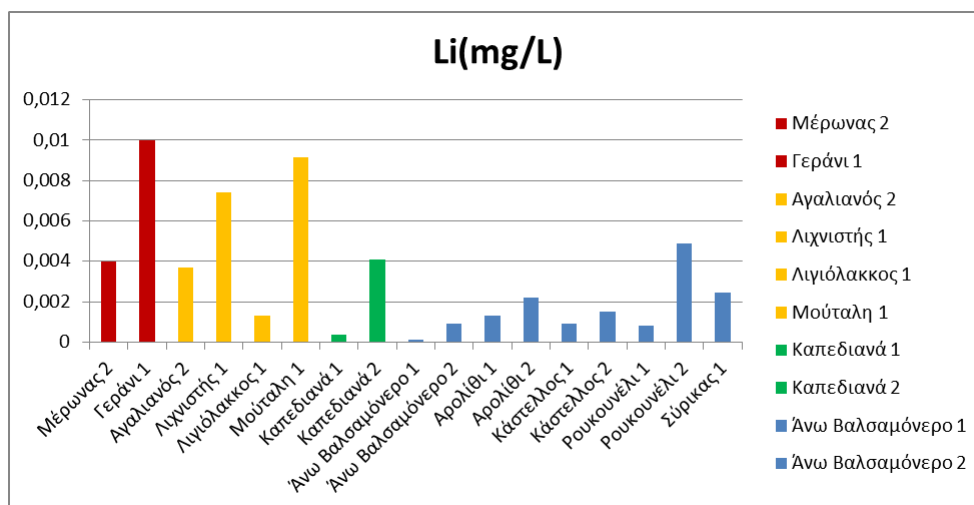
Συγκεντρώσεις χαλκού βρέθηκαν μόνο στα δείγματα Αρολίθι, Μούταλη και Σύρικας, με το δείγμα από τη πηγή Αρολίθι να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση. Στα υπόλοιπα δείγματα οι τιμές του χαλκού ήταν μικρότερες του ορίου ανίχνευσης. Η πιο «επικίνδυνη» πηγή θα μπορούσε να θεωρηθεί πως είναι η Αρολίθι (και συγκεκριμένα με την δεύτερη μέτρηση) καθώς τείνει στα 2μg/L, κάτι που αποτελεί και όριο στο πόσιμο νερό για τα Ελληνικά Δεδομένα. Η πηγή Καπεδιανά παρόλο που και αυτή εμφανίζει υψηλή περιεκτικότητα σε χαλκό δεν εγκυμονεί υψηλό κίνδυνο καθότι εμφανίστηκε μόλις στην δεύτερη μέτρηση.



Εικόνα 5-24. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων χαλκού.

Λίθιο

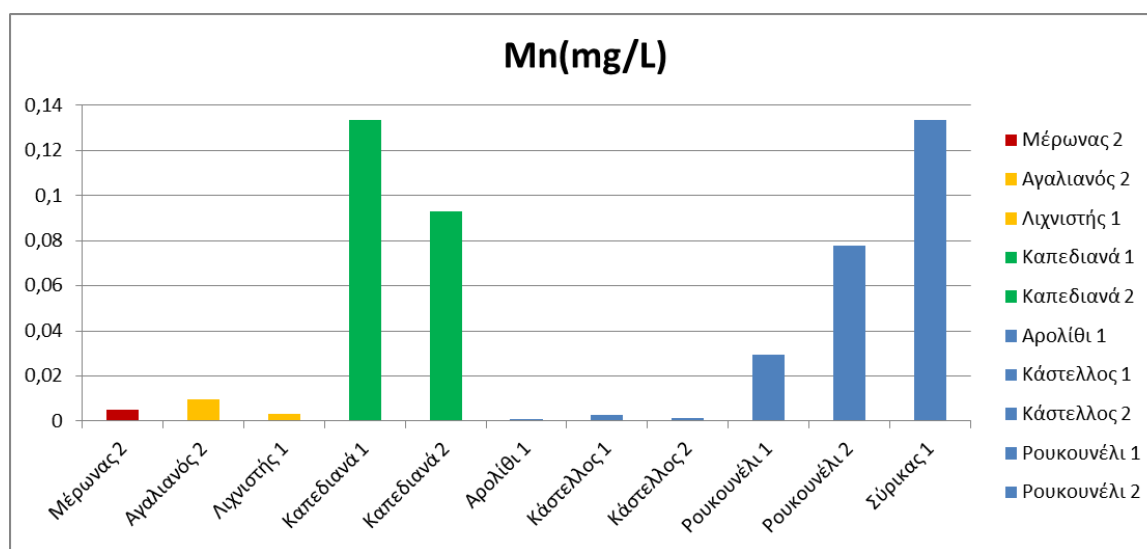
Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις λιθίου βρέθηκαν στις πηγές Γεράνι, Λιχνιστής, Μούταλη και Σύρικας. Τα υπόλοιπα δείγματα παρουσιάζουν μεν κάποιες συγκεντρώσεις πλην όμως χαμηλότερες.



Εικόνα 5-25. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων λιθίου.

Μαγγάνιο

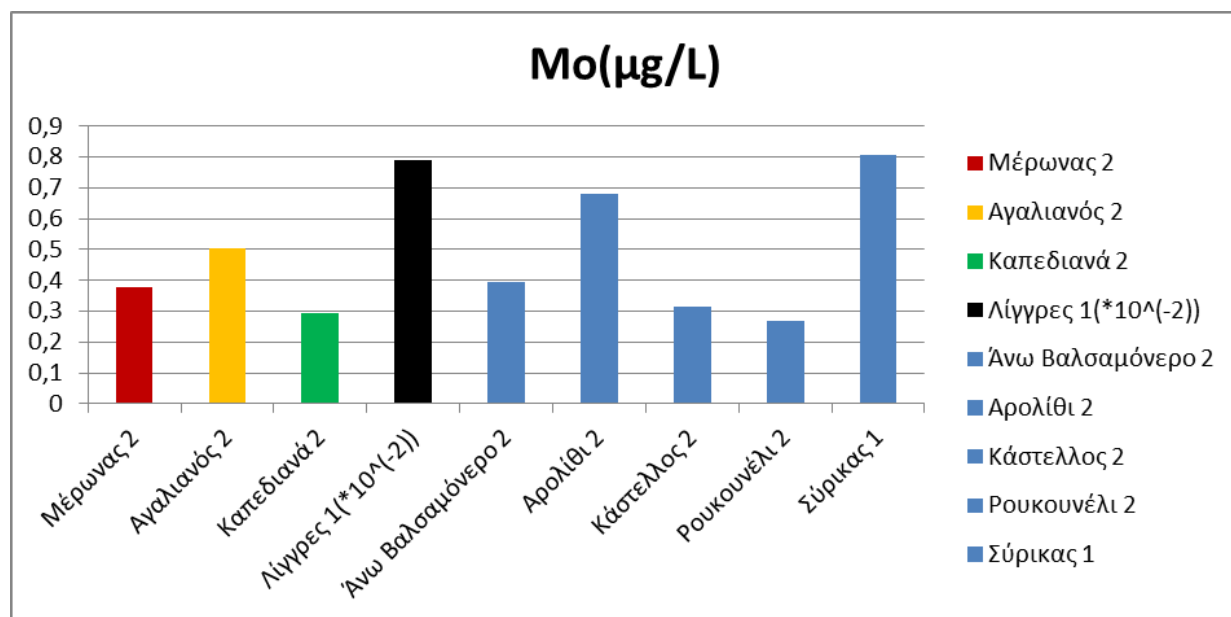
Τα δείγματα Καπεδιανά, Ρουκουνέλι και Σύρικας παρουσιάζουν αξιοσημείωτες συγκεντρώσεις σε μαγγάνιο ενώ στα δείγματα Αρολίθι, Κάστελλος και Λιχνιστής υπάρχει μαγγάνιο σε πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Από το παρακάτω ραβδόγραμμα εύκολα γίνεται αντιληπτό πως η πηγή Καπεδιανά έχει στατιστικά την περισσότερη περιεκτικότητα σε Μαγγάνιο καθώς στις δύο μετρήσεις εμφανίζει πολύ υψηλές τιμές.



Εικόνα 5-26. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων μαγγανίου.

Μολυβδαίνιο

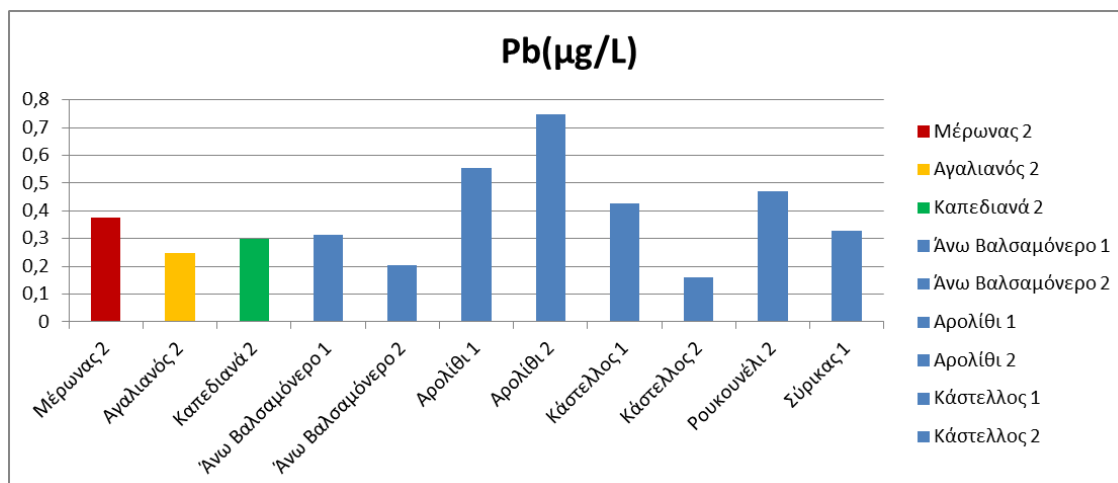
Μολυβδαίνιο εντοπίστηκε στις πηγές Λίγγρες και Σύρικας, με το δείγμα Λίγγρες να παρουσιάζει σαφώς υψηλότερη συγκέντρωση. Στα υπόλοιπα δείγματα η συγκέντρωση του στοιχείου είναι χαμηλότερες από το όριο ανίχνευσης του οργάνου.



Εικόνα 5-27. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων μολυβδαινίου.

Μόλυβδος

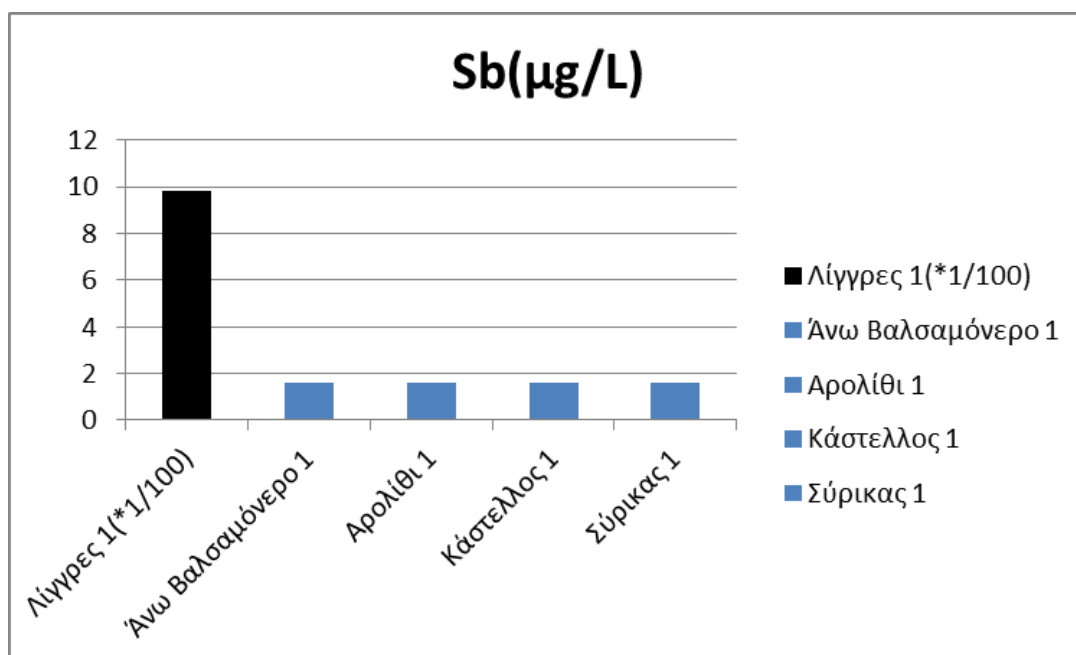
Συγκεντρώσεις μολύβδου παρουσιάζονται στα δείγματα από τις πηγές Άνω Βαλσαμόνερο, Αρολίθι, Κάστελλος και Σύρικας. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση φαίνεται στο δείγμα Αρολίθι. Στα υπόλοιπα δείγματα οι συγκεντρώσεις ήταν μικρότερες του ορίου ανίχνευσης.



Εικόνα 5-28. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων μολύβδου.

Αντιμόνιο

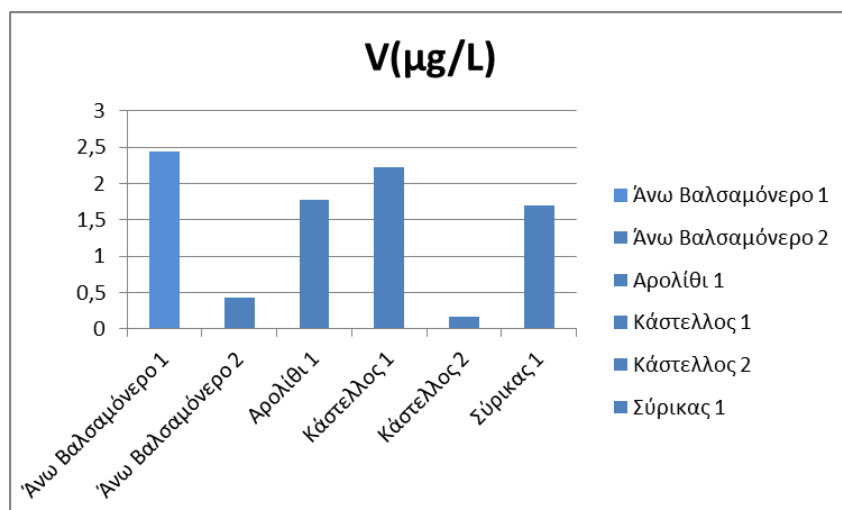
Πλην της πηγής Λίγγρες που παρουσιάζει αξιοσημείωτη συγκέντρωση σε αντιμόνιο, τα δείγματα Άνω Βαλσαμόνερο, Αρολίθι, Κάστελλος και Σύρικας έχουν πολύ μικρές συγκεντρώσεις στο εν λόγω στοιχείο. Τα υπόλοιπα δείγματα δεν παρουσίασαν συγκέντρωση στο ζητούμενο στοιχείο. Η πηγή Λίγγρες βρίσκεται αρκετά εκτός των προδιαγραφόμενων ορίων που είναι τα $\mu\text{g/L}$ και άρα θα πρέπει είτε να αποφεύγεται η συστηματική επαφή μαζί της είτε να χρησιμοποιείται αλλά με ιδιαίτερη προσοχή.



Εικόνα 5-29. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων αντιμονίου.

Βανάδιο

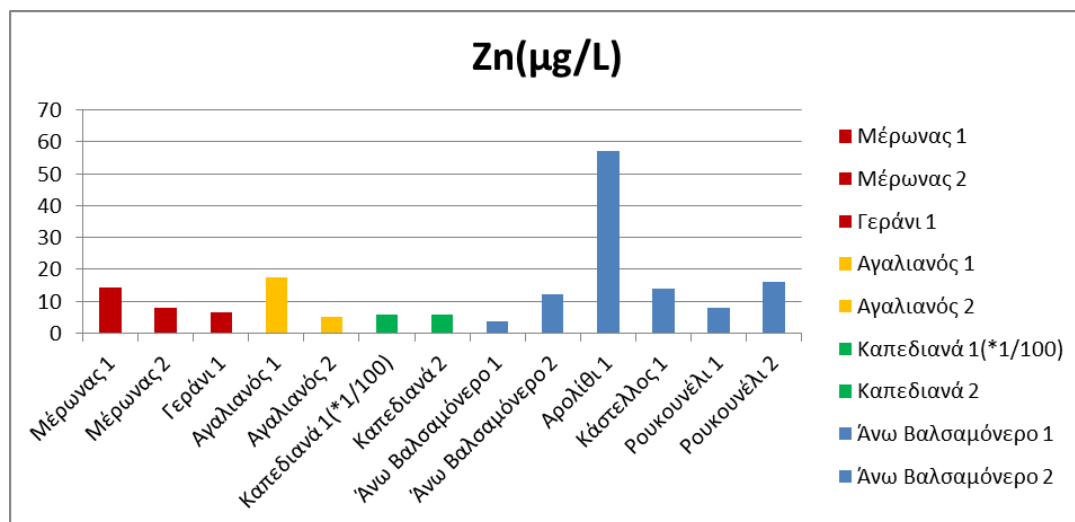
Συγκεντρώσεις βαναδίου παρουσιάζουν οι πηγές Άνω Βαλσαμόνερο, Αρολίθι, Κάστελλος και Σύρικας. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση φαίνεται να είναι στο δείγμα από τη πηγή Άνω Βαλσαμόνερο. Στα υπόλοιπα δείγματα δεν φαίνονται συγκεντρώσεις βαναδίου.



Εικόνα 5-30. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων βαναδίου.

Ψευδάργυρος

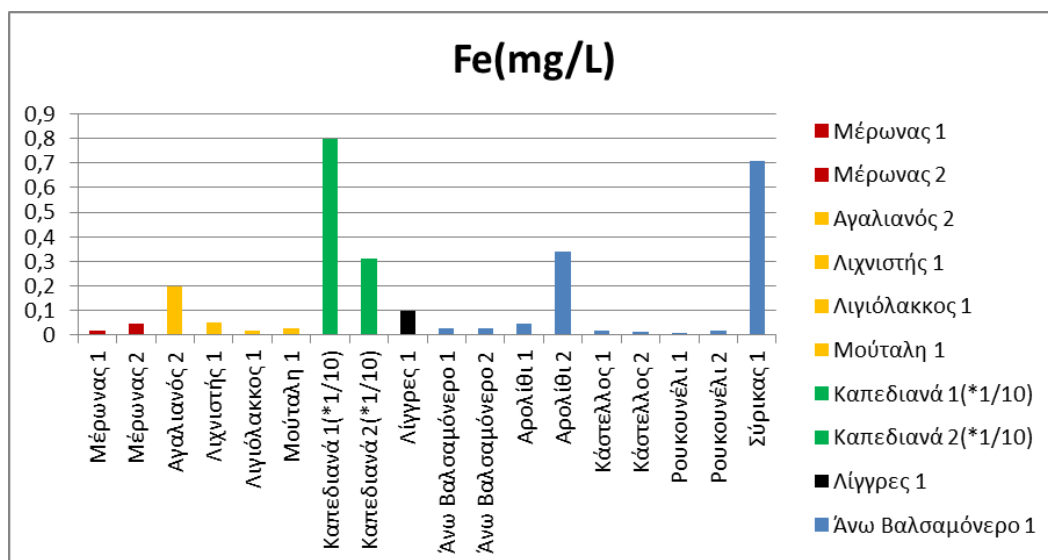
Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου στα δείγματα που μελετήθηκαν. Συγκεντρώσεις ψευδαργύρου υπάρχουν στις πηγές Άνω Βαλσαμόνερο, Αρολίθι, Καπεδιανά, Κάστελλος, Μούταλη και Σύρικας. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρουσιάζεται στο δείγμα Αρολίθι. Τα δείγματα που δεν φαίνονται στο διάγραμμα είχαν συγκέντρωση μικρότερη του ορίου ανίχνευσης της μεθόδου.



Εικόνα 5-31. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων ψευδαργύρου.

Σίδηρος

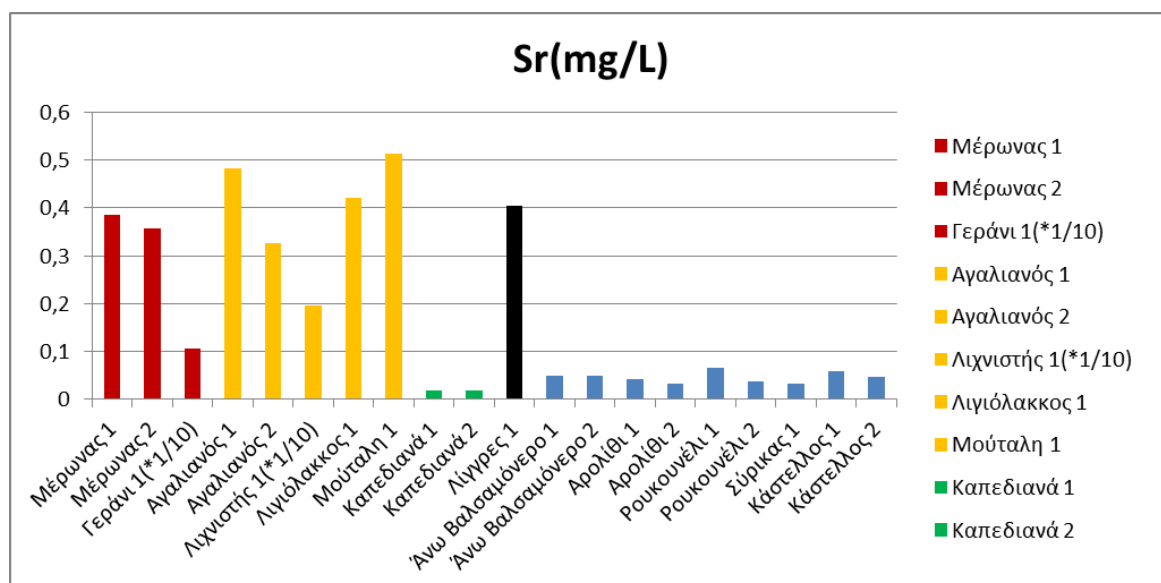
Οι δύο πηγές που απέδωσαν σημαντική περιεκτικότητα σε σίδηρο είναι τα Καπεδιανά και ο Σύρικας. Πολύ μικρές συγκεντρώσεις βρέθηκαν σε άλλες 9 πηγές ενώ δύο πηγές είχαν συγκέντρωση μικρότερη του ορίου ανίχνευσης.



Εικόνα 5-32. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων σιδήρου.

Στρόντιο

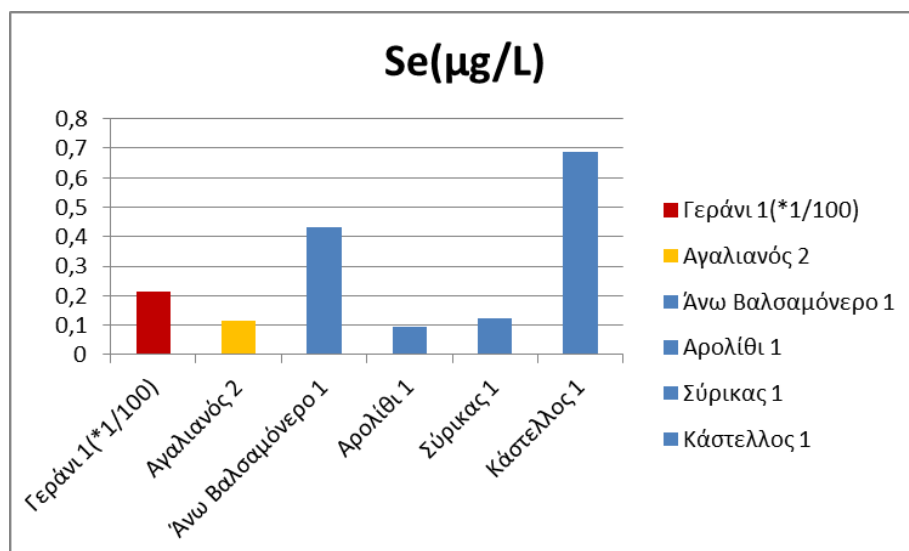
Η μεγαλύτερη συγκέντρωση στρόντιου εμφανίζεται στη πηγή Λιχνιστής. Η πηγές Γεράνι, Αγαλιανός Λιγιόλακκος, Λίγγρες, Μέρωνας και Μούταλη εμφανίζουν επίσης αξιοσημείωτες συγκεντρώσεις.



Εικόνα 5-33. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων στρόντιο.

Σελήνιο

Σημαντική συγκέντρωση σεληνίου παρουσιάζεται στην πηγή Γεράνι. Μικρότερες συγκεντρώσεις φαίνονται στα δείγματα Αρολίθι, Άνω Βαλσαμόνερο, Κάστελλος και Σύρικα. Τα δείγματα που δεν φαίνονται στο διάγραμμα είχαν συγκέντρωση μικρότερη του ορίου ανίχνευσης της μεθόδου.



Εικόνα 5-34. Ραβδόγραμμα συγκεντρώσεων σεληνίου.

5.4 Μετρήσεις Ραδονίου

Κατέστη δυνατή η μέτρηση ραδονίου σε 9 δείγματα νερού από πηγές του νομού Ρεθύμνης.

Η μεγαλύτερη τιμή μετρήθηκε σε δείγμα από την πηγή Κάστελλος, τιμή που αντιστοιχεί σε 17.213 Bq/m³.

Πίνακας 5-3 Μετρήσεις ραδονίου για πηγές του νομού Ρεθύμνου κατά τη πρώτη δειγματοληψία

| Όνομα Πηγής | Rn(Bq/m3) | Th(Bq/m3) |
|--------------------|-----------|-----------|
| Καπεδιανά | 459 | DL |
| Ρουκουνέλι | 186 | DL |
| Λίγγρες | 2427 | 63 |
| Μούταλη | 125 | 35 |
| Λιχνιστής | 385 | 86 |
| Σύρικα | 324 | 64 |
| Αρολίθι | 641 | DL |
| Άνω Βαλσαμόνερο | 6832 | DL |
| Κάστελλος | 17213 | DL |

5.5 Αποτελέσματα μετρήσεων παροχών

Σε μεταγενέστερες επισκέψεις στις τοποθεσίες των πηγών μετρήθηκαν παροχές, με σκοπό την κατασκευή υδρογραφημάτων. Μετρήσεις παροχών έγιναν στις πηγές Αγαλιανός, Μέρωνας, Καπεδιανά, Άνω Βαλσαμόνερο, Αρολίθι και Κάστελλος. Ακόμα στον πίνακα που δίδεται παρακάτω παρουσιάζονται και οι παροχές που απέδωσαν οι πηγές σε m³/h.

Πίνακας 5-4 Μετρήσεις παροχών σε m³/h.

| <div>m³/ώρα</div> <div>Πηγή</div> | Αρολίθι | Άνω Βαλσαμόνερο | Κάστελλος | Αγαλιανός | Μέρωνας | Καπεδιανά |
|--|---------|--------------------|-----------|-----------|---------|-----------|
| Απρίλιος 2018 | 0,707 | 1,528 | 0,450 | 1,014 | 1,482 | 0,426 |
| Μάιος 2018 | 0,508 | 1,169 | 0,441 | 0,915 | 1,088 | 0,374 |
| Ιούνιος 2018 | 0,393 | 0,844 | 0,360 | 0,241 | 0,747 | 0,373 |
| Ιούλιος 2018 | 0,290 | 0,953 | 0,159 | 0,188 | 0,364 | 0,387 |

Κεφάλαιο 6: Συζήτηση-Συμπεράσματα

Η συγκέντρωση σε ασβέστιο κυμάνθηκε από 144 mg/l έως 5,78 mg/l, η συγκέντρωση σε μαγνήσιο κυμάνθηκε από 194,82mg/l έως 4,15 mg/l, η συγκέντρωση σε νάτριο κυμάνθηκε από 1094,25mg/l έως 9,55mg/l, η συγκέντρωση σε κάλιο κυμάνθηκε από 42,16 mg/l έως και κάτω από το όριο ανίχνευσης της μεθόδου, η συγκέντρωση σε χλώριο κυμάνθηκε από 9710mg/l έως 17,68 mg/l, η συγκέντρωση σε ανθρακικό κυμάνθηκε από 311,6mg/l έως 20,6mg/l.

Παρατηρείται είναι η συγκέντρωση 20 ppb αργιλίου στην πηγή Αρολίθι, η συγκέντρωση 1,16 ppm βορίου στη πηγή Γεράνι, 3,68 ppb χρώμιο στην πηγή Αγαλιανός, 2,03 ppb χαλκού στην πηγή Αρολίθι και τα 7,98 ppm σιδήρου στα Καπεδιανά. Το νερό με τη μεγαλύτερη σκληρότητα είναι αυτό της πηγής Άνω Βαλσαμόνερο.

Στη πηγή Λίγγρες εμφανίζονται 78 ppb μολυβδαίνιο, 7,9 ppb νικελίου υπάρχουν στην πηγή Καπεδιανά, 21 ppb σελήνιο στα νερά της πηγής Γεράνι, 26,7 ppm πυρίτιο στην πηγή Μουταλη και τα 600 ppb ψευδαργύρου στα νερά της πηγής Καπεδιανά.

Πηγές που εξετάστηκαν από αυτές που ανέφερε ο Λέκκας(1938)

| | |
|--|----------------------------|
| Λιγιάλακκος. Χρησιμοποιούμενη ως καθαρτική | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Λιχνιστής. Χρησιμοποιούμενη ως καθαρτική | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Μέρωνας. Θεωρούμενη ως ιαματική. | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Ρουκουνέλι. Συντελεί στην πέψη. | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Πλατάνι: Σιδηρούχος | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Περιβολάκια: Κοκκίνα νερα με οσμή σιδήρου | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Γλυφάδα: Αλατούχος πηγή της οποίας το νερό χρησιμοποιούταν ως καθαρτικό αφότου θερμανθεί. | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |
| Καπεδιανά, Σιδηρούχος | Εντοπίστηκε και εξετάστηκε |

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής δεν μπορούσαν να εξεταστούν, λόγω της επιστημονικής κατάρτισης των εμπλεκομένων, η ιαματικότητα των πηγών σε κάθε της έκφανση. Από

απόψεως γεωεπιστήμης από τις 8 πηγές που αναφέρονται στο βιβλίο Λέκκας, 1938 και εξετάστηκαν στη παρούσα εργασία μπορεί να εξαχθεί συμπέρασμα μόνο για τις πηγές Καπεδιανά, Περιβολάκια, Πλατάνι και Γλυφάδα.

Γλυφάδα:

Κατά τη χημική ανάλυση των υδάτων της πηγής Γλυφάδα παρουσιάστηκαν μεγάλες συγκεντρώσεις σε χλώριο και νάτριο. Ακόμα στα διαγράμματα SARη πηγή προβάλεται στη περιοχή των υψηλών κινδύνων λογο υφαλμύρηνσης και αλατότητας.

Συνεπώς τα σημερινά ευρήματα συμπίπτουν με αυτά του Λέκκα, 1938.

Καπεδιανά:

Η πηγή Καπεδιανά είναι η πιο εξόφθαλμε περίπτωση εκροής που εξετάστηκε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Είναι οφθαλμοφανές ακόμα και στο ύπαιθρο ότι τα ύδατα της πηγής περιέχουν σίδηρο (κόκκινο χρωματισμός και στο πεδίο).

Κατά τις χημικές αναλύσεις των υδάτων της πηγής παρουσιάστηκαν οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σιδήρου (συγκρητικά με τις άλλες).

Συνεπώς και για τα ύδατα της πηγής Καπεδιανά τα σημερινά ευρήματα συμφωνούν με τα γραφόμενα της βιβλιογραφίας.

Πλατάνι:

Η πηγή Πλατάνι (στην εργασία αναφέρεται Αρολίθι) αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως σιδηρούχος. Κατά την χημική ανάλυση των υδάτων με τη μέθοδο ICP-MS προέκυψαν αξιοσημείωτες συγκεντρώσεις σιδήρου (συγκρητικά με τις υπόλοιπες αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν).

Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τα δεδομένα της εποχής που γράφτηκε το βιβλίο του Λέκκα, 1938 και τις μετρήσεις που έγιναν για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας τα ευρήματα συμπίπτουν.

Περιβολάκια:

Τα ύδατα της πηγής περιγράφονται από το Λέκκα, 1938 ως έχοντα οσμή σιδήρου. Τα ύδατα της πηγής κατά την επίσκεψη στο πεδίο δεν είχαν οσμή. Από χημικής σκοπιάς τα ύδατα της πηγής Περιβολάκια δεν παρουσιάζουν σημαντικές συγκεντρώσεις σε σίδηρο (συγκρητικά με τις λοιπές μετρήσεις).

Συμπερασματικά, τα ευρήματα της παρούσας διατριβής δεν ταυτίζονται με όσα αναφέρονται στην εργασία του Λέκκα, 1938.

Βιβλιογραφία

Ελληνική

- Αθανασιάδου Α. (2013). Καταγραφή φυσικών και χημικών ιδιοτήτων 73 εδαφών της Ελλάδας Πτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος.
- Ασλάνογλου Λ. (2015). Ειδοταυτοποίηση μαγγανίου σε βιολογικά δείγματα με εφαρμογή της μεθόδου HPLC-ICP-MS, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών.
- Βλάχος Α. (2003). Ιαματικές πηγές και Σπα. Πειραικά.
- Βογιάννης Γ. (2005): Το ραδόνιο στα ιαματικά λουτρά, Μυτιλήνη, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αγαίου, Τομέας περιβαλλοντικής μηχανικής και επιστήμης, 215 σελ., Μυτιλήνη.
- Βουδούρης Κ. (2009): Θέματα υδρογεωλογίας περιβάλλοντος. Εκδόσεις Τζιόλα Θεσσαλονίκη. Σελ 35-67.
- Βουδούρης Κ. (2015): Εκμετάλλευση & Διαχείριση Υπόγειου Νερού. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, Χανιά, σελ. 35-67.
- Γηρούση Σ. (1996). Μελέτη και ανάπτυξη μεθόδων βολταμμετρικού προσδιορισμού βιοστοιχείων, Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης, Τμήμα Χημείας.
- Διδασκάλου Ε. (1999). Προς ένα μοντέλο ανάπτυξης κέντρων θεραπευτικού τουρισμού και εκτίμηση των επιπτώσεων αυτών στους τομείς του τουρισμού και της υγείας. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων. Πανεπιστημίο Πειραιώς.
- Εθνικό Κέντρο Κοινωνικών Ερευνών (2016). «Ιαματικές πηγές και σπα». Παρουσίαση αποτελεσμάτων για το 2017.

-
- Θεοδοσίου Γ., Τσαρουχάς Χ. (2013). Μελέτη της εκροής ραδονίου από το έδαφος, Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών.
 - Καραπαναγιωτίδης Π.Δ. (2020). Δηλητηρίαση από βαρέα μέταλλα ανασκόπηση περιστατικών κλινική εικόνα-διάγνωση-θεραπεία, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Επιστημών Υγείας.
 - Κεραμίδας Κ., Παπασωτηρίου Ν. (2013). Μηχανολογικές εφαρμογές ελαφρών κραμάτων, Πτυχιακή Εργασία, Τεχνολογικό Ιδρυμα Πειραιά, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε.
 - Κρικώνη Δ. (2018). Ορυκτολογική, Ορυκτοχημική και γεωχημική μελέτη των φωσφοριτών των Ιωαννίνων και η περιβαλλοντική τους διάσταση. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας.
 - Κυρκιμτζή Ι. (2013). Καθορισμός γεωλογικών παραμέτρων εμφάνισης γεωθερμικών ρευστών, εντός σχηματισμών της Λεκάνης Μεσσαράς, Διατριβή ειδίκευσης, Μεταπτυχιακή Εργασία, Γεωτεχνολογία και Περιβάλλον, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά, σελ. 185.
 - Λέκκας Ν. (1938). Αι επτακόσiai πενήντα μεταλλικαί πηγαί της Ελλάδος, ΙΓΜΕ, Αθήνα.
 - Λουκάς Γ. (2005). Συμβολή εις την μελέτην των μηχανισμών δράσεως των ιαματικών πηγών στη μεταβολή της ψυχικής διάθεσης του ανθρώπου κατά τη λουτροθεραπευτική αγωγή, Διδακτορική διατριβή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Ιατρικής.
 - Μανούτσογλου Ε. (2008): Αδημοσίευτες Σημειώσεις Σεμιναρίου Γεωλογίας της Κρήτης, της Ερευνητικής Μονάδας Γεωλογίας του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά, σελ. 55.
 - Μιχαήλ Γ. (2013). Οργανικό και Ανόργανο Άζωρο στο Περιβάλλον, Πτυχιακή εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ιδρυμα Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος.
 - Μπελιβάνη Δ. (2013). Ιζηματολογική και γεωχημική ανάλυση των αποθέσεων της περιοχής Πιτσίδα στη Νότιο-ανατολική Κρήτη, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ 1-90.
 - Μπουτσάκης Κ. (2016). Διερεύνηση θερμοκρασιακών μεταβολών σε υδροφορείς της Μεσσαράς, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά, σελ. 136.

-
- Νικολάου Π. (2008). Πυρίτιο, ενδιαμέσο μεταξύ ανανεώσιμης ενέργειας και υδρογόνου, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καβάλας, Τμήμα Τεχνολογίας Πετρελαίου και φυσικού αερίου.
 - Παπαγεωργίου Μ. (2009). Χωρική Οργάνωση, Ανάπτυξη και Σχεδιασμός του θερμαλιστικού τουρισμού στην Ελλάδα, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
 - Σιωρής Α. Ν. (1926). Αι ιαματικαί πηγαί της Ελλάδος. Πάτρα.
 - Σούλιος Χ. Γ. (1996). Γενική Υδρογεωλογία, Εκδόσεις University Studio Press
 - Στράτης Ι. Α., Ζαχαριάδης Γ. Α., Θεμελής Δ. Γ., Ανθεμίδης Α. Ν., Οικονόμου Α. Σ. (2004). Ενόργανη Χημική Ανάλυση ΙΙ, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, Κεφ. 3.
 - Τσάκου Κ. (2011):Διερεύνηση φαινομένων ρύπανσης υπόγειων υδροφορέων με χρώμιο,Μεταπτυχιακή εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διεπιστημονικό-Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Περιβάλλον και ανάπτυξη».
 - Φούσκας Α. (2011):Μελέτη τροποποιημένων με Βόριο καταλυτών Ni/Al₂O₃ για την αναμόρφωση του μεθανίου με διοξείδιο του άνθρακα, Διατριβή Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης,Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Χημείας
 - Φυτρολάκης Ν. (1980): Η γεωλογική δομή της Κρήτης. Διατριβή επί υφηγεσία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Διεθνής

- Dornsiepen U.F., Manutsoglu E., Mertmann D.(2001). Permian–Triassic palaeogeography of the external Hellenides, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 172, pp. 32-338.
- Erfurt-Cooper, P. and Cooper, M. (2009). Health and Wellness Tourism – Spas and Hot Springs. Bristol: Channel View Publications.
- Giddens, A. (2007). Europe in the Global Age. Cambridge: Polity Press.
- Gilbert, D.C. and Van De Weert, M. (1991). The Health Care Tourism Product in Western Europe. Revue de Tourisme.
- Hall, C.M. (1992). Review - Adventure, Sport and Health Tourism. In B. Weiler and C. M. Hall, Special Interest Tourism, London: Belhaven Press.
- Harris, W. (2010). How Balneotherapy Works.

-
- Hem J. D. (1985). Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. Third Edition. U.S Geological. Survey. Water Supply. United States. pp 69-149.
 - Katsambas and C. Antoniou (1996). “Mineral water and spas in Greece,” Clinics in Dermatology.
 - Kresic N., Stevanovic Z. (2010). Groundwater hydrology of springs. Engeneering theory, management, and sustainability. Amsterdam, Butterworth-Heinemann. ISBN 978-1-85617-502-9, pp 31-83.
 - Kresic, N., (2007). Hydrogeology and Groundwater Modeling, second ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
 - Kresic, N., (2009). Ground Water in Karst. In: Kresic, N. (Ed.), Theme Issue Ground Water in Karst, Ground Water, vol. 47, no. 3
 - Langmuir D., Riese AC. (1985). The thermodynamics properties of radium. Jurnal Article. Vol. 49. Issue 7. pp. 1593-1601.
 - Meinzer O.E. (1927). Large Springs in the United States. US Geological Survey Water-Supply Papper 557, Government Printing Office, Washington , pp. 94.
 - Milojevic, N., (1966). Hidrogeologija. Univerzitet u Beogradu, Zavod za izdavanje udz`benika Socijalistic`ke Republike Srbije, Beograd.ten Veen, J. H., & G. Postma (1999): Neogene tectonics and basin fill patterns in the Hellenic outer-arc (Crete, Greece). Basin Research, 11, 223-241.
 - Monnin M.M., Seidel J.L. (1992). Radon in soil-air and in groundwater related to major geophysical events: a survey, Nucl. Inst. Meth. Phys. Res. A314: 316-330.
 - Monnin M.M., Seidel J.L. (1997). Physical models related to radon emission in connection with dynamic manifestations in the upper terrestrial crust: A review, Radiation Measurements, Vol.28, No.1-6, pp. 703-712.
 - Papanikolaou D., Vassilakis E. (2008). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, pp. 319–320.
 - Reed, J. E., Deutsch, Morris, and Wiitala, S. W., (1966). Induced recharge of an artesian glacial-drift aquifer at Kalamazoo, Michigan: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1594-D, 62 p.
 - Routh, B. H., Bhowmik, K. R., Parish, L. C. and Witkowski, J. A. (1996). Balneology, Mineral Water and Spas in Historical Perspective. Clinics in Dermatology.

-
- Segovia N. (1995). Short and long term radon in soil monitoring for geophysical purposes; Radiation Measurements; Vol.25, No.1-4, pp. 547-552.
 - Seidel, E. (1978). Zur Petrologie der Phyllit-Quarzit-Serie Kretas - Habilitationsschrift Univ. Braunschweig, 145 S., Braunschweig.
 - Seidel, E., Kreuzer, H. & Harre, W. (1982). A Late Oligocene/Early Miocene high pressure belt in the External Hellenides.- Geol. Jb., 23: 165-206.
 - Seidel, M., Pack, A., Sharp, Z.D., Seidel, E., (2005). The Kakopetros and Ravdoucha iron-oxide deposits, western Crete, Greece: fluid transport and mineralization within a detachment zone - Econ. Geol., 100, 165–174.
 - Sorey, M.L., Natheson, M., Smith, C., (1983a). Methods for Assessing Low-Temperature Geothermal Resources. In: Reed, M.J. (Ed.), Assessment of Low-Temperature Geothermal Resources of the United States—1982. Geological Survey Circular 892, U.S. Department of the Interior, pp. 17–30.
 - Sorey, M.L., Reed, M.J., Foley, D., Renner, J.L., (1983b). Low-Temperature Geothermal Resources in the Central and Eastern United States. In: Reed, M.J. (Ed.), Assessment of Low-Temperature Geothermal Resources of the United States—1982. Geological Survey Circular 892, United States Department of the Interior, pp. 51–65.
 - Springer, A.E., Stevens, L.E., (2009). Spheres of discharge of springs. In: Hancock, P.J., Hunt, R.J., Boulton, A.J. (guest Eds.), Hydrogeoeology and Groundwater Ecosystems, Hydrogeology Journal, 17(1), 83–93.
 - ten Veen, J. H., & P. T. Meijer (1998). Late Miocene to recent tectonic evolution of Crete (Greece): geological observations and model analysis, Tectonophysics, 298, 191-208.
 - Tohme, L. (2011). Between Balneum and Hamam: The Role of Umayyad Baths in Syria. In Nina Ergin (Ed.), Bathing Culture of Anatolian Civilizations: Architecture, History, and Imagination. Leuven: Peeters.
 - Towner, J. (1996) An Historical Geography of Recreation and Tourism in the Western World 1540-1940. Chichester: John Wiley & Sons.
 - Tzedopoulos, Y., Kamara, A., Lampada, D., & Ferla, K. (2018). Thermalism in Greece: an old cultural habitus in crisis. *International Journal of Professional Business Review*, 3 (2), 205–219.
 - U.S. Geological Survey, (2009a). Geysers, Fumaroles, and Hot Springs.

-
- Urry, J. (2002). *The Tourist Gaze*. London: Sage Publications. Second edition.
 - US EPA (1989): Summary review of health effects associated with ammonia. (EPA/600/8-89/052F). US Environmental Protection Agency, Washington, DC .
 - US EPA (1989): Summary review of health effects associated with ammonia. (EPA/600/8-89/052F). US Environmental Protection Agency, Washington, DC .
 - US EPA (2013c). Addressing uranium contamination on the Navajo Nation. In: Uranium contamination stakeholder workshop, Gallup, New Mexico. <http://www.epa.gov/region9/superfund/navajo-nation/>
 - Watts DL (1997). Trace elements and other essential elemental nutrients. Clinical application of tissue mineral analysis. 2nd Writer's B-I-O-C-K edition.
 - White, D.E., (1965). Geothermal Energy. Geological Survey Circular 519, United States Department of the Interior, Washington, DC.
 - WHO (1996a). Trace elements in human nutrition and health. WHO, Geneva.
 - WHO (2003a). Antimony in drinking water. Background document for development of WHO guidelines for drinking water quality. WHO/SDE/WSH/05.04/74. World Health Organisation, Geneva.
 - WHO (2005). Nutrients in drinking water. Water, sanitation and health protection and the human environment. World Health Organization, Geneva.
 - WHO (2009). Calcium and magnesium in drinking water. World Health Organization, Geneva.
 - WHO (2011). Guidelines for drinking water quality, 4th edn, Geneva, Switzerland.
 - Yegül, F. (1992). *Baths and Bathing in Classical Antiquity*. Cambridge, Mass.: The MIT Press
 - Zollo, A., Simonetti, B., Salsano, V., & Rueda-Armengot, C. (2015). Promotion and Marketing: Marketing Strategies, Italy, Regional Development. In Marta Peris-Ortiz & José ÁlvarezGarcía (Eds.). *Health and Wellness Tourism: Emergence of a New Market Segmen*. Heidelberg: Springer

Διαδίκτυο

- US EPA (2012a).
<http://water.epa.gov/drink/contaminants/basicinformation/chromium.cfm>.
- US EPA (2012b).
<http://water.epa.gov/drink/contaminants/basicinformation/copper.cfm>

-
- US EPA (2013b). Mercury. Health effects. <http://www.epa.gov/hg/effects.htm#elem>
 - <https://www.sarad.de>
 - www.crete.gov.gr
 - www.rethymno.gr
 - www.iah.org/karst
 - <https://eclass.upatras.gr>

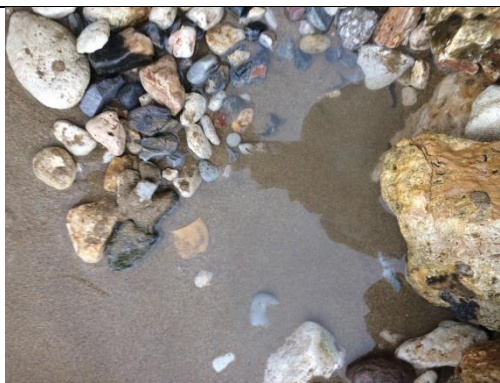
Παράρτημα

Φωτογραφίες πηγών

Μέρωνας: Ιδιωτική πηγή η οποία τροφοδοτείται όπως παρουσιάζεται στην παρούσα εικόνα



Γεράνι: Πηγή δίπλα στη θάλασσα, στην παραλία του χωριού Γεράνι.



Αγαλιανός: κοντά στη θέση Κεραμέ. Ιδιωτική πηγή που ρέει μέσα από την κατασκευή της εικόνας.



Μούταλη: Δημόσια πηγή που
ρέει μέσα από τη κατασκευή της
εικόνας.



Λιγιάλακκος: Δημόσια πηγή
πολύ μικρής παροχής που ρέει
μέσα από την εικονιζόμενη
κατασκευή.



Λιχνιστής: Δημόσια πηγή που
ρέει μέσα από την κατασκευή της
φωτογραφίας.



Καπεδιανά: κοντά στο χωριό Ρουσσοσπιτι. Το νερό της πηγής ρέει μέσα από την κατασκευή της εικόνας.





Ρουκουνέλι: δημόσια πηγή κοντά στο χωριό Αρμένιοι.



Αρολίθι: Δημόσια πηγή στην είσοδο του χωριού.



| | |
|--|--|
| <p>Κάστελλος: Πηγή κοντά στο μοναστήρι της Αγίας Παρασκευής.</p> |  |
| <p>Άνω Βαλσαμόνερο: Δημόσια πηγή στην είσοδο του χωριού.</p> |  |

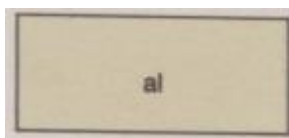
Υπόμνημα γεωλογικού χάρτη φύλλο Ρέθυμνο



Παράκτιες άμμοι.

Αλλουβιακές αποθέσεις: Ποταμοχειμαρρώδεις αποθέσεις αργιλοαμμούχων υλικών με σημαντικό ποσοστό ασύνδετων χαλίκιων και κροκαλών ασβεστολιθικής και φυλιτικής σύστασης, που καλύπτουν ποταμοκοιλιάδες, πεδινές περιοχές και εσωτερικές μικρές λεκάνες.

Πάχος 20m περίπου.



Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων: Ασβεστολιθικά κομμάτια αδιαβάθμητα, ασύνδετα έως ελαφρά συνδεδεμένα.

Πάχος 20m περίπου.



ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ

Παλαιά πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων: από ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή με καλά αποστρογγυλεμένες κροκάλες, σχετικά συνεκτικά και ψευδοστρωμένα.

Διασχίζονται από παλαιούς και νέους χειμάρους σε βάθος μέχρι 40 m .

Ορατό πάχος: 45 m περίπου.

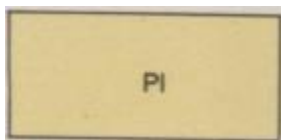


ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ

Θαλάσσιες αποθέσεις: Κροκαλοπαγή της βάσης πάχους 2-3 m και αργιλομαργαϊκές αποθέσεις άστρωτες έως ψευδοστρωμένες, χρώματος λευκού, κιτρινόφαιου, ερυθρού, κυανού με παρεμβολές από στρώσεις άμμου. Κατά θέσεις μέσα στις αποθέσεις αυτές διακρίνονται διάσπαρτα ασβεστολιθικά χαλίκια και τρόχμαλοι. Οι αργιλομαργαϊκές αποθέσεις εξελίσσονται στα ανώτερα μέλη τους σε λευκούς, στρωμένους οργανογενείς ασβεστόλιθους ή σε έναν ορίζοντα. Βρέθηκε μικροπανίδα του κατώτερου- μέσου Πλειόκενου από : *claborotaliapuncticulata* (DESHAYES) *CloboroUnvigerinaarquatensis* (PAPP).

Καθώς και σε μακροαπολιθώματα από μαλάκια και θραύσματα από εχινόδερμα.

Πάχος 60 m περίπου



ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ

Κροκαλοπαγή, μάργες, άργιλοι, οργανογενείς ασβεστόλιθοι: υπέρκεινται ασύμφωνα των αλπικών σχηματισμών και διακρίνονται λιθοστρωματογραφικά σε τρεις ορίζοντες από τα επάνω προς τα κάτω οι εξής:

Ανώτερος ορίζοντας: από παχυστρωματώδεις έως άστρωτους υφαλογενείς ασβεστόλιθους, χρώματος λευκού έως λευκοκίτρινου, με κροκάλια και φύκη. Εναλλάσσονται με αργιλομαργαϊκό υλικό, χρώματος τεφρού έως κίτρινου, μέσα στο οποίο απαντούν διαστρώσεις από ιλύ και άμμους πλούσιες σε απολιθώματα.: *Heterostegina*.

Κατά τόπους όπως στο χωριό Μούντρο , μέσα στο αργιλομαργαϊκό υλικό αναγνωρίστηκαν απολιθώματα ψαριών και Ελασματοβράγχια. Οι οργανογενείς ασβεστόλιθοι καλύπτονται από λευκότερες μάργες με μαλάκια και εχινόδερμα.

Στην περιοχή του χωριού Γάλλος απουσιάζει το αργιλομαργαϊκό υλικό και οι ασβεστόλιθοι είναι κατά θέσεις λατυποπαγείς, καλά στρωμένοι, με πλούσια πανίδα από μαλάκια, Εχινόδερμα, Βρυόζωα και φύκη.

Ενδιάμεσος ορίζοντας : θαλάσσιες και υφάλμυρες αποθέσεις, από μικρολατυποπαγή, που εξελίσσονται προς τα επάνω σε ιλύ με ψαμμιτικές λεπτοδιαστρώσεις, πλούσιες σε πανίδα από *Heterostegina*., Εχινοειδή, Μαλάκια και φύκη και καταλήγουν σε φυλλώδεις μάργες τεφροκίτρινου έως κυανότεφρου χρώματος, με ψαμμίτες και ιλιόλιθους πλούσιους σε πανίδα από Μαλάκια και κυρίως Γαστερόποδα.

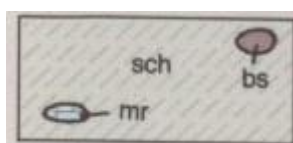
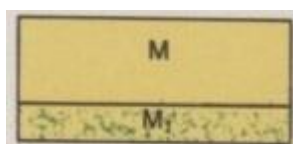
Κατώτερος ορίζοντας: α) υφάλμυρες αποθέσεις που αποτελούνται από εναλλαγές παχυστρωματωδών ψαμμιτών και αργίλων χρώματος καστανού. έως τεφρού που εγκλείουν μικρές διάσπαρτες κροκάλες και λεπτά λιγνιτικά στρώματα.

Στις υφάλμυρες αποθέσεις (περιοχή βιγλότοπου)βρέθηκε πανίδα από Crassostrea sp., Cerithium

Β)αποθέσεις γλυκού νερού από αδιαβάθμητα κροκαλοπαγή ποικίλης λιθολογικής σύστασης, ασύνδετες έως ελαφρά συνεκτικές με αργιλικές διαστρώσεις και φακούς, πλούσιους σε πανίδα από Planorbis sp. Melanopsis και φυτικά λείψανα.

Γ)Ποταμοχερσαίες αποθέσεις (M1) από ασύνδετα έως ελαφρά συνεκτικά κροκαλοπαγή χρώματος ερυθρού έως ερυθροκάστανου, που προέρχονται από την αποσάθρωση της «φυλλιτικής – χαλαζιτικής σειράς» με σπάνιες παρεμβολές αμμούχων φακών και ασβεστολιθικών κροκαλών.

Συνολικό πάχος: 200 m περίπου



Οφιολιθικά πετρώματα:απαντούν σε περιορισμένη έκταση στο ΝΑ άκρο του χάρτη και αποτελούνται από περιδοτίτες, σερπεντίνες γάβρους και δολομίτες που έχουν υποστεί πολύ χαμηλού έως χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση.

Ορατό πάχος:30 m περίπου.

Σχιστόλιθοι και πρασινοπετρώματα: αποτελούν πολύμικτο έντονα τεκτονισμένο και μικριπτυχωμένο σχηματισμό εντός του οποίου παρεμβάλλονται οφιολιθικά σώματα (6s)από μεταβασίτες (πυροξενίτες, διορίτες, ανδρείτες, διαβάσεις) σερπεντίνες, λατυποπαγή μάρμαρα (mr)λευκού χρώματος και μικρά τεμάχια (μη χαρτογραφήσιμα) γνευσιοσχιστίλιθων. Η μεταμόρφωση που έχουν υποστεί είναι πολύ χαμηλού και χαμηλού βαθμού μεταξύ της «λαυσονικιτική – γλαφκοφαντικής»φάσης και της «πρασινολιθικής» φάσης.

Ο έντονος τεκτονισμός τους προδίδει την μορφή mélange.

Οι σχιστόλιθοι (sch) είναι αργιλικοί, υδρομαρυγιακοί, χλωριτικοί, χαλαζιακοί,παρεμβάλλονται επίσης φυλλίτες. Ο ιστός τους είναι μικρόκοκκο- λεπιδοβλαστικός και η υφή τους συμπαγής παράλληλα προσανατολισμένη, μικροπτυχωμένα.

Κύρια ορυκτά είναι ο βιοτίτης , υδροβιοτίτης, χλωρίτης, χλωριτοειδές, σερικίτης, χαλαζίας, αλβίτης, ασβεστίτης, και σε μικρότερο ποσοστόφεγγίτης, αμφόβολος (γλαυκοφανής) λαυσονίτης και γρανάτης. Σαν δευτερεύοντα ορυκτά ο τουρμαλίνης, απατίτης, λευκόξενος, ζιρκόνια, ρουτίλιο, και οξειδία- υδροξείδια του σιδήρου.

Η αρχική προέλευσή τους είναι κυρίως ιζηματογενής.

Τα πρασινοπετρώματα (bs) αποτελούνται από πρσινίτες, γλαυκοφανιτικούς πρασινίτες και επιδοτίτες. Ο ιστός είναι μικροκρύσταλλο – λεπιδοθλαστικό, και η υφή τους συμπαγής παράλληλα προσανατολισμένη ελαφρά σχιστώδης, ισχυρά μικροπτυχωμένη και ελαφρά κερματισμένη.

Με κύρια ορυκτά τους άστριους (αλβίτης), χλωρίτη, επίδοτα (πιστακίτης, πουμπελίτης), αμφίβολου (τερμολίτης, γλυκοφάνης), μαρμαρυγίες και χαλαζία.

Η συμμετοχή και η ποσοτική αναλογία των κυρίων ορυκτών στα πρασινοπετρώματα ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο των πετρωμάτων και την αρχική τους προέλευση.

Σαν δευτερεύοντα ορυκτά συμμετέχουν αιματίτης, τιτανίτης, λευκόξενος και οξείδια-υδροξείδια του σιδήρου.

Τα πρασινοπετρώματα προέρχονται κατά το πλείστο από μεταμόρφωση ηφαιστειακών βασικών πετρωμάτων.

Πάχος 200 m περίπου.

ΖΩΝΗ ΤΡΙΠΟΛΕΩΣ

ΑΝΩΤ. ΗΩΚΑΙΝΟ- ΚΑΤΩΤ. – ΟΛΟΓΟΚΕΝΟ

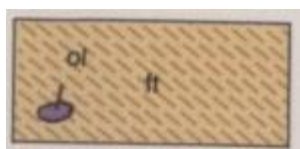
Φλύσχη: μικρές εμφανίσεις που βρίσκονται νότια και ΝΔ του χωριού Κούμοι, μέσα σε μικρές τεκτονικές μεταπτώσεις, των υποκειμένων παλαι-ηωκαινικών ασβεστόλιθων. Αποτελείται από αργιλικούς σχιστόλιθους, μικροπτυχωμένους, χρώματος πράσινου έως κιτρινόφαιου. Μέσα στους αργιλικούς σχιστόλιθους του φλύσχη απαντώνται ανθρακικοί ολισθόλιθοι (ol) μικρού ή μεγάλου μεγέθους με απολιθώματα της ζώνης Τριπόλεως, ιουραϊκής έως ηωκαινικής ηλικίας, λεπτοστρωματώδεις ψαμμίτες, μαύρου έως καφέ σκούρου χρώματος, με κλασικούς κόκκους ασβεστίτη, χαλαζία, άστριους και θραύσματα πυριτολίθων, ιλυολίθων, γνευσίων και διαβασών.

Παρεμβάλλονται επίσης αποστριγγυλεμένοι ολισθόλιθοι οφιολίθων μικρού μεγέθους (μη χαρτογραφημένοι). Στους ολισθόλιθους βρέθηκαν τα παρακάτω απολιθώματα: Elphidiidae, Rotallidae, Rupertiidae, Coralinoideae, Rudists and Echinoderes.

Πάχος :100 m περίπου.

ΗΩΚΑΙΝΟ (ΥΠΡΕΣΙΟ-ΚΑΤΩΤ. ΠΡΙΑΝΠΟΝΙΟ)

Σκοτεινότεφροι, νηρητικοί, δολομητικοί ασβεστόλιθοι: πρόκειται για βιοκλαστικούς νηρητικής φάσης ασβεστόλιθους, μεσο- παχυστρωματώδεις, συμπαγούς υφής, χρώματος μαύρου, τεφρού έως ανοιχτόφαιου. Κατά θέσεις και κυρίως στους ανώτερους ορίζοντες είναι δολομιτωμένοι και ανακρυσταλωμένοι, πλούσιοι σε νηρητικά απολιθώματα του Ανώτ. Λουθησιού Πριαμπονίου.





ΑΝΩΤ. ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ-ΠΑΛΑΙΟΚΑΙΝΟ

Ασβεστόλιθοι χρώματος σκοτεινού έως τεφρού άστρωτοι έως παχυστρωματώδεις.

Πρόκειται για αποθέσεις ρηχής θάλασσας, οργανοχημικής προέλευσης. Είναι ανακρυσταλωμένοι και κατά τόπους δολομιτωμένοι, συμπαγούς υφής με μικροσυγκεντρώσεις υδροξειδίων του σιδήρου. Λόγω της μεγάλης λιθολογικής τους ομοιότητας με τους ηωκαινικούς ασβεστόλιθους, ο διαχωρισμός τους είναι δύσκολος και στηρίζεται σε παλαιοντολογικά κυρίως δεδομένα. Προσδιορίστηκε η παρακάτω μικροπανίδα θανέτιου ηλικίας CoskinolinaliburnikaSTACHE , idolinasinzaricaGRISMSDSpirolinaspValvulinaspDiscorbidae , Rotaliidac.

Πάχος :100 m περίπου.



ΣΕΝΩΝΙΟ-ΜΑΙΣΤΡΙΧΤΙΟ

Κλασικοί – βιοκλασικοί ασβεστόλιθοι: χρώματος σκοτεινού έως τεφρού , μεσο-παχυστρωματώδεις και κατά θέσεις άστρωτοι, που συχνά μεταπίπτουν σε έντονα δολομιτωμένους ασβεστόλιθους (αποθέσεις κλασικού και βιοκλασικού υλικού ρηχής θάλασσας). Είναι στιφροί, μικρο-μεσοκρυσταλικοί, σπάνια χονδροκρυσταλικοί με ελάχιστους κόκκους πυριτικού υλικού. Κατά θέσεις, είναι λατυποπαγείς και έντονα διαρρηγμένοι. Οι ρωγμές κατά θέσεις έχουν πληρωθεί δευτερογενώς από ασβεστιτικό και δολομιτικό υλικό, ενώ σε άλλες θέσεις έχουν συντελέσει σημαντικά στην καρστικοποίηση των ασβεστολίθων.

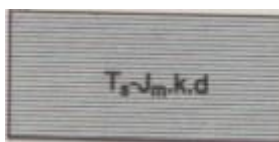
Πάχος: 150 m περίπου.



Ασβεστόλιθοι και δολομίτες: δολομιτωμένοι ασβεστόλιθοι, μελανότεφριου χρώματος, μεσοστρωματώδεις, που στη βάση του είναι λευκοί έως τεφροί ανακρυσταλωμένοι και δολομιτωμένοι, κατά τόπους ωολιθικοί ταινιώδους μορφής . Κατά θέσεις στα κατώτερα μέλη τους απαντούν δολομίτες άστρωτοι έως παχυστρωματώδεις που κατά θέσεις είναι λατυποπαγείς. Είναι γενικά τεκτονισμένοι και παρουσιάζουν σχετική καρστικότητα. Μικρά υπολλέματα (μη χαρτογραφηθέντα) μελανότεφρων δολομητομένων ασβεστόλιθων με fanteinasalevensis.

Οστρακώδη και Ελασματοβράγχια του Ανώτατου Ιουρασικού-κατωτ. κρητιδικού, βρίσκονται επωθημένα επάνω στα ανθρακικά πετρώματα της ιονίου ζώνης Β-Βδ του χωριού Ασή Γωνιά και Ν-ΝΔ της λίμνης Κουρνά. Στους κατώτερους ορίζοντες προσδιορίστηκε πανίδα του ανώτερου Ιουρασικού –Κατώτερου Κρητιδικού με απολιθώματα.

Πάχος 150 m περίπου.



ΑΝΩΤ. ΤΡΙΑΔΙΚΟ-ΜΕΣΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ

Δολομιτωμένοι ασβεστόλιθοι-δολομίτες: βρίσκονται επωθημένοι επάνω στην «φυλιτική-χαλαζιτική σειρά». Είναι έντονα τεκτονισμένοι κατά θέσεις κατακερματισμένοι, ελαφρά πτιχωμένοι, σπηλαιώδεις με γκαϊίτη και βετωμενιούχοι. Τα ανώτερα μέλη αποτελούνται συνήθως από ανοιχόχρωμους δολομιτικούς ασβεστόλιθους, μεσοστρωματώδεις, που στη βάση τους έχουν σκοτεινόχρωμους έως τεφρόχρωμους, παχυστρωματώδεις δολομίτες ή κρυσταλικούς δολομιτωμένους ασβεστόλιθους μαύρου χρώματος, λεπτο-μεσοστρωματώδεις, με ενδιάμεσες κατά θέσεις φυλιτικές λεπτοενστρώσεις ή τεκτονικά λατυποπαγή. Εξωτερικά παρουσιάζουν χαρακτηριστική καρστικότητα.

Ορατό πάχος: 180 m περίπου.

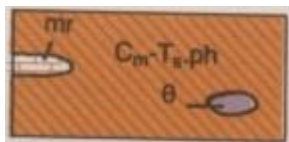


ΛΑΔΙΝΙΟ-ΚΑΡΝΙΟ

Αργιλικόι σχιστόλιθοι: απαντούν σε περιορισμένη έκταση στα κατώτερα μέλη της ζώνης Τριπόλεως και έχουν κινηθεί πάνω στη «φυλιτική-χαλαζιτική» σειρά. Πρόκειται για σχιστόλιθους πολύ χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης χρώματος υποκίτρινου, ερυθροϊώδους ή και πρασινωπού. Έχουν ιστό λεπιδοβλαστικό και υφή παράλληλη.

Τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά τους είναι σερικίτης, χλωρίτης, χαλαζίας, άστριοι και δευτερόντα οξείδια – υδροξείδια του σιδήρου και οργανικές ουσίες. Στον παραπάνω σχηματισμό περιλαμβάνονται ασβεστόλιθοι λεπτομεσοστρωματώδεις χρώματος σκοτεινού έως τεφρού, με αυξανόμενη πυκνότητα εμφάνισης και πάχους στα ανώτερα μέλη τους, δημιουργώντας ζώνη μετάδοσης προς τα ανθρακικά μέλη της ζώνης Τριπόλεως. Ο ακριβής διαχωρισμός των σχιστολίθων Τριπόλεως από την υποκείμενη «φυλιτική-χαλαζιτική σειρά» είναι δύσκολος εξαιτίας των λιθολογικών ομοιοτήτων που παρουσιάζουν. Η ηλικία δίνεται συγκριτικά από δεδομένα ανάλογων σχηματισμών που απαντούν στην ευρύτερη περιοχή.

Πάχος 50 m περίπου.



ΦΥΛΙΤΙΚΗ-ΧΑΛΑΖΙΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ

ΜΕΣΟΛΙΘΑΝΘΡΑΚΟΦΟΡΟ ΑΝΩΤ.-ΤΡΙΑΔΙΚΟ

Βρίσκεται επωθημένη πάνω στους ανθρακικούς σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης. Η επαφή τους ορίζεται κυρίως από ρήγματα ή και από μυλονιτωμένη ζώνη της επώθησης. Είναι πολύ πτυχωμένη και πιθανώς λεπτωμένη. Αποτελείται από ένα σύνολο, μεταμορφωμένων κυρίως παραπετρωμάτων με λίγες παρεμβολές ορθοπετρωμάτων. Ο βαθμός μεταμόρφωσης στα διάφορα πετρώματα ποικίλλει. Παρατηρούνται πετρώματα με χαμηλό βαθμό



μεταμόρφωσης και άλλα μέχρι και μέσο βαθμόμεταμόρφωσης (αμφιβολιτική φάση).

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟΚΑΛΥΜΑ ΤΡΥΠΑΛΙΟΥ

ΡΑΙΤΙΟ -ΛΙΑΣΙΟ

Λατυποπαγή και πορώδεις δολομίτες: απαντούν σε μικρές εμφανίσεις κυρίως στο Δ' τμήμα του χάρτη. Πρόκειται για ανακρυσταλωμένα ανθρακικά λατυποπαγή, χρώματος μαύρου έως τεφρού με κλαστικά στοιχεία διάφορου μεγέθους, άστρωτα έως παχυστρωματώδη. Στα κατώτερα μέλη τους απαντούν ενστρωμένοι πορώδεις δολομίτες, χρώματος ερυθρού έως και υπόλευκου.

Πάχος 30 m περίπου.

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟΚΑΛΥΜΑ ΤΡΥΠΑΛΙΟΥ

ΡΑΙΤΙΟ -ΛΙΑΣΙΟ

Λατυποπαγή και πορώδεις δολομίτες: απαντούν σε μικρές εμφανίσεις κυρίως στο Δ' τμήμα του χάρτη. Πρόκειται για ανακρυσταλωμένα ανθρακικά λατυποπαγή, χρώματος μαύρου έως τεφρού με κλαστικά στοιχεία διάφορου μεγέθους, άστρωτα έως παχυστρωματώδη. Στα κατώτερα μέλη τους απαντούν ενστρωμένοι πορώδεις δολομίτες, χρώματος ερυθρού έως και υπόλευκου.

Πάχος 30 m περίπου.



ΠΑΡΑ-ΑΥΤΟΧΘΟΝΗ ΣΕΙΡΑ

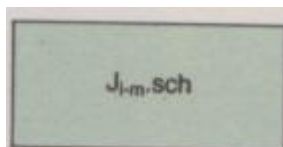
ΙΟΝΙΟΣ ΖΩΝΗ

ΔΟΓΓΕΡΟ-ΙΟΚΑΙΝΟ

Ασβεστόλιθοι με πυριτιόλιθους: Πρόκειται για ασβεστολιθικά στρώματα χρώματος κυρίως σκοτεινού, σκοτεινότεφρου έως υπόλευκου, λεπτομεσοστρωματώδη, μεσο- χονδροκρυσταλλικά, ανακρυσταλωμένα, λίγο ή καθόλου δολομιτωμένα και κατά θέσεις ισχυρά πτυχωμένα που εναλλάσσονται με ισοπαχείς πυριτικές ενστρώσεις, κτρίως από χαλαζία και και λιγότερο από χαλκηδόνιο. Χρώματος μαύρου, μωβ και λιγότερο λευκού. Το πυριτικό υλικό εμφανίζεται και με τη μορφή ευμεγέθων φακών ή κονδύλων μέσα στα ασβεστολιθικά στρώματα.

Στρωματογραφικά ο σχηματισμός αυτός είναι ανάλογος του σχηματισμού της βίγλας της Ιονίου ζώνης. Η ηλικία του προσδιορίζεται συγκριτικά με ανάλογες μελετηθείσες περιοχές της Κρήτης.

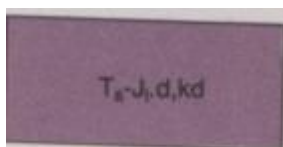
Πάχος :150 m.



ΛΑΙΣΙΟ-ΔΟΓΓΕΡΙΟ

Σχιστόλιθοι χαλαζιακοί- ανθρακικοί-αργιλικοί :μικρές εμφανίσεις λεπτομεσοστρωματώδεις χρώματος υποκίτρινου έως ανοιχτοκίτρινου με χαρακτηριστική κατά θέσεις πορώδη επιφάνεια.έχουν υποστεί ελαφρά τοπική μεταμόρφωση και παρουσιάζουν ιστό μικρο-μεσα-αδροκρυσταλικό και υφή συμπαγή, παράλληλα προσανατολισμένη. Το πυριτικόυλικό είναι κυρίως χαλκηδόνιος και λιγότερο χαλαζίας με Ακτινόζωα σε συσσωματώματα μέσα στους συγγενητικούς ασβεστιτικούς, αργιλικούς και υδρομαρμαρυγιακούς σχιστολίθους.Το ανθρακικό υλικό (ασβεστίτης) δημιουργεί διαφόρου πάχους παράλληλες διακεκομμένες στρώσεις, ενώ τα αργιλικά ορυκτά και οι υδρομαρμαρυγίες λεπτοστρώσεις.Η στρωματογραφική τους θέση αντιστοιχεί στους σχιστόλιθους με Ποσιδώνειες του Λιάσιου-Δογγέριου της Ιονίου ζώνης.

Πάχος 30 m.



ΑΝΩΤ. ΤΡΙΑΔΙΚΟ- ΚΑΤΩΤΑΤΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ

Δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι: ρηχής θάλασσας με χρώμα λευκό, λαυκόφαιο, κυανό κατά θέσεις σκοτεινόχρωμο. Στα κατώτερα μέλη διακρίνονται δολομίτες (τοπικά ζαχαρώδεις) και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι άστρωτοι έως παχυστρωματώδεις, έντονα ανακρυσταλωμένοι με λεπτές φυλιτικές διαστρώσεις. Αντίθετα προς τα πάνω το δολομιτικό υλικό υποχωρεί με αντίστοιχη αύξηση του ασβεστιτικού.Στα μεσαία και ανώτερα μέλη τους παρεμβάλλονται συνήθως ορίζοντες από αδρομερή συνεκτικά λατυποπαγή που κατά θέσεις εγκλείουν μικρούς χαλαζιακούς κονδύλους μαύρου χρώματος.

Συχνή είναι η παρουσία οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου που εμφανίζονται στα διάκενα των ανθρακικών πετρωμάτων σε μικρές συγκεντρώσεις ιδιόμορφων κρυστάλων . Έχουν υποστεί έντονη διαρρηκτική και ελάχιστη τεκτονική συμπίεσεως. Η ηλικία τους, η στρωματογραφική τους θέση και το περιβάλλον ιζηματογένεσης τους (ρηχή θάλασσα) αντιστοιχούν στη φάση «Παντοκράτορα)της Ιονίου ζώνης.

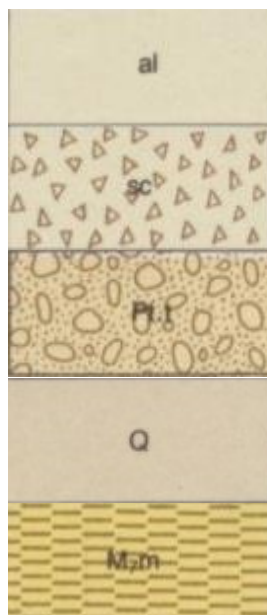
Πανίδα Γαστερόποδα, Megalodon και φύκη.

Ορατό πάχος : 800 m περίπου

Υπόμνημα γεωλογικού χάρτη Μέλαμπες



Παράκτιες αποθέσεις: άμμοι, τοπικά συγκολλημένες σε λεπτούς πάγκους ψαμμιτών κροκάλες τοπικής προέλευσης.



Πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις: άμμοι και ασύνδετα κροκαλοπαγή.

Κορήματα: Αποθέσεις κλιτύων ασύνδετες.

ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ

Χερσαία αναβαθμίδα: από υλικά λίγο αποστρογγυλωμένα συγκολλημένα με ένα ασβεστοψαμμιτικό συνδετικό υλικό.

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ ΑΔΙΑΙΡΕΤΟ

Κροκαλοπαγή ερυθρά, άμμοι και άργιλοι: ποταμολιμναίας γενικά προέλευσης.

ΝΕΟΓΕΝΕΣ

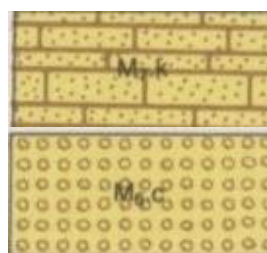
ΑΝΩΤ. ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ

ΜΕΣΣΗΝΙΟ

Σχηματισμός Αποστόλων : μάργες κυανές και τεφρές, θαλάσσιες, απολιθωματοφόρες. Η βάση του σχηματισμού αποτελείται συχνά από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και άμμους πλούσιες *Heterosteginasp*, *Uvigerinamelitensis* MEULEN

Ηλικία Μεσσήνιο

Ασβεστόλιθοι: υφαλιγενείς, κλαστικοί, τοπικά κροκαλοπαγείς ή λατυποπαγείς.



ΤΟΡΤΟΝΙΟ

Σχηματισμός Παντάναςσας: κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και άμμοι, άργιλοι, λιγνίτες και ασβεστόλιθοι με μαλάκια γλυκού νερού και υπολλέιματα φυτών. Σε μερικές θέσεις στο ανώτερο τμήμα του σχηματισμού αυτού εμφανίζονται ενστρώσεις υφάλμυρης φάσεως.

Ηλικία Τορτόνιο.

ΑΛΛΟΧΘΟΝΕΣ ΣΕΙΡΕΣ

ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ

ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ

ΑΝΩΤ. ΣΕΝΩΝΙΟ

Ασβεστόλιθοι μαργαϊκοί ερυθροί, ψαμμίτες, χονδρόκοκοι, κροκαλοπαγή: καλύπτουν μια ανώμαλη τοπογραφική επιφάνεια, σκαμμένη μέσα στους οφειόλιθους. (Αρδακτος) ή στους γνεύσιους (Σαχτούρια) Σπάνια Τρηματοφόρα γένους (*Globotruncana*)

Ηλικία : Ανώτερο Σενώνιο.

ΑΝΩΤΑΤΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ- ΚΑΤΩΤΑΤΟ ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ

Λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι με *Pseudocyclamminasp* κάθονται πάνω σε οφειόλιθους δυτικά της Κρύας Βρύσης.

Οφιολιθικό σύμπλεγμα: περιδοτίτες, περισσότεροι ή λιγότεροι σερπεντινιομένοι, γάβροι, δδολερίτες.





ΚΑΛΥΜΜΑ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ

Γνευσιοί: με χαλαζία, βιοτίτη, καλιούχους αστρίους, σιλλιμανίτη, κονδιερίτη, γρανάτες. Αμφιβολίτες, χαλαζίτες με πιεμοντίτη. Μάρμαρα με διοσίδιο και μάρμαρα λευκά (mr). Γρανίτες.

Ηλικία ραδιομετρική: 66-70 εκατομμύρια χρόνια.



ΚΑΛΥΜΜΑ ΒΑΤΟΥ

ΑΝΩΤΕΡΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ-ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ

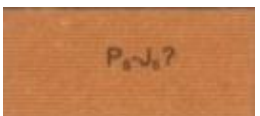
Οφιολιθικά ολισθοστρώματα : αποτελούνται από συνδεδεμένα τεμάχια διαφόρων μεγεθών

«Σχιστόλιθοι βάτου»



Εναλλαγές τεφρών, μαργών και πάγκων πολύ ψαμιτικών ασβεστολίθων: καμιά φορά με κροκάλες, κλαστικά ηλικία από βασικά και υπερβασικά πετρώματα και χαλαζίτες.

Αντιπροσωπεύουν πιθανώς ένα σχηματισμό ισότιμο με την ενότητα Αντισκάριου (Μιαμού).



ΑΝΩΤΕΡΟ ΠΕΡΜΙΟ- ΑΝΩΤΕΡΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ (;

Μεταϊζηήματα, μεταβασάλτες, μεταραδιολαρίτες, μαύρα μάρμαρα, μεταμόρφωση του τύπου «μπλε σχιστολίθων» (επίδοτο, αμφίβολοι μπλε), χρονολογημένοι ραδιομετρικά (Γερακάρι) γύρω στα 150 εκ. έτη

Ηλικία: ανώτερο Πέρμιο.

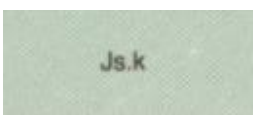


ΚΑΛΥΜΜΑ ΜΙΑΜΟΥ

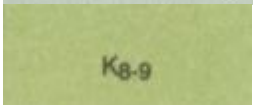
ΑΝΩΤΕΡΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ

Φλύσχη: Κυρίως οφιοκλιτικός ψαμιτικός, με λίγες ενστρώσεις ψαμιτικών ασβεστολίθων, που χαρακτηρίζονται από αφθονία θραυσμάτων βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων. Κοντά στον Άη Γιάννη απαντούν φακοί με νηρητική πανίδα.

Ηλικία Ανώτερο Ιουρασικό (Κιμερίδιο)



Λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι: σε ογκώδεις πάγκους, πλούσιοι σε κιράλια, ενστρωμένοι μέσα σε φλύσχη.



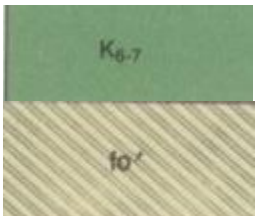
ΚΑΛΥΜΜΑ ΑΡΒΗΣ

ΑΝΩΤΕΡΟ ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ

Ολιόλιθοι και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι ερυθροί με Globotruncandae: οι διαβάσεις χαρακτηριστικοί της σειράς Αρβης, παρουσιάζονται σε μορφή γαιωδών θραυσμάτων.

Ο σχηματισμός αυτός υπάρχει επίσης υπό μορφή ιζηματογενών ρακών ((klippen) μέσα στον φλύχρη της σειράς Πίνδου-Εθιάς.

Νηρητικού ασβεστόλιθοι



ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ

ΖΩΝΗ ΠΙΝΔΟΥ(ΕΘΙΑΣ)

ΗΩΚΑΙΝΟ

Φλύσχη κερματισμένος ελαφρά μεταμορφωμένος: λεπιωμένος και πλούσιος σε ασβεστόλιθους που αποτελούνται κυρίως από άσπρα μάρμαρα και ογκόλιθους οφιολίθων διαστάσεων έως 10 μέτρων.



Φλύσσης:ψαμμιτολιθικός:Πανίδα από μεταφερμένους Νουμμουλίτες.

ΑΝΑΤΕΡΟ ΣΕΝΩΝΙΟ- ΠΑΛΑΙΟΚΑΙΝΟ

Πλακώδεις ασβεστόλιθοι:περιλαμβάνουν από πάνω προς τα κάτω:

-Στρώματα μετάβασης με εναλλεγές ασβεστολίθων με Globorotalia(παλαιόκαινο) μαργαϊκών στρωμάτωνκαι σπάνιων ψαμμιτικών πάγκων.Σπάνιες ενστρώσεις μικρολατυποπαγών ασβεστολίθων με βενθονική πανίδα. (Νουμμουλίττες, Αλβεολίνες κλπ).

-Πλακώδεις ασβεστόλιθοι, σκοτεινότεφροι με Globotruncana, σπάνια λατυποπαγή με siderolitesp

-Ασβεστόλιθοι ροδόχρωμοι με ερυθρές πυριτικές διαστρώσεις με Ακτινόζωα.



ΑΝΩΤΕΡΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ- ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΣΕΝΩΝΙΟ

Ασβεστόλιθοι δοδόχρωμοι με ιάσπιδες, κρεαττόλιθοι και "πρώτος φλύσσης» : Περιλαμβάνονται από πάνω προς τα κάτω: Ψαμμίτες και ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι με θραύσματα από βασικά πετρώματα διάφορα είδη του γένους Globotruncana

Ηλικία:Τουρώνιο –Κατώτερο Σενώνιο

-Κερατόλιθοι:ιάσπιδες ολοπυριτικοί με Αντινόζωα.

-Ασβεστόλιθοι ροδόχρωμοι με ιάσπιδες με λεπτούς πάγκους με περισσότερο ή λιγότερο άφθονες ενστρώσεις ερυθρών μαργών. Ασβεστόλιθοι ροδόχρωμοι ήμαύροι με Αλόβιες. Τοπικά απαντούν βασικές λάβες παρεμβαλλόμενες μέσα σε πάγκους ασβεστολίθων με FILAMENTS.

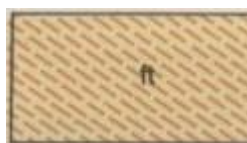
Ηλικία Τριαδικό.



ΚΑΡΝΙΟ

Κασική σειρά τριαδικού: εναλλαγές ψαμμιτών σε λεπτούς πάγκους με θραύσματα ρυτών και σκοτεινότεφρων μαργών με filaments. Υπάρχουν μερικοί πάγκοι ανοιχτότερων ασβεστολίθων με κίτρινο επίχρισμα που περιέχουν Κωνόδοντα.

ΖΩΝΗ ΤΡΙΠΟΛΕΩΣ



ΗΩΚΑΙΝΟ (ΠΡΙΑΜΠΟΝΙΟ)- ΟΛΙΓΟΚΑΙΝΟ

Φλύσσης:Οφιολιθικός - ψαμμιτικός

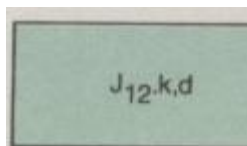


ΠΑΛΑΙΟΚΕΝΟ- ΜΕΣΟ ΗΩΚΑΙΝΟ

Τα στρώματα αυτά δεν αναγνωρίστηκαν "αυτό τοφύλλο.Λείπουν για λόγους τεκτονικούς.

ΑΝΩΤΕΡΟ ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ

Ασβεστόλιθοι μαύροι με Ρουδιστές. Κυρίως fladiolititae και πολυάριθμα βενθονικά Τρηματοφόρα.



ΑΝΩΤΕΡΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ (ΚΙΜΜΕΡΙΔΙΟ)

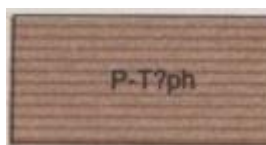
Ασβεστόλιθοι και δολιμίτες: ανοιχτότεφροι έως πολύ σκοτεινοί . Ένας ορίζοντας με cladocorpsismirabitisFELIX και βενθονικά. Τρηματοφόρα επιτρέπουν προσδιορίσουμε το Κιμμερίδιο.

ΤΡΙΑΔΙΚΟ (") ΜΕΣΟ ΗΩΚΑΙΝΟ



Ανθρακικά πετρώματα σειράς Τριπόλεως (αδιαίρετα) ασβεστόλιθοι και δολομίτες χωρίς απολιθώματα: μπορεί να

ανήκουν σε οποιοδήποτε μέλος της στρωματογραφικής σειράς Τριπόλεως από το Τριαδικό(΄) – Κατώτερο Ιουρασικό έως το Ηώκαινο (Λουτήσιο αναγνωρισμένο μέσα στους δολομίτες στο Φράτη, στο γειτονικό φύλλο Σελλιά).

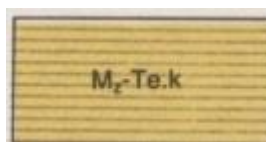


ΦΥΛΛΙΤΙΚΗ – ΧΑΛΑΖΙΑΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ

ΠΕΡΜΟ- ΤΡΙΑΔΙΚΟ (΄)

Φυλλίτες νήσου Κρήτης: εναλλαγές χαλαζιτικών ψαμμιτών και σερικιτικών σχιστόλιθων τοπικά μερικοί πάγκοι μαύρων κρυσταλικών ασβεστολίθων.

Ηλικία Περμο-Τριαδικό χρονολογημένο.



ΠΑΡΑ- ΑΥΤΟΧΘΟΝΗ ΣΕΙΡΑ

ΙΟΝΙΟΣ ΖΩΜΗ (ΣΕΙΡΑ ΙΔΗΣ)

ΜΑΣΟΖΩΙΚΟ-ΤΡΙΤΟΓΕΝΕΣ

Πλακώδεις ασβαστόλιθοι: μαύροι κρυσταλλικοί σε πάγκους πάχους από 10 έως 70 εκατ. Με πολυάριθμες ενστρώσεις και κονδύλους από λευκό πυριτόλιθο.

Ηλικία : Μεσοζωικό έως Τριτογενές :χρονολογημένο στο γειτονικό φύλλο Τυμπάκι



Παράκτιες άμμοι.

Αλλουβιακές αποθέσεις: Ποταμοχειμαρρώδεις αποθέσεις αργιλοαμμούχων υλικών με σημαντικό ποσοστό ασύνδετων χαλίκιων και κροκαλών ασβεστολιθικής και φυλιτικής σύστασης, που καλύπτουν ποταμοκοιλιάδες, πεδινές περιοχές και εσωτερικές μικρές λεκάνες.

Πάχος 20m περίπου.



Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων:Ασβεστολιθικά κομμάτια αδιαβάθμητα, ασύνδετα έως ελαφρά συνδεδεμένα.

Πάχος 20m περίπου.



ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ

Παλαιά πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων: από ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή με καλά αποστρωγγυλεμένες κροκάλες, σχετικά συνεκτικά και ψευδοστρωμένα.

Διασχίζονται από παλαιούς και νέους χειμάρους σε βάθος μέχρι 40 m .

Ορατό πάχος: 45 m περίπου.



ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ

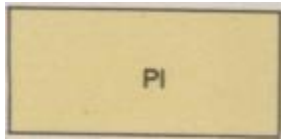
Θαλάσσιες αποθέσεις: Κροκαλοπαγή της βάσης πάχους 2-3 m και αργιλομαργαϊκές αποθέσεις άστρωτες έως ψευδοστρωμένες, χρώματος λευκού, κιτρινόφαιου, ερυθρού, κυανού με παρεμβολές από στρώσεις άμμου. Κατά θέσεις μέσα στις αποθέσεις αυτές διακρίνονται διάσπαρτα ασβεστολιθικά χαλίκια.Οι αργιλομαργαϊκές αποθέσεις εξελίσσονται στα ανώτερα μέλη τους σε λευκούς, στρωμένους οργανογενείς ασβεστόλιθους ή σε έναν

ορίζοντα χαλίκων.Βρέθηκε μικροπανίδα του κατώτερου-μέσου Πλειόκενου από : *cloborotaliapuncticulata* (DESHAYES)*CloboroUvigerinaarquatensis* (PAPP).

Καθώς και σε μακροαπολιθώματα από μαλάκια και θραύσματα από εχινόδερμα.

Πάχος 60 m περίπου

ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ



Κροκαλοπαγή, μάργες, άργιλοι, οργανογενείς ασβεστόλιθοι: υπέρκεινται ασύμφωνα των αλπικών σχηματισμών και διακρίνονται λιθοστρωματογραφικά σε τρεις ορίζοντες από τα επάνω προς τα κάτω οι εξής:

Ανώτερος ορίζοντας: από παχυστρωματώδεις έως άστρωτους υφαλογενείς ασβεστόλιθους, χρώματος λευκού έως λευκοκίτρινου, με κροκάλια και φύκη.Εναλλάσσονται με αργιλομαργαϊκό υλικό, χρώματος τεφρού έως κίτρινου, μέσα στο οποίο απαντούν διαστρώσεις από ιλύ και άμμους πλούσιες σε απολιθώματα.:*Heterostegina*.

Κατά τόπους όπως στο χωριό Μούντρο , μέσα στο αργιλομαργαϊκό υλικό αναγνωρίστηκαν απολιθώματα ψαριών και Ελασματοβράγχια. Οι οργανογενείς ασβεστόλιθοι καλύπτονται από λευκότερες μάργες με μαλάκια και εχινόδερμα.

Στην περιοχή του χωριού Γάλλος απουσιάζει το αργιλομαργαϊκό υλικόκαι οι ασβεστόλιθοι είναι κατά θέσεις λατυποπαγείς, καλά στρωμένοι, με πλούσια πανίδα από μαλάκια, Εχινόδερμα, Βρυόζωα και φύκη.

Ενδιάμεσος ορίζοντας : θαλάσσιες και υφάλμυρες αποθέσεις, από μικρολατυποπαγή, που εξελίσσονται προς τα επάνω σε ιλύ με ψαμμιτικές λεπτοδιαστρώσεις, πλούσιες σε πανίδα από *Heterostegina*., *Εχινόειδή*, Μαλάκια και φύκη και καταλήγουν σε φυλλώδεις μάργες τεφροκίτρινου έως κυανότεφρου χρώματος, με ψαμμίτες και ιλιόλιθους πλούσιους σε πανίδα από Μαλάκια και κυρίως Γαστερόποδα.

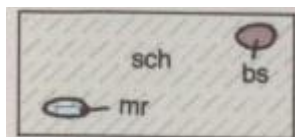
Κατώτερος ορίζοντας: α)υφάλμυρες αποθέσεις που αποτελούνται από εναλλαγές παχυστρωματωδών ψαμμιτών και αργίλων χρώματος καστανού.έως τεφρού που εγκλείουν μικρές διάσπαρτες κροκάλεςκαι λεπτά λιγνιτικά στρώματα. Στις υφάλμυρες αποθέσεις (περιοχή βιγλότοπου)βρέθηκε πανίδα από *Crassostreas*p., *Cerithium*

Β)αποθέσεις γλυκού νερού από αδιαβάθμητα κροκαλοπαγή ποικίλης λιθολογικής σύστασης, ασύνδετες έως ελαφρά συνεκτικές με αργιλικές διαστρώσεις και φακούς, πλούσιους σε πανίδα από *Planorbis*sp*Melanopsis* και φυτικά λείψανα.

Γ)Ποταμοχερσαίες αποθέσεις (M1) από ασύνδετα έως ελαφρά συνεκτικά κροκαλοπαγή χρώματος ερυθρού έως ερυθροκάστανου, που προέρχονται από την αποσάθρωση

της «φυλλιτικής – χαλαζιτικής σειράς» με σπάνιες παρεμβολές αμμούχων φακών και ασβεστολιθικών κροκαλών.

Συνολικό πάχος: 200 m περίπου



Οφιολιθικά πετρώματα: απαντούν σε περιορισμένη έκταση στο ΝΑ άκρο του χάρτη και αποτελούνται από περιδοτίτες, σερπεντίνες γάβρους και δολομίτες που έχουν υποστεί πολύ χαμηλού έως χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση.

Ορατό πάχος: 30 m περίπου.

Σχιστόλιθοι και πρασινοπετρώματα: αποτελούν πολύμικτο έντονα τεκτονισμένο και μικριπτυχωμένο σχηματισμό εντός του οποίου παρεμβάλλονται οφιολιθικά σώματα (bs) από μεταβασίτες (πυροξενίτες, διορίτες, ανδρείτες, διαβάσεις) σερπεντίνες, λατυποπαγή μάρμαρα (mr) λευκού χρώματος και μικρά τεμάχια (μη χαρτογραφήσιμα) γνευσιοσχιστίθων. Η μεταμόρφωση που έχουν υποστεί είναι πολύ χαμηλού και χαμηλού βαθμού μεταξύ της «λαυσονικτικής – γλαυκοφαντικής» φάσης και της «πρασινολιθικής» φάσης.

Ο έντονος τεκτονισμός τους προδίδει την μορφή mélange.

Οι σχιστόλιθοι (sch) είναι αργιλικοί, υδρομαρυγιακοί, χλωριτικοί, χαλαζιακοί, παρεμβάλλονται επίσης φυλλίτες. Ο ιστός τους είναι μικρόκοκκο-λεπιδοβλαστικός και η υφή τους συμπαγής παράλληλα προσανατολισμένη, μικροπτυχωμένη.

Κύρια ορυκτά είναι ο βιοτίτης, υδροβιοτίτης, χλωρίτης, χλωριτοειδές, σερικίτης, χαλαζίας, αλβίτης, ασβεστίτης, και σε μικρότερο ποσοστό φεγγίτης, αμφόβολος (γλαυκοφάνης) λαυσονίτης και γρανάτης. Σαν δευτερεύοντα ορυκτά ο τουρμαλίνης, απατίτης, λευκόξενος, ζιρκόνια, ρουτίλιο, και οξειδία-υδροξείδια του σιδήρου.

Η αρχική προέλευσή τους είναι κυρίως ιζηματογενής.

Τα πρασινοπετρώματα (bs) αποτελούνται από πρσινίτες, γλαυκοφαντικούς πρασινίτες και επιδοτίτες. Ο ιστός είναι μικροκρύσταλλο-λεπιδοθλαστικό, και η υφή τους συμπαγής παράλληλα προσανατολισμένη ελαφρά σχιστώδης, ισχυρά μικροπτυχωμένη και ελαφρά κερματισμένη.

Με κύρια ορυκτά τους άστριους (αλβίτης), χλωρίτη, επίδοτα (πιστακίτης, πουμπελίτης), αμφίβολους (τερμολίτης, γλυκοφάνης), μαρμαρυγίες και χαλαζία.

Η συμμετοχή και η ποσοτική αναλογία των κυρίων ορυκτών στα πρασινοπετρώματα ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο των πετρωμάτων και την αρχική τους προέλευση.

Σαν δευτερεύοντα ορυκτά συμμετέχουν αιματίτης, τιτανίτης, λευκόξενος και οξείδια-υδροξείδια του σιδήρου.

Τα πρασινοπετρώματα προέρχονται κατά το πλείστο από μεταμόρφωση ηφαιστειακών βασικών πετρωμάτων.

Πάχος 200 m περίπου.

ΖΩΝΗ ΤΡΙΠΟΛΕΩΣ

ΑΝΩΤ. ΗΩΚΑΙΝΟ- ΚΑΤΩΤ. – ΟΛΟΓΟΚΕΝΟ

Φλύσχη: μικρές εμφανίσεις που βρίσκονται νότια και ΝΔ του χωριού Κούμοι, μέσα σε μικρές τεκτονικές μεταπτώσεις, των υποκειμένων παλαι-ηωκαινικών ασβεστόλιθων. Αποτελείται από αργιλικούς σχιστόλιθους, μικροπτυχωμένους, χρώματος πράσινου έως κιτρινόφαιου. Μέσα στους αργιλικούς σχιστόλιθους του φλύσχη απαντώνται ανθρακικοί ολισθόλιθοι (οι) μικρού ή μεγάλου μεγέθους με απολιθώματα της ζώνης Τριπόλεως, ιουραικής έως ηωκαινικής ηλικίας, λεπτοστρωματώδεις ψαμμίτες, μαύρου έως καφέ σκούρου χρώματος, με κλασικούς κόκκους ασβεσίτη, χαλαζία, άστριους και θραύσματα πυριτολίθων, ιλυολίθων, γνευσίων και διαβασών.

Παρεμβάλλονται επίσης αποστριγγυλεμένοι ολισθόλιθοι οφιολίθων μικρού μεγέθους (μη χαρτογραφημένοι). Στους ολισθόλιθους βρέθηκαν τα παρακάτω απολιθώματα: Elphidiidae, Rotallidae, Rupertiidae, Coralinoideae, Rudists and Echinoderes.

Πάχος :100 m περίπου.

ΗΩΚΑΙΝΟ (ΥΠΡΕΣΙΟ-ΚΑΤΩΤ. ΠΡΙΑΝΠΟΝΙΟ)

Σκοτεινότεφροι, νηρητικοί, δολομητικοί ασβεστόλιθοι: πρόκειται για βιοκλαστικούς νηρητικής φάσης ασβεστόλιθους, μεσο- παχυστρωματώδεις, συμπαγούς υφής, χρώματος μαύρου, τεφρού έως ανοιχτόφαιου. Κατά θέσεις και κυρίως στους ανώτερους ορίζοντες είναι δολομιτωμένοι και ανακρυσταλωμένοι, πλούσιοι σε νηρητικά απολιθώματα του Ανώτ. Λουθησίου Πριαμπονίου.

ΑΝΩΤ. ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ-ΠΑΛΑΙΟΚΑΙΝΟ

Ασβεστόλιθοι χρώματος σκοτεινού έως τεφρού άστρωτοι έως παχυστρωματώδεις.

Πρόκειται για αποθέσεις ρηχής θάλασσας, οργανοχημικής προέλευσης. Είναι ανακρυσταλωμένοι και κατά τόπους δολομιτωμένοι, συμπαγούς υφής με μικροσυγκεντρώσεις υδροξειδίων του σιδήρου. Λόγω της μεγάλης λιθολογικής τους ομοιότητας με τους ηωκαινικούς ασβεστόλιθους, ο διαχωρισμός τους είναι δύσκολος και στηρίζεται σε παλαιοντολογικά κυρίως δεδομένα. Προσδιορίστηκε η



παρακάτω μικροπανίδα θανέτιου ηλικίας
CoskinolinaliburnikaSTACHE
idolinasinzaricaGRISMDSpirolinaspValvulinaspDiscorbidae ,
Rotaliidae.

Πάχος :100 m περίπου.

ΣΕΝΩΝΙΟ-ΜΑΙΣΤΡΙΧΤΙΟ

Κλασικοί – βιοκλασικοί ασβεστόλιθοι: χρώματος σκοτεινού
έως τεφρού , μεσο-παχυστρωματώδεις και κατά θέσεις
άστρωτοι, που συχνά μεταπίπτουν σε έντονα
δολομιτωμένους ασβεστόλιθους (αποθέσεις κλασικού και
βιοκλασικού υλικού ρηχής θάλασσας). Είναι στιφροί, μικρο-
μεσοκρυσταλικοί, σπάνια χονδροκρυσταλικοί με ελάχιστους
κόκκους πυριτικού υλικού. Κατά θέσεις, είναι λατυποπαγείς
και έντονα διαρρηγμένοι. Οι ρωγμές κατά θέσεις έχουν
πληρωθεί δευτερογενώς από ασβεστιτικό και δολομιτικό
υλικό, ενώ σε άλλες θέσεις έχουν συντελέσει σημαντικά στην
καρστικοποίηση των ασβεστολίθων.

Πάχος: 150 m περίπου.

Ασβεστόλιθοι και δολομίτες: δολομιτωμένοι ασβεστόλιθοι,
μελανότεφρι χρώματος, μεσοστρωματώδεις, που στη βάση
του είναι λευκοί έως τεφροί ανακρυσταλωμένοι και
δολομιτωμένοι, κατά τόπους ωολιθικοί ταινιώδους μορφής .
Κατά θέσεις στα κατώτερα μέλη τους απαντούν δολομίτες
άστρωτοι έως παχυστρωματώδεις που κατά θέσεις είναι
λατυποπαγείς. Είναι γενικά τεκτονισμένοι και παρουσιάζουν
σχετική καρστικότητα. Μικρά υπολλέματα (μη
χαρτογραφηθέντα) μελανότεφρων δολομιτομένων
ασβεστόλιθων με *fanteinasalevensis*.

Οστρακώδη και Ελασματοβράγχια του Ανώτατου
Ιουρασικού-κατωτ. κρητιδικού, βρίσκονται επωθημένα
επάνω στα ανθρακικά πετρώματα της ιονίου ζώνης Β-Βδ του
χωριού Ασή Γωνιά και Ν-ΝΔ της λίμνης Κουρνά. Στους
κατώτερους ορίζοντες προσδιορίστηκε πανίδα του
ανώτερου Ιουρασικού –Κατώτερου Κρητιδικού με
απολιθώματα.

Πάχος 150 m περίπου.

ΑΝΩΤ. ΤΡΙΑΔΙΚΟ-ΜΕΣΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ

Δολομιτωμένοι ασβεστόλιθοι-δολομίτες: βρίσκονται
επωθημένοι επάνω στην «φυλιτική-χαλαζιτική σειρά». Είναι
έντονα τεκτονισμένοι κατά θέσεις
κατακερματισμένοι, ελαφρά πτιχωμένοι, σπηλαιώδεις με
γκαιίτη και βετωμενιούχοι. Τα ανώτερα μέλη αποτελούνται
συνήθως από ανοιχτόχρωμους δολομιτικούς ασβεστόλιθους,
μεσοστρωματώδεις, που στη βάση τους έχουν
σκοτεινόχρωμους έως τεφρόχρωμους , παχυστρωματώδεις
δολομίτες ή κρυσταλικούς δολομιτωμένους ασβεστόλιθους



μαύρου χρώματος, λεπτο-μεσοστρωματώδεις, με ενδιάμεσες κατά θέσεις φυλιτικές λεπτοενστρώσεις ή τεκτονικά λατυποπαγή. Εξωτερικά παρουσιάζουν χαρακτηριστική καρστικότητα.

Ορατό πάχος: 180 m περίπου.

ΛΑΔΙΝΙΟ-ΚΑΡΝΙΟ

Αργιλικοί σχιστόλιθοι: απαντούν σε περιορισμένη έκταση στα κατώτερα μέλη της ζώνης Τριπόλεως και έχουν κινηθεί πάνω στη «φυλιτική-χαλαζιτική» σειρά. Πρόκειται για σχιστόλιθους πολύ χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης χρώματος υποκίτρινου, ερυθροϊώδους ή και πρασινωπού. Έχουν ιστό λεπιδοβλαστικό και υφή παράλληλη.

Τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά τους είναι σερικίτης, χλωρίτης, χαλαζίας, άστριοι και δευτερόντα οξείδια – υδροξείδια του σιδήρου και οργανικές ουσίες. Στον παραπάνω σχηματισμό περιλαμβάνονται ασβεστόλιθοι λεπτομεσοστρωματώδεις χρώματος σκοτεινού έως τεφρού, με αυξανόμενη πυκνότητα εμφάνισης και πάχους στα ανώτερα μέλη τους, δημιουργώντας ζώνη μετάδοσης προς τα ανθρακικά μέλη της ζώνης Τριπόλεως. Ο ακριβής διαχωρισμός των σχιστολίθων Τριπόλεως από την υποκείμενη «φυλιτική-χαλαζιτική σειρά» είναι δύσκολος εξαιτίας των λιθολογικών ομοιοτήτων που παρουσιάζουν. Η ηλικία δίνεται συγκριτικά από δεδομένα ανάλογων σχηματισμών που απαντούν στην ευρύτερη περιοχή.

Πάχος 50 m περίπου.

ΦΥΛΙΤΙΚΗ-ΧΑΛΑΖΙΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ

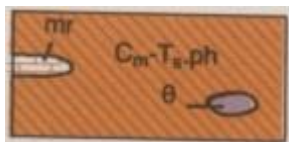
ΜΕΣΟΛΙΘΑΝΘΡΑΚΟΦΟΡΟ ΑΝΩΤ.-ΤΡΙΑΔΙΚΟ

Βρίσκεται επωθημένη πάνω στους ανθρακικούς σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης. Η επαφή τους ορίζεται κυρίως από ρήγματα ή και από μυλονιτωμένη ζώνη της επώθησης. Είναι πολύ πτυχωμένη και πιθανώς λεπτωμένη. Αποτελείται από ένα σύνολο, μεταμορφωμένων κυρίως παραπετρωμάτων με λίγες παρεμβολές ορθοπετρωμάτων. Ο βαθμός μεταμόρφωσης στα διάφορα πετρώματα ποικίλλει. Παρατηρούνται πετρώματα με χαμηλό βαθμό μεταμόρφωσης και άλλα μέχρι και μέσο βαθμό μεταμόρφωσης (αμφιβολιτική φάση).

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΛΥΜΑ ΤΡΥΠΑΛΙΟΥ

ΡΑΙΤΙΟ -ΛΙΑΣΙΟ

Λατυποπαγή και πορώδεις δολομίτες: απαντούν σε μικρές εμφανίσεις κυρίως στο Δ' τμήμα του χάρτη. Πρόκειται για ανακρυσταλωμένα ανθρακικά λατυποπαγή, χρώματος μαύρου έως τεφρού με κλαστικά στοιχεία διάφορου μεγέθους, άστρωτα έως παχυστρωματώδη. Στα κατώτερα



μέλη τους απαντούν ενστρωμένοι πορώδεις δολομίτες, χρώματος ερυθρού έως και υπόλευκου. Πάχος 30 m περίπου.

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟΚΑΛΥΜΑ ΤΡΥΠΑΛΙΟΥ

ΡΑΙΤΙΟ -ΛΙΑΣΙΟ

Λατυποπαγή και πορώδεις δολομίτες: απαντούν σε μικρές εμφανίσεις κυρίως στο Δ' τμήμα του χάρτη. Πρόκειται για ανακρυσταλωμένα ανθρακικά λατυποπαγή, χρώματος μαύρου έως τεφρού με κλαστικά στοιχεία διάφορου μεγέθους, άστρωτα έως παχυστρωματώδη. Στα κατώτερα μέλη τους απαντούν ενστρωμένοι πορώδεις δολομίτες, χρώματος ερυθρού έως και υπόλευκου. Πάχος 30 m περίπου.



ΠΑΡΑ-ΑΥΤΟΧΘΟΝΗ ΣΕΙΡΑ

ΙΟΝΙΟΣ ΖΩΝΗ

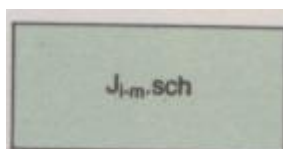
ΔΟΓΓΕΡΟ-ΙΟΚΑΙΝΟ

Ασβεστόλιθοι με πυριτιόλιθους: Πρόκειται για ασβεστολιθικά στρώματα χρώματος κυρίως σκοτεινού, σκοτεινότεφρου έως υπόλευκου, λεπτομεσοστρωματώδη, μεσο- χονδροκρυσταλλικά, ανακρυσταλωμένα, λίγο ή καθόλου δολομιτωμένα και κατά θέσεις ισχυρά πτυχωμένα που εναλλάσσονται με ισοπαχείς πυριτικές ενστρώσεις, κτρίως από χαλαζία και και λιγότερο από χαλκηδόνιο. Χρώματος μαύρου, μωβ και λιγότερο λευκού. Το πυριτικό υλικό εμφανίζεται και με τη μορφή ευμεγέθων φακών ή κονδύλων μέσα στα ασβεστολιθικά στρώματα.

Στρωματογραφικά ο σχηματισμός αυτός είναι ανάλογος του σχηματισμού της βίγλας της Ιονίου ζώνης. Η ηλικία του προσδιορίζεται συγκριτικά με ανάλογες μελετηθείσες περιοχές της Κρήτης.

Πάχος :150 m.

ΛΑΙΣΙΟ-ΔΟΓΓΕΡΙΟ



Σχιστόλιθοι χαλαζιακοί- ανθρακικοί-αργιλικοί :μικρές εμφανίσεις λεπτομεσοστρωματώδεις χρώματος υποκίτρινου έως ανοιχτοκίτρινου με χαρακτηριστική κατά θέσεις πορώδη επιφάνεια. Έχουν υποστεί ελαφρά τοπική μεταμόρφωση και παρουσιάζουν ιστό μικρο-μεσα-αδροκρυσταλλικό και υφή συμπαγή, παράλληλα προσανατολισμένη. Το πυριτικού υλικό είναι κυρίως χαλκηδόνιος και λιγότερο χαλαζίας με Ακτινόζωα σε συσσωματώματα μέσα στους συγγενητικούς

ασβεστιτικούς, αργιλικούς και υδρομαρμαρυγιακούς σχιστολίθους. Το ανθρακικό υλικό (ασβεστίτης) δημιουργεί διαφόρου πάχους παράλληλες διακεκομμένες στρώσεις, ενώ τα αργιλικά ορυκτά και οι υδρομαρμαρυγίες λεπτοστρώσεις. Η στρωματογραφική τους θέση αντιστοιχεί στους σχιστόλιθους με Ποσιδώνειες του Λιάσιου-Δογγέριου της Ιονίου ζώνης.

Πάχος 30 m.



ΑΝΩΤ. ΤΡΙΑΔΙΚΟ- ΚΑΤΩΤΑΤΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ

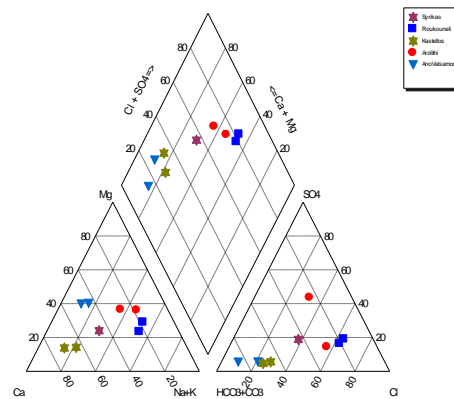
Δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι: ρηχής θάλασσας με χρώμα λευκό, λαυκόφαιο, κυανό κατά θέσεις σκοτεινόχρωμο. Στα κατώτερα μέλη διακρίνονται δολομίτες (τοπικά ζαχαρώδεις) και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι άστρωτοι έως παχυστρωματώδεις, έντονα ανακρουσταλμένοι με λεπτές φυλιτικές διαστρώσεις. Αντίθετα προς τα πάνω το δολομιτικό υλικό υποχωρεί με αντίστοιχη αύξηση του ασβεστιτικού. Στα μεσαία και ανώτερα μέλη τους παρεμβάλλονται συνήθως ορίζοντες από αδρομερή συνεκτικά λατυποπαγή που κατά θέσεις εγκλείουν μικρούς χαλαζιακούς κονδύλους μαύρου χρώματος.

Συχνή είναι η παρουσία οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου που εμφανίζονται στα διάκενα των ανθρακικών πετρωμάτων σε μικρές συγκεντρώσεις ιδιόμορφων κρυστάλων. Έχουν υποστεί έντονη διαρρηκτική και ελάχιστη τεκτονική συμπίεσης. Η ηλικία τους, η στρωματογραφική τους θέση και το περιβάλλον ιζηματογένεσης τους (ρηχή θάλασσα) αντιστοιχούν στη φάση «Παντοκράτορα» της Ιονίου ζώνης.

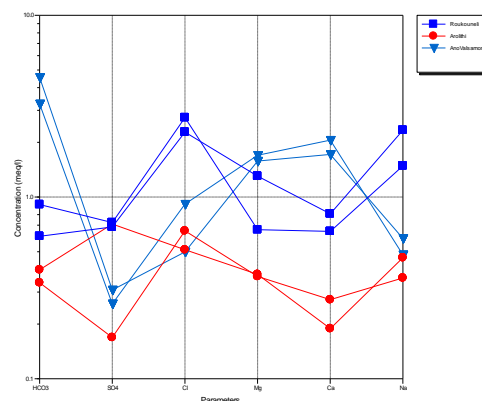
Πανίδα Γαστερόποδα, Megalodon και φύκη.

Ορατό πάχος : 800 m περίπου

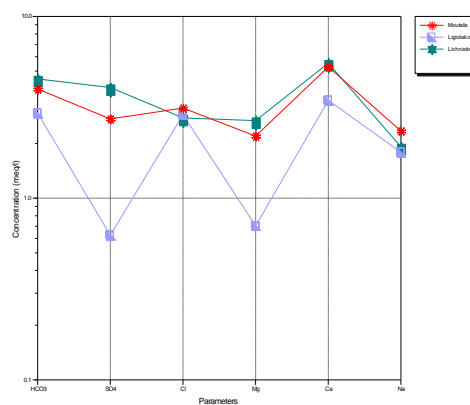
Υδροχημικά διαγράμματα ανάλογα με το αν η κάθε πηγή αναφέρεται στο Λέκκα, 1938 και το γεωλογικό σχηματισμό στον οποίο παρατηρούνται οι εκροές:



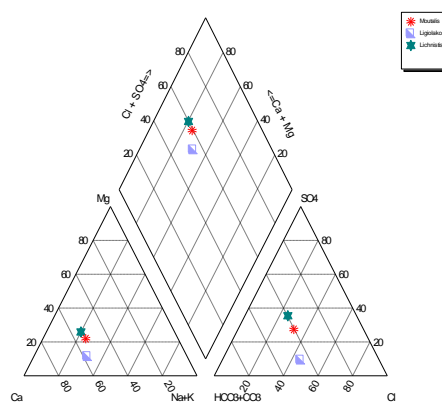
Εικόνα 35. Διάγραμμα Piper για τις πηγές που εκρέουν στη φυλλιτική χαλαζιτική σειρά και αναφέρονται στο Λέκκα, 1938



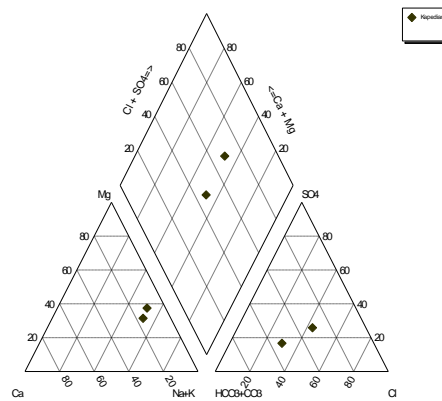
Εικόνα 36. Διάγραμμα Schoeller για τις πηγές που εκρέουν στη φυλλιτική χαλαζιτική σειρά και αναφέρονται στο Λέκκα, 1938



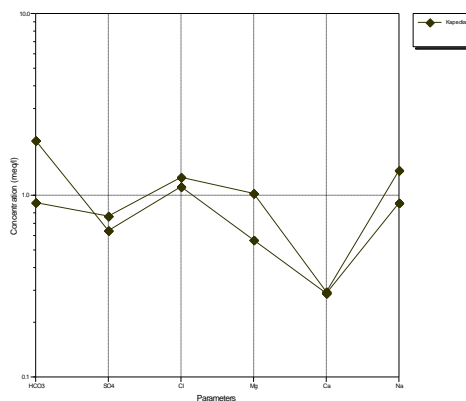
Εικόνα 37 Διάγραμμα Schoeller για τις πηγές που εκρέουν στη ζώνη Πίνδου



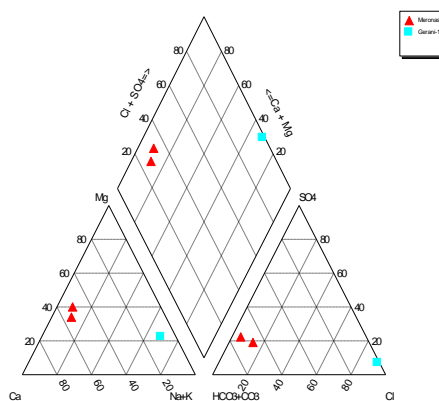
Εικόνα 38. Διάγραμμα Piper για τις πηγές που εκρέουν στη ζώνη Πίνδου και αναφέρονται στο Λέκκα, 1938



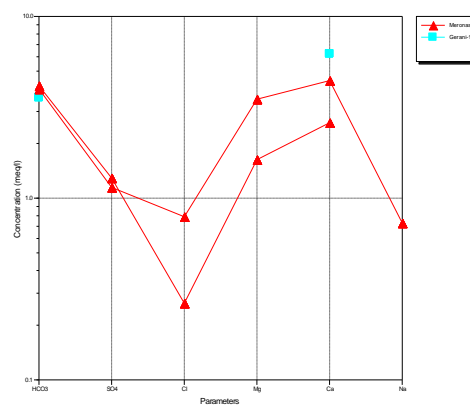
Εικόνα 39. Διάγραμμα Piper για τις πηγές που εκρέουν στους πλακώδεις ασβεστόλιθους και αναφέρονται στο Λέκκα, 1938



Εικόνα 40. Διάγραμμα Schoeller για τις πηγές που εκρέουν στους πλακώδεις ασβεστόλιθους και αναφέρονται στο Λέκκα, 1938



Εικόνα 41. Διάγραμμα Piper για τις πηγές που εκρέουν στη ζώνη Τρίπολης και αναφέρονται στο Λέκκα, 1938



Εικόνα 42 Διάγραμμα Schoeller για τις πηγές που εκρέουν στη ζώνη Τρίπολης και αναφέρονται στο Λέκκα, 1938