



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ (ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ,
ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ, ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ)

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Γεωλογική και υδροχημική μελέτη των ιστορικά
ιαματικών και θερμομεταλλικών πηγών του Φυλλιτικού
Καλύμματος στην Δυτική Κρήτη

Μπουτσάκης Κωνσταντίνος

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

*Καθ. Ε. Μανούτσογλου (Επιβλέπων),
Καθ. Ν. Καλλίθρακας – Κόντος,
Δρ. Μ. Κριτωτάκης, Δ/ση Υδάτων, Αποκεντρωμένη Διοίκηση
Κρήτης*

Χανιά,
Φεβρουάριος 2021

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

Ευχαριστίες

Με αφορμή την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής τον Καθ. Ε. Μανούτσογλου και τον Δρ. Ν. Σπανουδάκη για την καθοδήγηση και υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εξεταστική επιτροπή για τη συμμετοχή τους και συγκεκριμένα τον καθηγητή Ν. Καλλίθρακας – Κόντος και τον Δρ. Μ. Κριτσωτάκη (Δ/νση Υδάτων, Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης).

Τέλος, δε θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για την υποστήριξη, το κουράγιο και την καθοδήγηση που μου παρέχουν σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Οι γεωλογικές συνθήκες που ευνοούν τη δημιουργία των ιαματικών και θερμομεταλλικών πηγών εντός της Φυλλιτικής Χαλαζιτικής σειράς του τεκτονικού καλύμματος της Δυτικής Κρήτης και η σχέση μεταξύ του χημισμού των πηγών και του υδροφορέα αποτελούν το αντικείμενο διερεύνησης αυτής της εργασίας.

Η κίνηση του υπόγειου νερού, το οποίο διεισδύει στο φυλλιτικό κάλυμμα μέσω των ασυνεχειών και ο χρόνος παραμονής του στον υδροφορέα, συνδυαστικά με τη διαλυτική του δράση έχουν κυρίαρχο ρόλο στο χημισμό των πηγών.

Συγκεκριμένα γίνεται επεξεργασία των αποτελεσμάτων προγενέστερων ερευνών στις περιοχές Καλλικράτης (πηγή Ξινόνερο), Βοθιανά (πηγή Αρελιό), Στροβλές, Μουστάκος, Τεμένια, Αρολίθι, Καπεδιανά και Ανισαράκι στη Δυτική Κρήτη.

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων από δείγματα νερού των παραπάνω πηγών μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν ως προς την περιεκτικότητά τους σε κύρια ανιόντα και κατιόντα μέσω υδροχημικών διαγραμμάτων και ως προς τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους.

Στις υπό μελέτη πηγές εντοπίστηκαν δυο ακραία χαρακτηριστικά, η πηγή Ξινόνερο η οποία είναι μια όξινη πηγή με $pH = 2,8 - 3,2$, σε αντίθεση με όλες τις υπόλοιπες πηγές οι οποίες είναι ολιγομεταλλικές με $TDS < 155 \text{ mg/L}$. Ακόμα, οι πηγές περιέχουν ελάχιστα θειικά, $0,01 \text{ mg/L}$ έως $121,99 \text{ mg/L}$. Τα ύδατα των πηγών είναι ψυχρά ως υπόθερμα και είναι τύπου κάλιο-νατρίουχο-χλώριο-θειικό.

Συμπερασματικά, η σχετικά αυξημένη τιμή αμμωνίας (NH_4) που εντοπίζεται σε όλες τις πηγές, μπορεί να είναι δείκτης βιολογικής ρύπανσης. Τα δυο ακραία χαρακτηριστικά των νερών που εκρέουν από συγκεκριμένες πηγές στο Φυλλιτικό κάλυμμα είναι η χαμηλή τιμή των $TDS (\leq 200 \text{ mg/L})$, επομένως χαρακτηρίζονται ως ολιγομεταλλικές και το όξινο pH της πηγής Ξινόνερο. Η αναγωγή των μεικτών θειούχων είναι η αιτία που το νερό της πηγής Ξινόνερο είναι όξινο. Απ' την αναγωγή αυτή ο δισθενής σίδηρος (Fe^{2+}) μετατρέπεται σε τρισθενή (Fe^{3+}) και αποτίθεται, με αποτέλεσμα τη δημιουργία σιδηρούχων αποθέσεων στην περιοχή.

Abstract

This research analyzes the geological conditions for the creation of thermal and thermo-metallic springs in the tectonic cover of Phyllite Quartzite serie in Western Crete and the relationship between springs' and aquifer's chemistry.

Groundwater move in the Phyllite formation, through rockmass joints, as well as the residence time inside the aquifer and the dissolution of the rock, mold the chemistry of the springs.

Specifically, the results of previous surveys in the areas of Kallikratis (Ksinonero Spring), Vothiana (Arelia Spring), Strovles, Moustakos, Temenia, Arolithi, Kapediana and Anisaraki in Western Crete, are being processed.

The results of water samples' chemical analysis from the springs were investigated and compared in terms of their content of major anions and cations through hydrochemical diagrams and their physicochemical characteristics.

Ksinonero acid spring has pH= 2,8 - 3,2 in contrast all the other oligometallic springs with TDS< 155 mg/L. The content in sulfides in the water samples is between 0,01 mg/L and 121,99 mg/L. Also water temperature can be defined from cold to hypotherm "K-Na-Cl-S".

In conclusion, the relatively high ammonia (NH_4) found in all sources may be an indicator of biological type of pollution. The two extreme characteristics of the waters flowing from specific springs in the Phyllite Nappe are the low value of TDS ($\leq 200\text{mg/L}$), therefore they are characterized as oligometallic and the acidic pH of the source Xinonero. The reduction of mixed sulfides is the reason that the water of the Xinonero spring is acidic. From this reduction the ferrous iron (Fe^{2+}) is converted to ferric iron (Fe^{3+}) and deposited, as a result of the formation of iron deposits in the area.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	11
1.1 Σκοπός - αντικείμενο εργασίας.....	11
1.2 Ιστορικά Ιαματικές Πηγές Δυτικής Κρήτης.....	11
1.3 Περιοχή έρευνας	13
1.4 Αρχαίες πόλεις πλησίον των υπο μελέτη πηγών	16
1.4.1 Έλυρος	16
1.4.2 Υρτακίνα	16
1.4.3 Αρχαία Κάντανος	17
Κεφάλαιο 2: Γεωλογική Επισκόπηση - Τεκτονική.....	18
2.1 Τεκτονικά καλύμματα Κρήτης.....	18
2.2 Γεωλογία περιοχής που εμφανίζονται οι πηγές	21
2.3 Φυλλιτική - Χαλαζιτική Σειρά Κρήτης	22
2.3.1 Βιβλιογραφικές αναφορές στην Φυλλιτική Χαλαζιτική σειρά Κρήτης.....	25
2.3.2 Συνθήκες μεταμόρφωσης φυλλιτικής χαλαζιτικής σειράς Κρήτης.	28
2.3.3 Παραμόρφωση φυλλιτικής χαλαζιτικής σειράς Κρήτης.	30
2.3.4 Χημισμός της Φυλλιτικής Χαλαζιτικής Σειράς.....	32
Κεφάλαιο 3: Υδρολογία - Υδρογεωλογία.....	37
3.1 Εισαγωγή.....	37
3.2 Φυσικοχημικές παράμετροι και χαρακτηρισμός υδάτων	37
3.2.1 Φυσικοχημικές παράμετροι υδάτων	37
3.2.2 Αμμωνία (NH_4).....	38
3.2.3 Ορισμός θερμομεταλλικών - ιαματικών νερών	38
3.2.4 Ολιγομεταλλικές πηγές – αίτια μικρότερων συγκεντρώσεων	41
3.2.5 Όξινες πηγές – ορισμός και γένεση.....	42
3.3 Νομοθεσία περί φυσικών μεταλλικών νερών.....	43
3.3.1 Κατηγορίες μεταλλικού νερού.....	44
3.4 Υδατικό δυναμικό κυριότερων υδρογεωλογικών ενοτήτων Κρήτης.....	46
3.5 Επίδραση της ορυκτολογικής σύστασης των υδροφορέων στο χημισμό του νερού	48
3.6 Υδρογεωλογική Θεώρηση των Σκληρών Διερρηγμένων Πετρωμάτων	50
3.6.1 Ασυνέχειες – Γενικές Έννοιες και Ορισμοί.....	52
3.6.2 Η επίδραση των ρηγμάτων στο υδρογεωλογικό καθεστώς.	53

3.7	Υδροφορίες εντός Φυλλιτικής Χαλαζιτικής Σειράς	53
3.7.1	Κυκλοφορία του υπόγειου νερού στους Φυλλίτες - Χαλαζίτες	54
3.8	Χαρακτηριστικά των πηγών της μελέτης	57
Κεφάλαιο 4: Οξείδωση / Διάλυση Μεικτών Θειούχων		59
4.1.1	Μεικτά Θειούχα / Σουλφίδια.	59
4.2	Χαρακτηριστικά θειούχων αλάτων σιδήρου.....	60
4.3	Οξείδωση.....	62
4.4	Ρυθμός οξείδωσης.....	66
4.4.1	Φυσικοί και χημικοί παράγοντες.....	66
4.4.2	Βιολογικοί παράγοντες.....	66
4.5	Οξείδωση σιδηροπυρίτη (FeS_2)	67
4.5.1	Μηχανισμοί αβιοτικής οξείδωσης σιδηροπυρίτη.....	69
4.6	Φαινόμενο όξινης απορροής μεταλλείων και όξινες πηγές	70
4.6.1	Στάδια Δημιουργίας και Μετανάστευση της Όξινης Απορροής Μεταλλείων	74
4.7	Αποθέσεις μεταλλευμάτων σιδήρου στην Δυτική Κρήτη	75
Κεφάλαιο 5: Παρουσίαση Αποτελεσμάτων και Αξιολόγηση		78
5.1	Εισαγωγή.....	78
5.2	Παρουσίαση διαθέσιμων δεδομένων.....	78
5.3	Δείγματα από πηγές του νομού Χανίων	86
5.3.1	Δείγματα από την πηγή Ξινόνερο.....	86
5.3.2	Δείγματα από την πηγή Τεμένια1	89
5.3.3	Δείγματα από την πηγή Τεμένια2.....	91
5.3.4	Δείγματα από την κρίνη Στροβλές.....	94
5.3.5	Δείγματα από την πηγή Ανισαράκι	96
5.3.6	Δείγματα από την πηγή Αρελιό	99
5.3.7	Δείγματα από την κρίνη Μουστάκος.....	102
5.3.8	Δείγματα από την πηγή Μουστάκος-Μαραγιανά	104
5.4	Δείγματα από πηγές του νομού Ρεθύμνης	107
5.4.1	Δείγματα από την πηγή Αρολίθι	107
5.4.2	Δείγματα από την πηγή Καπεδιανά.....	109
5.4.3	Υδροχημικά διάγραμματα.	112

5.5	Ιοντικοί Λόγοι	115
	Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα	118
	Κεφάλαιο 7: Βιβλιογραφία	121
7.1	Διεθνής	121
7.2	Ελληνική	128
7.3	Ιστοσελίδες	131
	Παραρτήματα	132

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Θέσεις υπό μελέτη πηγών	15
Πίνακας 2.1: Χημικοί τύποι των ορυκτών που απαντώνται στους Φυλλίτες Χαλαζίτες (http://www.geo.auth.gr/).....	34
Πίνακας 3.1: Ταξινόμηση πηγών κατά χημική σύσταση (Castany, 1963).....	40
Πίνακας 3.2: Ταξινόμηση νερών ανάλογα με τα επικρατούντα ιόντα (Αθανασούλης κ.ά.,2009).....	41
Πίνακας 3.3: Ενδείξεις μεταλλικού νερού και τα κριτήρια τους (ΟΔΗΓΙΑ 2009/54/ΕΚ)....	45
Πίνακας 3.4: Συστατικά που είναι παρόντα με φυσικό τρόπο στα μεταλλικά νερά και οι ανώτατες οριακές τιμές των οποίων η υπέρβαση μπορεί να προκαλέσει κίνδυνο στην δημόσια υγεία. (ΦΕΚ 3282Β της 19/09/2017).....	46
Πίνακας 4.1: Προϊόντα οξειδωσης κυριότερων θειούχων ορυκτών (Κούρτης, 2007)	73
Πίνακας 5.1: Συντεταγμένες και Ημερομηνίες	78
Πίνακας 5.2: Φυσικοχημικές παράμετροι.....	80
Πίνακας 5.3: Συγκεντρώσεις κύριων ιόντων στο νερό.....	81
Πίνακας 5.4: Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στο νερό.....	82
Πίνακας 5.5: Τιμές των ιοντικών λόγων στα νερά των υπό μελέτη πηγών.	115
Πίνακας 0.1: Συντεταγμένες βροχομετρικών σταθμών Χανίων (Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης).....	132
Πίνακας 0.2: Βροχομετρικά στοιχεία Ασκύφου Χανίων (Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης).....	133
Πίνακας 0.3: Βροχομετρικά στοιχεία Καλύβες Χανίων (Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης).....	134
Πίνακας 0.4: Βροχομετρικά στοιχεία Μουρί Χανίων (Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης).	136
Πίνακας 0.5: Βροχομετρικά στοιχεία Παλαιά Ρούματα Χανίων (Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης).....	137
Πίνακας 0.6: Βροχομετρικά στοιχεία Πρασσές Χανίων (Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης).....	139
Πίνακας 0.7: Βροχομετρικά στοιχεία Μετεωρολογικού Σταθμού Χανίων (Σχέδιο διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης, Σεπτέμβριος 2017).....	140

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: Θέσεις ιαματικών πηγών στη νήσο Κρήτη (Λέκκας, 1938)	13
Εικόνα 1.2: Οι θέσεις των υπό μελέτη πηγών στην δυτική Κρήτη, (κατασκευάστηκε με το πρόγραμμα ArcMap και το γεωλογικό υπόβαθρο προέρχεται από τα στοιχεία της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης)	14
Εικόνα 1.3 Άποψη της οχύρωσης (Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού)	16
Εικόνα 1.4: Η νότια είσοδος της Υρτακίνας (Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού).....	17
Εικόνα 2.1: Τεκτονική διάταξη των τεκτονοστρωματογραφικών ενοτήτων στην Κρήτη (τροποποιημένη από Seidel et al., 1982).	19
Εικόνα 2.2: Σχηματικός χάρτης του προσανατολισμού των κύριων τεκτονικών δομών της Κρήτης. (Angelier et al, 1982).	20
Εικόνα 2.3: Σχηματική απεικόνιση της γεωλογίας της περιοχής του δυτικού τμήματος της ΠΕ Χανίων από τον Creutzburg, (1977) (Krahl et al, 1981), όπου υποδεικνύονται οι περιοχές εμφάνισης των πηγών Αρέλιο, Στροβλές και Μουστάκο.....	21
Εικόνα 2.4: Σκαρίφημα γεωλογικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής μελέτης (από Skourtsos et al., 2007).	22
Εικόνα 2.5: Εμφάνιση του ρήγματος αποκόλλησης Κρήτης (Cretan detachment fault). (Rahl et al, 2005)	24
Εικόνα 2.6: (Α). Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης Κρήτης, όπου διακρίνονται οι θέσεις λήψης δείγματος για αναλύσεις RSCM (Raman spectroscopic carbonaceous material). (Β) Προβλεπόμενη θερμοκρασία από τις αναλύσεις RSCM, κατανεμημένες στο διάγραμμα βάσει γεωγραφικού μήκους. (Rahl et al, 2005).....	25
Εικόνα 2.7: Συγκεντρωτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων ραδιοχρονολόγησης με τη μέθοδο K-Ar (σε εκατομ. χρόνια) της αλπικής μεταμόρφωσης των Φυλλιτών-Χαλαζιτών στη Κρήτη και την Πελοπόννησο (από Seidel et al 1982).	26
Εικόνα 2.8: Οι στρωματογραφικές-τεκτονικές Ενότητες της Δυτικής Κρήτης, (Κατά Ι. Μυλωνάκη. Από γεωλογικό χάρτη φύλλου «Ρέθυμνο», κλίμακας 1:50.000, Ι.Γ.Μ.Ε., 1988).27	
Εικόνα 2.9: Λιθολογική υποδιαίρεση του Φυλλιτικού καλύμματος κατά Dornsiepen και Manutsoglu (1994).	28
Εικόνα 2.10: Διάγραμμα Πίεσης - Θερμοκρασίας - Χρόνου για τη μεταμόρφωση της ΦΧΣ σύμφωνα με τους Theye et al. (1992), Theye και Seidel (1993), Kuster και Stockhert (1997), Seidel et al. (1982) και Jolivet et al. (1996), Thomson et al. (1998). Τα στάδια της	

παραμόρφωσης σημειώνονται με μαύρο χρώμα στην καμπύλη του διαγράμματος. (Stöckhert et al, 1999).....	30
<i>Εικόνα 2.11::Τεκτονικός χάρτης Κρήτης απλοποιημένος από τους Creutzburg et al. (1977) και Bonneau (1977). Τα μάυρα βέλη υποδηλώνουν τις κινήσεις των μεταμορφικών - HP κινήσεων της ΦΧΣ (Jolivet et al., 1996).....</i>	<i>31</i>
Εικόνα 2.12: Σχηματική απεικόνιση των τεκτονικών καλυμμάτων και των τεκτονικών δομών στη Δ. Κρήτη σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη της Κρήτης από τον Creutzburg et al. (1977). (Greiling, 1982).	32
Εικόνα 2.13: Χημικοί τύποι των πυριτικών ορυκτών των μεταμορφωμένων πετρωμάτων (Mason, 1966).....	33
Εικόνα 2.14: Διαλυτότητα σε νερό του άμορφου πυριτίου και του χαλαζία σε σχέση με τη θερμοκρασία (Fournier and Rowe, 1977).	35
Εικόνα 3.1: Θερμή πηγή (κατά Castany G., 1968, ανασχεδιασμένο από Σούλιο Γ.)	39
Εικόνα 3.2: Διαχωρισμός υπόγειων υδατικών συστημάτων σε καρστικά, πορώδη και ρωγματώδη (Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης, 2013).	47
Εικόνα 3.3: Σχηματική παράσταση δημιουργίας υδροφόρου ορίζοντα εντός μανδύα αποσάθρωσης, όπου οι δευτερογενείς ασυνέχειες παίζουν καθοριστικό ρόλο (τροποποιημένη εικόνα από Famin et al., 2000) (Παρτσινεβέλου, 2016).....	50
Εικόνα 3.4: Τυπικό προφίλ αποσάθρωσης στα μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα (Deere and Patton, 1971).....	51
Εικόνα 3.5: Θεωρητικά μοντέλα κατακερματισμένων πετρωμάτων (a. Πραγματικός υδροφορέας, b. EPM, c. DF, d. DP) (Κλειδοπούλου, 2003 με πηγή: Gale, 1982).....	52
<i>Εικόνα 3.6: Σχηματική αναπαράσταση της επίδρασης των ρηγμάτων επί του καθεστώτος της υπόγειας ροής (Singhal and Gupta, 1999).</i>	<i>53</i>
Εικόνα 3.7: Σχηματική απεικόνιση της στρωματογραφικής ακολουθίας λεπιοειδούς διάταξης της Κρήτης. (Baumann et al, 1976).....	54
Εικόνα 3.8: Γεωλογικός χάρτης περιοχής ενδιαφέροντος με τις θέσεις των υπό εξέταση πηγών της ΦΧΣ. (Ο χάρτης κασκευάστηκε από το GIS, τα γεωλογικά δεδομένα προέρχονται από τα ανοιχτά δεδομένα της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης).	56
Εικόνα 3.9: Λεπτομέρεια Α από εικόνα 3.8. Απεικόνιση των πηγών Στροβλές, Μουστάκος, Μουστάκος-Μαραγιανά, Ανισαράκι και Αρελιό στον γεωλογικό χάρτη της περιοχής, εντός της Φυλλιτικής Χαλαζιτικής σειράς (Ο χάρτης κασκευάστηκε από το GIS, τα γεωλογικά δεδομένα προέρχονται από τα ανοιχτά δεδομένα της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης).....	57
Εικόνα 3.10: Λεπτομέρεια Β από εικόνα 3.8. Απεικόνιση των πηγών Ξινόνερο, Αρολίθι και Καπεδιανά στον γεωλογικό χάρτη της περιοχής, εντός της Φυλλιτικής Χαλαζιτικής	

σειράς.(Ο χάρτης κασκευάστηκε από το GIS, τα γεωλογικά δεδομένα προέρχονται από τα ανοιχτά δεδομένα της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης).....	57
Εικόνα 4.1: Η κρυσταλλική δομή του σιδηροπυρίτη (Χαρμαντάς,1998)	61
Εικόνα 4.2: . Σχηματική παράσταση των ζωνών κυκλοφορίας του νερού σε πετρώματα (Μελιδώνης, 1992)	63
Εικόνα 4.3: Ζώνωση δράσης των υπεργενετικών διεργασιών στους γεωλογικούς σχηματισμούς (Τροποποιήθηκε σημαντικά μετά τους Evans (1992) και Ottaway (1994))....	65
Εικόνα 4.4: Τα πεδία σταθερότητας μερικών από τα κύρια ορυκτά του χαλκού στις συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια της Γης (χαμηλή πίεση CO ₂), ως συντήρηση των τιμών pH και κατά Garrels και Christ, (1965). (Μελιδώνης, 1992).....	65
Εικόνα 4.5: Σύγκριση του μηχανισμού άμεσης και έμμεσης οξειδωσης των σουλφιδίων από βακτήρια (Sand et al., 2001)	67
Εικόνα 4.6 Σχηματικό διάγραμμα που απεικονίζει τη ζώνη αποκόλλησης και τις αποθέσεις οξειδίων του σιδήρου στην οροφή της ΦΧΣ στ Δυτική Κρήτη (Seidel et al, 2005).	76
Εικόνα 5.1: Θέση της πηγής Ξινόνερο (Α) εντός της Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής Σειράς, το βέλος δείχνει άνθρωπο που χρησιμοποιείται ως κλίμακα. (Β) Κύρια θέση εκφόρτισης της πηγής. (Γ) Σιδηρούχες αποθέσεις εμπρός από το σημείο εκφόρτισης της πηγής. (Δ) λειμωνιτικές εμφανίσεις εντός κατακερματισμένων φυλλιτών (από Μανούτσογλου 2018). ..	79
Εικόνα 5.1: Συγκεντρώσεις κύριων ιόντων	84
Εικόνα 5.3: Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων	84
Εικόνα 5.4: Διάγραμμα Piper	85
Εικόνα 5.5: Διάγραμμα Scoeller για όλες τις πηγές.....	86
Εικόνα 5.6: Διάγραμμα Schoeller για την πηγή Ξινόνερο.....	87
Εικόνα 5.7: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την πηγή Ξινόνερο.....	88
Εικόνα 5.8: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την πηγή Ξινόνερο	88
Εικόνα 5.9: Διάγραμμα Schoeller για την πηγή Τεμένια-1	90
Εικόνα 5.10: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την πηγή Τεμένια1	90
Εικόνα 5.11: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την πηγή Τεμένια1.....	91
Εικόνα 5.12: Διάγραμμα Schoeller για την πηγή Τεμένια-2.....	92
Εικόνα 5.13: Διάγραμμα Schoeller για τις πηγές Τεμένια-1 και Τεμένια-2.	93
Εικόνα 5.14: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την πηγή Τεμένια2.....	93
Εικόνα 5.15: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την πηγή Τεμένια2.....	94
Εικόνα 5.16: Διάγραμμα Schoeller για την κρίνη Στροβλές	95
Εικόνα 5.17: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την πηγή Στροβλές	96
Εικόνα 5.18: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την πηγή Στροβλές.....	96
Εικόνα 5.19:Διάγραμμα Schoeller για την πηγή Ανισαράκι.	98
Εικόνα 5.20: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την πηγή Ανισαράκι	98

Εικόνα 5.21: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την πηγή Ανισαράκι.....	99
Εικόνα 5.22: Διάγραμμα Schoeller για την πηγή Αρέλιο	100
Εικόνα 5.23: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την πηγή Αρελιό	101
Εικόνα 5.24: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την πηγή Αρελιό	101
Εικόνα 5.25: Διάγραμμα Schoeller για την κρίνη Μουστάκος.....	103
Εικόνα 5.26: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την κρίνη Μουστάκος.....	103
Εικόνα 5.27: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την κρίνη Μουστάκος	104
Εικόνα 5.28: Διάγραμμα Schoeller για την πηγή Μουστάκος-Μαραγιανά	105
Εικόνα 5.29: Διάγραμμα Schoeller για την πηγή Μουστάκος-Μαραγιανά και την κρίνη Μουστάκος.....	106
Εικόνα 5.30: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την πηγή Μουστάκος-Μαραγιανά	106
Εικόνα 5.31: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την πηγή Μουστάκος-Μαραγιανά	107
Εικόνα 5.32: Διάγραμμα Schoeller για την πηγή Αρολίθι	108
Εικόνα 5.33: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την πηγή Αρολίθι	109
Εικόνα 5.34: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την πηγή Αρολίθι.....	109
Εικόνα 5.35: Διάγραμμα Schoeller για την πηγή Καπεδιανά.....	111
Εικόνα 5.36: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την πηγή.....	111
Εικόνα 5.37: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την πηγή Καπεδιανά	112
Εικόνα 5.38: Διάγραμμα Ludwig-Langelier με ζώνες κατηγοριοποίησης νερών	113
Εικόνα 5.39: Διάγραμμα Wilcox.....	114
Εικόνα 5.40: Διάγραμμα Eh-pH	114
Εικόνα 5.41: Διάγραμμα Διασποράς $Mg/(Ca+Mg)$	116
Εικόνα 5.42: Διάγραμμα διασποράς $Na/(Cl+Na)$	116

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Σκοπός - αντικείμενο εργασίας

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία έχει σκοπό την αξιολόγηση των γεωλογικών και υδροχημικών συνθηκών που επικρατούν σε συγκεκριμένες πηγές επαφής που εμφανίζονται στο νοτιοδυτικό τμήμα της Κρήτης, εντός της Φυλλιτικής - Χαλαζιτικής σειράς (ΦΧΣ). Τα δεδομένα των πηγών, που θα συναξιολογηθούν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, παραχωρήθηκαν από το σχετικό αρχείο που διατηρεί και εμπλουτίζει ετήσια το Εργαστήριο Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ του χημισμού των παραπάνω πηγών και των υδροφόρων της ΦΧΣ, καθώς επίσης η εξήγηση των δυο ακραίων υδροχημικών πηγών εντός της Φυλλιτικής - Χαλαζιτικής σειράς.

Τα ύδατα ορισμένων πηγών καταγράφονται ιστορικά ως ιαματικά, σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο παρελθόν από τον Λέκκα (1938). Η έρευνα αυτή λειτούργησε ως βάση ώστε να ξεκινήσει η περαιτέρω έρευνα των πηγών Ξινόερο, Αρέλιο, Στροβλές, Μουστάκος, Μουστάκος-Μαραγιανά, Αρολίθι, Ανισαράκι, Τεμένια-1, Τεμένια-2 και Καπεδιανά και να παρθούν δείγματα.

Μεταγενέστερα, στις εργαστηριακές υποδομές του Πολυτεχνείου Κρήτης, πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων (των υδάτων) και δημιουργήθηκε βάση δεδομένων με τα δείγματα με την βοήθεια του λογισμικού AQUACHEM της Waterloo Hydrogeologic.

Τα δείγματα αυτά μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν ως προς την περιεκτικότητά τους σε κύρια ανιόντα και κατιόντα μέσω υδροχημικών διαγραμμάτων και ως προς τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους (pH, θερμοκρασία T (°C), συνολικά διαλυμένα στερεά TDS, ηλεκτρική αγωγιμότητα EC, δυναμικό οξειδοαναγωγής Eh κ.τ.λ.). Ενώ τέλος, με βάση τα ανόργανα στοιχεία των υδάτων έγινε σύγκριση με τα όρια που προβλέπουν η ΟΔΗΓΙΑ 2009/54/EK της 26/6/2009 και το ΦΕΚ 3282B της 19/09/2017 (Παράρτημα Α).

1.2 Ιστορικά Ιαματικές Πηγές Δυτικές Κρήτης

Ο Λέκκας (1938) αναφέρει «Η Ελλάς κατέχει αληθώς προνομιοῦχον θέσιν μεταξύ των χωρῶν, αἵτινες πλουσίως ἐπρωϊκίσθησαν ὑπὸ τῆς φύσεως ἀπὸ ποικίλης συστάσεως μεταλλικά ἱαματικά ὕδατα. Πρῶτον διότι εἰς τὰ ἐδάφη αὐτῆς ἀναβλύζει μέγας ἀριθμὸς μεταλλικῶν πηγῶν καὶ δεύτερον διότι ὅλοι οἱ τύποι καὶ αἱ κατηγορίαι τῶν μεταλλικῶν ὑδάτων ἀπαντῶσι παρ'αὐτῇ. Ὑδατα θειούχα καὶ ὑδροθειούχα, ἀλκαλικά, σιδηροῦχα, ραδιενεργά καὶ

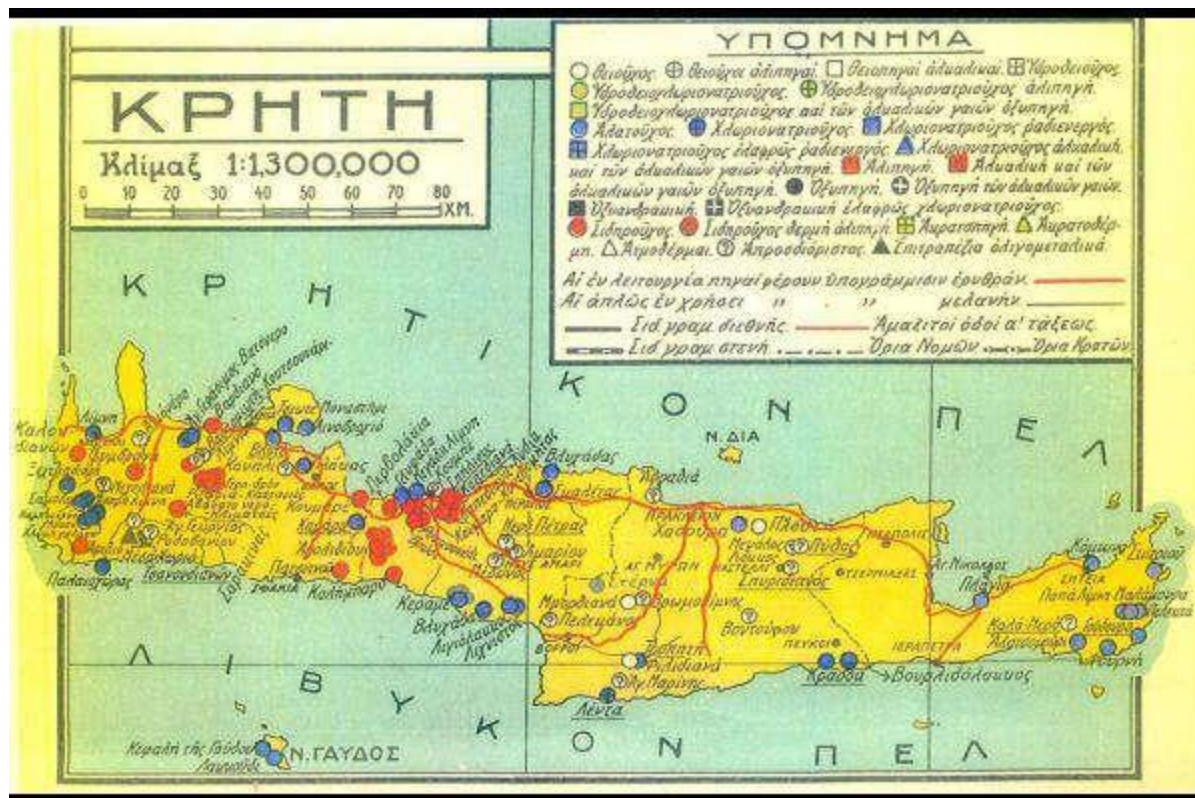
πλουσίως ραδιενεργά, χλωριονατριοῦχα, άκρατοθερμαί, άλιπηγαί και όξυπηγαί, δηλαδή παντός είδους μεταλλικά ὕδατα, άναπηδῶσιν έκ των έγκάτων τής γής τής Χώρας ταύτης».

Συγκεκριμένα αναφέρει ότι στην Κρήτη δεν εμφανίζονται πολλές ιαματικές πηγές, το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως διότι δεν έχει θερμές πηγές, οι περισσότερες από αυτές ήταν ψυχρές και μεταλλικές (Λέκκας, 1938). Κατά την έρευνα του ο Λέκκας (1938) εντοπίζει 101 μεταλλικές πηγές, οι περισσότερες των οποίων είναι σιδηρούχες αλατούχες πηγές. Υπάρχουν όμως και πηγές με μεταλλικά ύδατα εντελώς διαφορετικών συστάσεων (Λέκκας, 1938).

Στη Δυτική Κρήτη και συγκεκριμένα στο νομό Χανίων εντοπίζονται σύμφωνα με τον Λέκκα (1938) 38 ιστορικά ιαματικές πηγές. Στο Μέσα Χωριό (Λιμπιναρέ), σημερινά Τεμνία, υπάρχει πηγή ιαματική πόσιμος, διουρητική. Στην περιοχή Κουμαρές πηγάζει πικρό κόκκινο νερό, ελάχιστης ποσότητας. Στα χωριά Στύλος Αποκορώνου, Ροδοβάνι, Πλεμενιανά, Βατόλακκος στις θέσεις Βασαρμιώτη και Λιμιά, Επισκοπή, εντοπίστηκαν ιαματικές πηγές. Σε τρεις τοποθεσίες στο χωριό Σαρακήνα εντοπίστηκαν σιδηρούχες πηγές. Σημαντική πηγή με σιδηρούχα ύδατα θεωρείται η πηγή στο χωριό Μουστάκος στη θέση Αρελιό καθώς επί Τουρκοκρατίας χρησιμοποιούνταν από τους μπέηδες. Στην περιοχή Σούδα πηγάζει υφάλμυρο νερό, το οποίο χρησιμοποιούνταν παλαιότερα ως καθαρτικό. Κοντά στα χωριά Βρύσες και Καλουδιανά απαντώνται πηγές με χαρακτηριστικά πικρά και κόκκινα ύδατα. Στο χωριό Πασιανός της επαρχίας Σφακίων απαντάται πηγή της οποίας το νερό χαρακτηρίζεται κόκκινο και ξινό. Στο χωριό Σηρικάρι εντοπίστηκαν ύδατα, τα οποία έχουν κόκκινο χρώμα και χρησιμοποιούνταν από τους κατοίκους για τη βαφή υφασμάτων. Ακόμα, σιδηρούχα νερά εντοπίζονται πλησίον των χωριών Αγία Μαρίνα, Καρές, Βατόλακκος στη θέση Κουτσουνάρι, Πλάτανος στη περιοχή Ζυμβραγού. Επίσης, υπάρχουν αλατούχες πηγές όπου το νερό τους χρησιμοποιούνταν για καθαρική χρήση. Τέτοιες πηγές απαντώνται κοντά στα χωριά/περιοχές Πλάκας, Καλύβια, Σκλαβοπούλα, Γιαλισκάρι, Στέρνες, Αρώνι, Καστέλι στη θέση Λίμνη, Κάμπος, Άσπρη λίμνη και Πλάτανος (Λέκκας, 1938).

Στο νομό Ρεθύμνης εντοπίζονται σύμφωνα με τον Λέκκα (1938) 15 ιστορικά ιαματικές πηγές. Συγκεκριμένα, στο χωριό Αμάρι απαντάται μεταλλική πηγή. Κοντά στο χωριό Μέρωνα βρέθηκε ιαματική πηγή, η οποία χρησιμοποιούνταν από τους Ένετούς και Τούρκους. Ακόμα, κοντά στο χωριό Θρόνος εντοπίστηκε ιαματική πηγή που χρησιμοποιούνταν για θεραπεία. Στα χωριά Σελλιά, Καπεδιανά, Χρωμοναστήρι και Αρμένοι (σε δυο θέσεις) εντοπίστηκαν πηγές με σιδηρούχα ύδατα. Στο χωριό Γωνιά εντοπίστηκαν δυο πηγές σε διαφορετικές θέσεις, η πρώτη είχε κόκκινο νερό ενώ το νερό της δεύτερης χαρακτηρίστηκε ως ολιγομεταλλικό. Αλατούχες πηγές εντοπίστηκαν και σε αυτό το νομό, τα νερά των οποίων χρησιμοποιούνταν για καθαρική χρήση. Τέτοιες πηγές απαντώνται στα

χωριά Σκαλέτα, Κεραμέ (σε τέσσερεις θέσεις), Μέλαμπες (σε δύο θέσεις), Σακτούρια και Ατσιπόπουλο.

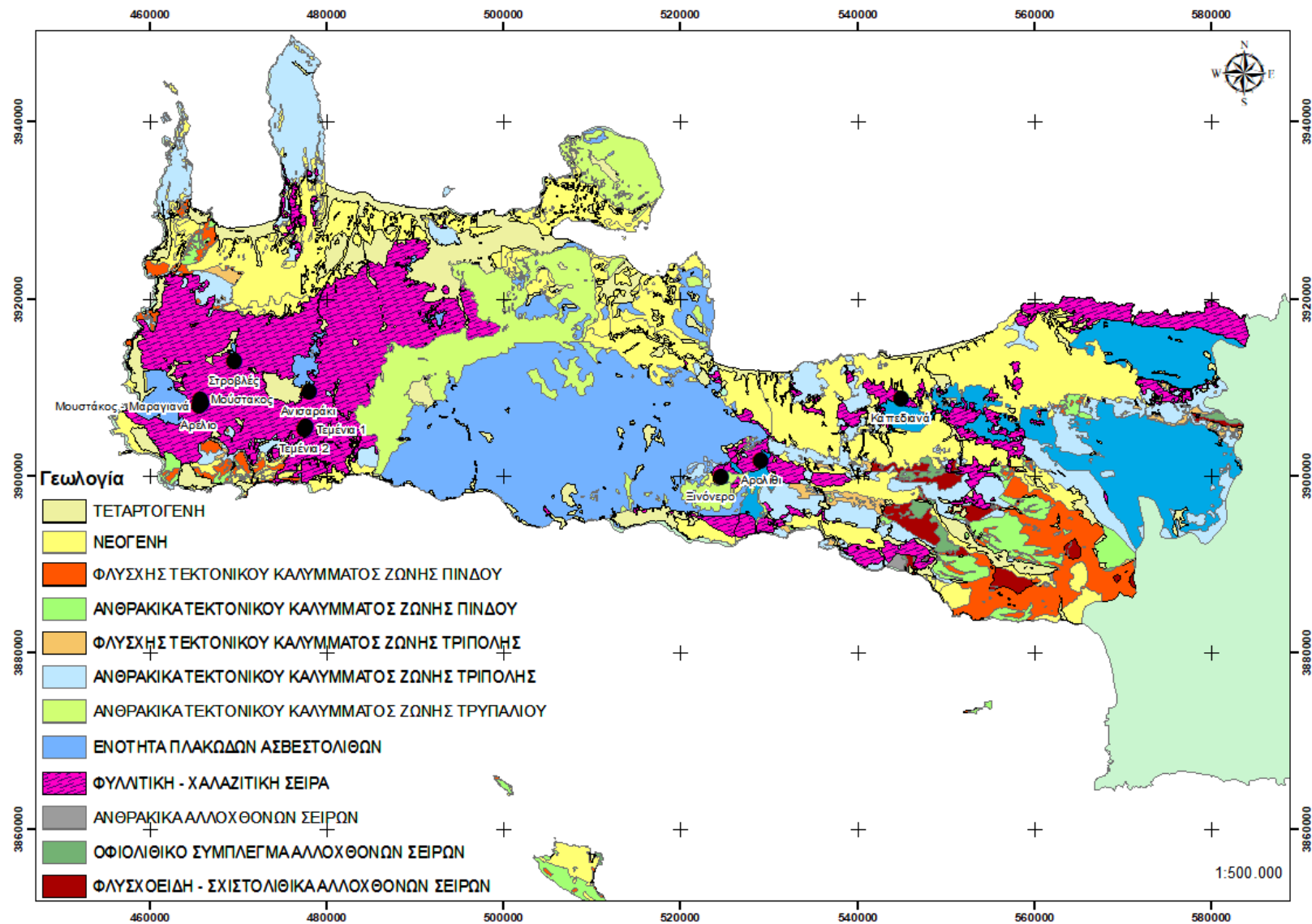


Εικόνα 1.1: Θέσεις ιαματικών πηγών στη νήσο Κρήτη (Λέκκας, 1938)

Τα επόμενα χρόνια επιστήμονες και ερευνητές βασιζόμενοι στις παρατηρήσεις και τις αναφορές του Λέκκα (1938) ξεκίνησαν τη διερεύνηση των ιαματικών πηγών και την περαιτέρω μελέτη των μεθόδων αξιοποίησής τους.

1.3 Περιοχή έρευνας

Η περιοχή ενδιαφέροντος της παρούσας εργασίας αφορά στις πηγές που εμφανίζονται στο Φυλλιτικό - Χαλαζιτικό κάλυμμα που δομεί γεωλογικά το Δυτικό τμήμα του νησιού. Για την παρουσίαση των πηγών κατασκευάστηκε στο πρόγραμμα ArcMap χάρτης με τη γεωλογία της δυτικής Κρήτης σύμφωνα με τα στοιχεία την Αποκεντρωμένης Διοίκησης.



Εικόνα 1.2: Οι θέσεις των υπό μελέτη πηγών στην δυτική Κρήτη, (κατασκευάστηκε με το πρόγραμμα ArcMap και το γεωλογικό υπόβαθρο προέρχεται από τα στοιχεία της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης)

Συγκεκριμένα η έρευνα της παρούσας εργασίας επικεντρώνεται στις πηγές:

α) η πηγή Ξινόνερο, β) η πηγή Αρέλιο, γ) η πηγή Στροβλές και δ) η κρίνη Μουστάκο ε) η πηγή Μουστάκος-Μαραγιανά στ) η πηγή Τεμένια1 ζ) η πηγή Τεμένια2 η) η πηγή Αρολίθι θ) η πηγή Ανισαράκι ι) η πηγή Καπεδιανά και συγκεκριμένα στις συνθήκες που ευνόησαν τη δημιουργία τους καθώς και στο χημισμό τους και κατά πως επηρεάζεται από το χημισμό της ΦΧΣ.

Η τοποθεσία και οι ακριβείς συντεταγμένες της κάθε πηγής δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 1.1: Θέσεις υπό μελέτη πηγών

Πηγή	Τοποθεσία	X (m)	Y(m)	Υψόμετρο (m)
Ξινόνερο	Χανιά	524612	3899851	850
Αρέλιο		465598	3907946	556
Στροβλές Κρήνη		469498	3912924	495
Μουστάκος Κρήνη		465754	3908624	537
Μουστάκος- Μαραγιανά		465795	3908242	570
Ανισαράκι		477964	3909520	545
Τεμένια 1		477638	3905521	732
Τεμένια 2		477491	3905232	714
Αρολίθι	Ρέθυμνο	529052	3901741	551
Καπεδιανά		545043	3908678	357

1.4 Αρχαίες πόλεις πλησίον των υπο μελέτη πηγών

1.4.1 Έλυρος

Η Έλυρος ήταν αρχαία πόλη στη νοτιοδυτική Κρήτη στον λόφο Κεφάλα, κοντά στο σημερινό χωριό Ροδοβάνι. Η Έλυρος άκμασε τουλάχιστον μέχρι την Ελληνική κλασσική περίοδο, από το 500 έως το 350 π.Χ. Κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτή, η Έλυρος αποτέλεσε ένα από τα σημαντικότερα αστικά κέντρα της νοτιοδυτικής Κρήτης, έχοντας πληθυσμό περίπου 16.000 κατοίκων. Αποτέλεσε κέντρο βιοτεχνίας και εμπορίου με μεγάλη παραγωγή όπλων. Επίνειά της ήταν η Συία και η Λισσός (<https://el.wikipedia.org/>).

1.4.2 Υρτακίνα

Στα όρια της κοινότητας Τεμενίων βρίσκονται τα ερείπια της Μινωικής πόλης Υρτακίνας, η οποία ήταν χτισμένη σε υψόμετρο 900 μέτρα. Η Υρτακίνα υπήρξε μία από τις σπουδαιότερες αρχαίες πόλεις της ορεινής ενδοχώρας στη ΝΔ. Κρήτη. Η λέξη υρτακός αναφέρεται στο λεξικό του Ησύχιου, ως όστρεο (Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού).



Εικόνα 1.3 Αποψη της οχύρωσης (Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού)



Εικόνα 1.4: Η νότια είσοδος της Υρτακίνας (Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού)

Η αρχική εγκατάσταση στην περιτειχισμένη ακρόπολη ανάγεται στην Πρώιμη εποχή Σιδήρου ωστόσο, η ακμή της προσδιορίζεται από τον 4ο αιώνα π.Χ., εποχή κατά την οποία κόβει το δικό της νόμισμα με απεικόνιση κεφαλής αιγάγρου στον εμπροσθότυπο και μέλισσας στον οπισθότυπο. Μάλιστα, όπως διαπιστώνεται από τη μελέτη ευρημάτων η Υρτακίνα μέσω της Λισού εξασφάλιζε τη θαλάσσια επικοινωνία της, είτε με τις πόλεις της Βόρειας Αφρικής, είτε με τη νότια Ιταλία. Ο τρόπος δόμησης των κτηρίων και τα μέχρι τώρα τυχαία ευρήματα από την περιοχή, υποδηλώνουν ότι ο περιτειχισμένος οικισμός πιθανώς είχε εγκαταλειφθεί κατά τους ρωμαϊκούς χρόνους (Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού).

1.4.3 Αρχαία Καντάνος

Πλησίον των πηγών Μουστάκος και Ανισαράκι άκμασε τα Ρωμαϊκά και τα Βυζαντινά χρόνια η αρχαία πόλη της Καντάνου. Στα πρωτοχριστιανικά χρόνια ήταν έδρα επισκοπής. Δυστυχώς δεν έχουν γίνει συστηματικές ανασκαφές για να έλθουν στην επιφάνεια κτίσματα της Ρωμαϊκής περιόδου. Σε μεμονωμένες περιπτώσεις έχει ανακαλυφθεί ρωμαϊκό ψηφιδωτό δάπεδο, αγωγοί ύδρευσης κ.ά. Πλησίον της αρχαίας πόλης Καντάνου υπήρξαν κάποιες μικρότερες πόλεις όπως η Πέλκιν ή Πελεκάνες, Δουλόπολις, Καλαμίδι, Όριον.

Το Ανισαράκι είναι η μεγαλύτερη συνοικία της Καντάνου μετά το κέντρο της. Βρίσκεται σε απόσταση περίπου 3 χλμ. από το κέντρο της Καντάνου (<https://el.wikipedia.org/>).

Η ανάπτυξη πολιτισμού σε αυτές τις περιοχές είναι ταυτόχρονα και ένδειξη παρουσίας πόσιμου νερού.

Κεφάλαιο 2: Γεωλογική Επισκόπηση - Τεκτονική

2.1 Τεκτονικά καλύμματα Κρήτης

Για την αποσαφήνιση των γεωλογικών συνθηκών στις περιοχές δημιουργίας των πηγών που διερευνώνται στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια αναφορά στην διάταξη των τεκτονικών καλυμμάτων που απαντώνται στην Κρήτη με ιδιαίτερη έμφαση στην Φυλλιτική - Χαλαζιτική σειρά, στην οποία απαντώνται οι ως άνω πηγές.

Συνοπτικά η γεωλογική δομή της Κρήτης θα μπορούσε να αποδοθεί ως εξής σύμφωνα με τον Μανούσογλου (2017) «Η Κρήτη έχει μια ιδιαίτερα σύνθετη και πολύπλοκη γεωλογική δομή η οποία καθορίστηκε από τις αλπικές ορογενετικές διαδικασίες στην Ανατολική Μεσόγειο, λόγω σύγκλισης της λιθοσφαιρικής πλάκας της Ευρασίας με την πλάκα της Αφρικής. Χαρακτηρίζεται από πολύπλοκα τεκτονικά γεγονότα όπως η τοποθέτηση αλληπάλληλων τεκτονικών καλυμμάτων, η συμπίεση που εναλλάσσεται με την έκταση, η κατάρρευση των τεκτονικών καλυμμάτων, την εκταφή μεταμορφωμένων πετρωμάτων HP/LT καθώς και την δημιουργία ιζηματογενών λεκανών κατά το Νεογενές και Τεταρτογενές αλλά και την ανύψωση των πετρωμάτων του Νοεγενοϋς αλλά και του Τεταρτογενοϋς σε υψόμετρα εκατοντάδων μέτρων (Peterek & Schwarze, 2004). Αν και λείπουν πλουτώνιες δεισδύσεις και μαγματικοί θάλαμοι στην ευρύτερη περιοχή της Κρήτης η έντονη κυρίως νεοτεκτονική δραστηριότητα σε συνδυασμό με μια λιθοστρωματογραφική διάταξη υδρογεωλογικά περατών και αδιαπέρατων στρωμάτων δημιουργούν συνθήκες ανάπτυξης γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας, καθώς και εκατοντάδων πηγών ορισμένες εκ των οποίων είναι με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (όξινη, υπόθερμη) και χρίζουν ιδιαίτερης μελέτης».

Αναλυτικότερα αναφέρεται ότι η γεωλογία της Κρήτης παρουσιάζει ιδιαιτερότητα, καθώς χαρακτηρίζεται από αλληπάλληλα επωθημένα τεκτονικά καλύμματα των Ελληνίδων ζωνών τα οποία συνωθούνται στον μικρό γεωγραφικό χώρο του νησιού με κατεύθυνση από Βορρά προς Νότο (Μουντράκης, 1985).

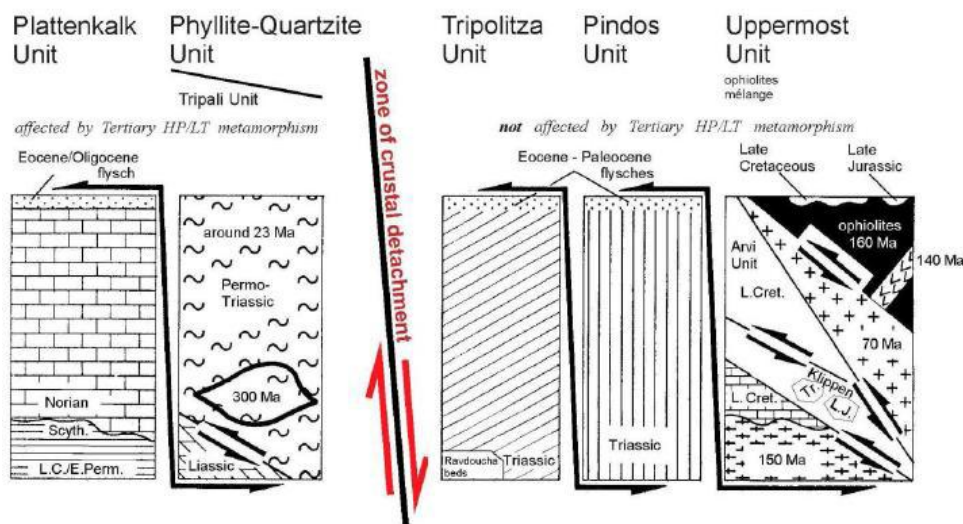
Συγκεκριμένα, συγκροτείται από ένα αυτόχθονο σύστημα που είναι η ενότητα των πλακωδών ασβεστολίθων - Plattenkalk, (δύο κλαστικές ακολουθίες στην βάση και την οροφή που περικλείουν ανθρακικά με κερατολίθους, Πέρμιο έως Ολιγόκαινο) πάνω στην οποία τοποθετούνται με λεπιοειδή τεκτονική διάταξη οι σειρές των πετρωμάτων των άλλων ζωνών και ενοτήτων. Η τεκτονική ακολουθία στο νησί σύμφωνα με τον Μουντράκη (1985) έχει ως εξής:

Πάνω στη σειρά των πλακωδών ασβεστολίθων βρίσκεται η σειρά Τρυπαλίου, η οποία είναι μια σειρά κροκαλοπαγών – λατυποπαγών ασβεστολίθων. Στην συνέχεια επωθημένη

πάνω στη σειρά Τρυπαλίου βρίσκεται η Φυλλιτική – Χαλαζιτική σειρά ηλικίας Πέρμιου – Τριαδικού. Σύμφωνα με τον Μανούσογλου (2001), στη ΦΧΣ στα κατώτερα τμήματα παρουσιάζονται εντός δολομιτών και ραουβάκων εμφανίσεις γύψου και ανυδρίτου ενώ στα ανώτερα εναλλαγές φυλλιτών με στρώσεις χαλαζιτών και στρώσεις μετα-ηφαιστίτων.

Επάνω στη ΦΧΣ βρίσκεται επωθημένη η ζώνη Γαβρόβου – Τριπόλεως και σε ανώτερη τεκτονική θέση βρίσκεται επωθημένο το τεκτονικό κάλυμμα της Ζώνης Πίνδου. Τα παραπάνω τεκτονικά καλύμματα αποτελούν τις εξωτερικές Ελληνίδες στο χώρο της Κρήτης. Σε ανώτερη τεκτονική θέση βρίσκονται αλλόχθονα τεκτονικά λείπια των εσωτερικών ζωνών. Τέλος, πάνω στους αλπικούς σχηματισμούς επικάθονται με στρωματογραφική ασυμφωνία τα Νεογενή ιζήματα και οι Τεταρτογενείς αποθέσεις (Μουντράκης, 1985).

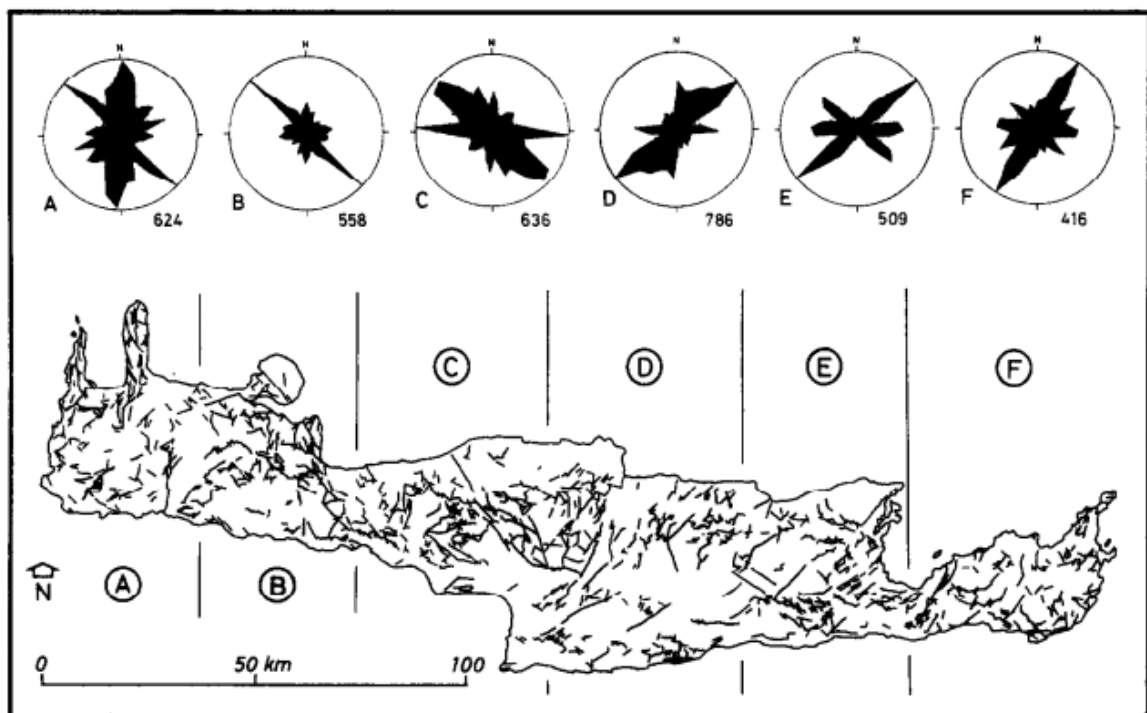
Ακολούθως δίνεται σχηματικά η τεκτονική διάταξη των τεκτονοστρωματογραφικών ενοτήτων στην Κρήτη, όπως τροποποιήθηκε από τους Seidel et al. (1982).



Εικόνα 2.1: Τεκτονική διάταξη των τεκτονοστρωματογραφικών ενοτήτων στην Κρήτη (τροποποιημένη από Seidel et al., 1982).

Λόγω των διαδοχικών επωθήσεων των καλυμμάτων και των τάσεων που έδρασαν στην περιοχή, κατά μήκος του νησιού έχουν διαμορφωθεί τεκτονικές δομές που αντικατοπτρίζουν τις ιδιαίτερα σύνθετες διεργασίες των αλπικών ορογενετικών διαδικασιών στην Ανατολική Μεσόγειο.

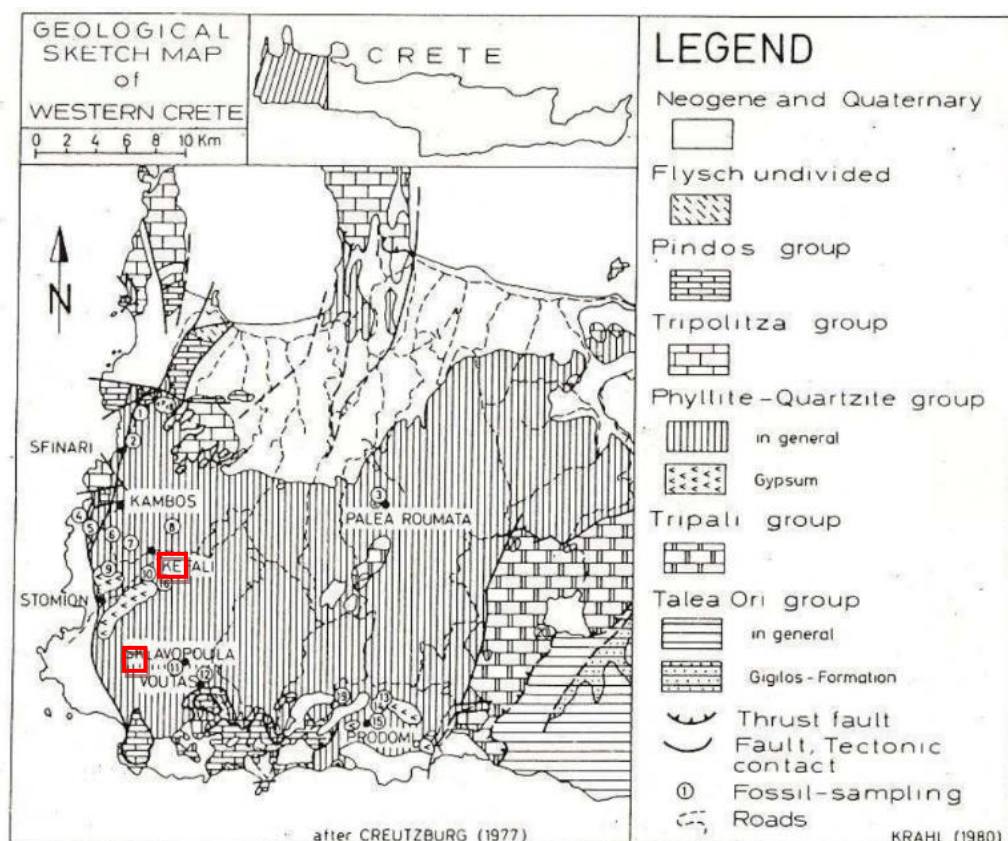
Στα πλαίσια της διερεύνησης των συνθηκών της τεκτονικής εξέλιξης του Ελληνικού τόξου στην περιοχή της Κρήτης, οι ερευνητές Angelier et al (1982) κατασκεύασαν τον χάρτη της Κρήτης με τις τεκτονικές δομές (ρήγματα, αντίκλινα, σύγκλινα κ.α.) βασιζόμενοι στην επεξεργασία διαθέσιμων αεροφωτογραφιών και στη μελέτη των Papadopoulos and Scanvic (1968) που είχε προηγηθεί. Το σχήμα δίνεται ακολούθως.



Εικόνα 2.2: Σχηματικός χάρτης του προσανατολισμού των κύριων τεκτονικών δομών της Κρήτης. (Angelier et al, 1982).

Στο παραπάνω σχήμα παρατηρείται ότι στη δυτική Κρήτη ο προσανατολισμός των κύριων τεκτονικών δομών, κατά Angelier et al (1982) είναι προς B-N και BBΔ-NNA.

Το γεωλογικό σκαρίφημα της ευρύτερης περιοχής του δυτικού τμήματος της Π.Ε. Χανίων, στην οποία απαντώνται και οι πηγές Αρέλιο, Στροβλές και Μουστάκο, σύμφωνα με τη δημοσίευση από Krah1 et al (1981), δίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Εικόνα 2.3: Σχηματική απεικόνιση της γεωλογίας της περιοχής του δυτικού τμήματος της ΠΕ Χανίων από τον Creutzburg, (1977) (Krahl et al, 1981), όπου υποδεικνύονται οι περιοχές εμφάνισης των πηγών Αρέλιο, Στροβλές και Μουστάκο.

2.2 Γεωλογία περιοχής που εμφανίζονται οι πηγές

Στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος, ως υποκείμενη τεκτονοστρωματογραφική ενότητα εμφανίζονται οι μεταμορφωμένες ανθρακικές ακολουθίες των Πλακωδών Ασβεστόλιθων (Plattenkalk), σύμφωνα με τον Μανούτσογλου (2017), ηλικίας από το Ανώτερο Τριαδικό έως Ηώκαινο, στους οποίους υπέρκεινται τεκτονικά οι ακολουθίες της ενότητας του Τρυπαλίου (Κάλυμμα Ομαλού), τμήματα του Φυλλιτικού Καλύμματος (Dornsiepen & Manutsoglou, 1994) καθώς και τα ανθρακικά της ζώνης της Τρίπολης.

Συγκεκριμένα, ανατολικά της περιοχής του οικισμού Καλλικράτης, οι σχηματισμοί της ενότητας του Τρυπαλίου μεταβαίνουν με τεκτονική επαφή σε τμήματα της Φυλλιτικής Χαλαζιακής Σειράς που αντιπροσωπεύεται από σχιστόλιθους, φυλλίτες και χαλαζίτες. Εντός των χαλαζιτών που κατέχουν τα ανώτερα υψομετρικά τμήματα του λόφου παρεμβάλλονται μεταμορφωμένα ανθρακικά πετρώματα μαύρου χρώματος, μεσοστρωματώδη και κατακερματισμένα, καθώς και διάσπαρτα τεμάχια μεταβασιτών και μεταγάββρων.

Σε αρκετές θέσεις της φυλλιτικής-χαλαζιτικής σειράς και κατά κύριο λόγο στην επαφή του σχηματισμού των χαλαζιτών με τους υποκείμενους φυλλίτες παρατηρούνται μικρές

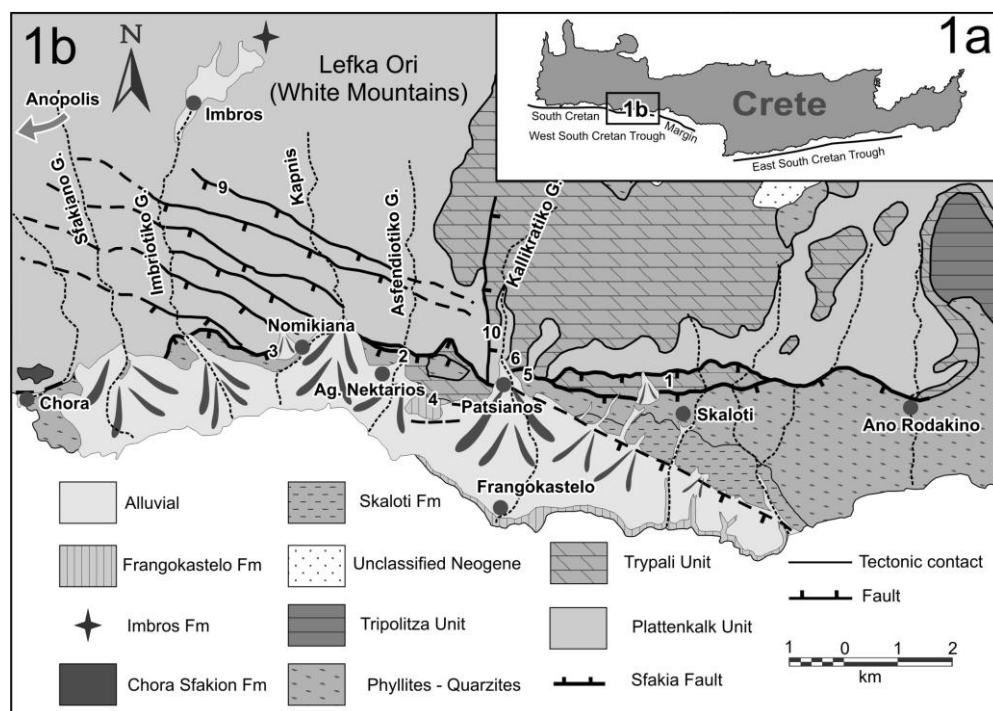
συγκεντρώσεις σιδηρομεταλλεύματος (λειμονίτης-γκαιίτης-αιματίτης) (Μυλωνάκης, 1988). Η πηγή Ξινόνερο έχει δημιουργηθεί σε ένα από τα σημεία αυτής της επαφής περίπου στο μέσο του λόφου.

Επίσης, οι υπόλοιπες πηγές που μελετώνται βρίσκονται εντός του Φυλλιτικού Καλύμματος (Αρελιό, Μουστάκος, Ανισαράκι, Αρολίθι, Στροβλές, Τεμένια, Καπεδιανά).

Κατά το Νεογένες πάνω στα πετρώματα της ζώνης της Τρίπολης αποτέθηκαν ασύμφωνα Μαργαϊκοί σχηματισμοί (Μέσο έως Ανώτερο Μειόκαινο). Συγκεκριμένα, στις περιοχές μεταξύ της Χώρας Σφακίων και του χωριού Σκαλωτή, οι νότιοι πρόποδες των Λευκών Ορών και η στενή παράκτια ζώνη καλύπτονται από θαλάσσιες αποθέσεις ηλικίας Νεογενούς έως Κάτω Πλειστόκαινου (Μανούτσογλου, 2017).

Μεταγενέστερα αλλουβιακές αποθέσεις ηλικίας Μέσου Πλειστόκαινου-Ολόκαινου, αποτέθηκαν με αποτέλεσμα να καλύπτουν εν μέρει τμήματα των νεογενών σχηματισμών.

Ακολούθως δίνεται σχηματικά η γεωλογία της ευρύτερης περιοχής μελέτης κατά Skourtsos et al. (2007).



Εικόνα 2.4: Σκαρίφημα γεωλογικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής μελέτης (από Skourtsos et al., 2007).

2.3 Φυλλιτική - Χαλαζιτική Σειρά Κρήτης

Σύμφωνα με τον Αλεξόπουλο, ο οποίος στα πλαίσια της διατριβής του μελετά διεξοδικά τις εμφανίσεις της ΦΧΣ κατά μήκος της Κρήτης αναφέρει ότι ήδη από το 1869 (Raulin) οι

σχηματισμοί της ΦΧΣ στο νησί, οι οποίοι αρχικώς χαρακτηρίστηκαν ως «ημιμεταμορφωμένοι ταλκικοί σχιστόλιθοι» είχαν αρχίσει να απασχολούν την επιστημονική κοινότητα.

Έκτοτε πολλοί ερευνητές, στα πλαίσια της αποσαφήνισης των γεωλογικών και τεκτονικών συνθηκών που έδρασαν στην περιοχή του νησιού, μελέτησαν τους σχηματισμούς της ΦΧ σειράς, στην οποία αναφέρεται ο καθένας με διαφορετική ονομασία. Ουσιαστικά όμως αναφέρονται στο σύνολο των μεταμορφωμένων πετρωμάτων μεταξύ του καλύμματος της Τρίπολης και της Ενότητας Κρήτης – Μάνης (Plattenkalk).

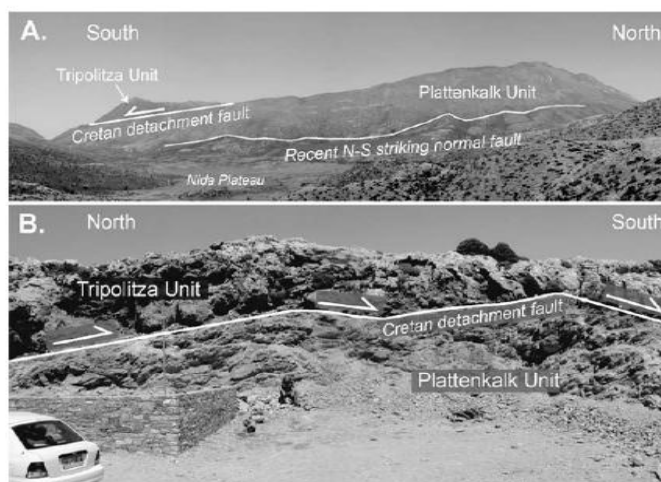
Το 1940, γίνεται αναφορά στην ΦΧΣ με τον χαρακτηρισμό «Μεταμορφωμένη Μάζα της κεντρικής Πελοποννήσου – Κρήτης» από τον Renz. Η «Μάζα» αυτή, η οποία στο παρελθόν θεωρούνταν ως το παλαιοζωϊκό υπόβαθρο της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης, εκτός από την ενότητα των πλακωδών ασβεστολίθων και την ενότητα Τρυπαλίου, θεωρείται ως μια ξεχωριστή σειρά σχηματισμών που αποτελείται κυρίως από φυλλίτες και χαλαζίτες (Κατσικάτσος, 1992).

Ο Φυτρολάκης (1980) εισήγαγε τον όρο «ενότητα φυλλιτών – χαλαζιτών» τονίζοντας τον ανεξάρτητο χαρακτήρα της σειράς αυτής.

Επομένως, σύμφωνα με τον Αλεξόπουλο (1990), έως το 1980 η ενότητα φυλλιτών – χαλαζιτών αντιπροσώπευε μια ακολουθία στρωμάτων περμικής – τριαδικής ηλικίας, η οποία τοποθετείται τεκτονικά μεταξύ της αυτόχθονης σειράς Κρήτης – Μάνης και του τεκτονικού καλύμματος της ζώνης Τρίπολης. Οι σχηματισμοί που απαρτίζουν την ενότητα αυτή, αντιπροσωπεύουν αποθέσεις ενός αβαθούς θαλάσσιου περιβάλλοντος και είναι μεταμορφωμένοι πηλίτες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, ανθρακικά πετρώματα και γύψοι, με παρεμβολές ανδесиτών και βασαλτών. Θεωρείτο δε ότι η σειρά ήταν μεταμορφωμένη σε συνθήκες υψηλών πιέσεων – χαμηλών θερμοκρασιών (HP-LT). Αναφορικά με τις συνθήκες υψηλών πιέσεων στις οποίες μεταμορφώθηκε η σειρά των ΦΧ, πολλοί ερευνητές (Seidel, 1978 και Altherr & Seidel, 1977) δέχονται ότι η μεταμόρφωση πραγματοποιήθηκε σε μία ζώνη υποβύθισης των ΦΧ κατά το Άνω Ολιγόκαινο – Κάτω Μειόκαινο. Λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που παρατήρησαν θεωρούν ότι η μεταφορά των ΦΧ στο βάθος και η επιστροφή τους στην επιφάνεια έγινε σε μικρό χρόνο έτσι οι αναμενόμενες σε αυτό το βάθος θερμοκρασίες δεν μεταδόθηκαν στην ενότητα των ΦΧ.

Η ύπαρξη της υψηλών πιέσεων – χαμηλών θερμοκρασιών μεταμόρφωσης στους σχηματισμούς της ΦΧ σειράς, συνδυαστικά με την απουσία μεταμόρφωσης στην ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης, οδήγησε ορισμένους ερευνητές (Altherr και Seidel, 1979 κ.ά.) να υποστηρίξουν ότι οι σχηματισμοί της σειράς αυτής αποτελούν ένα ξεχωριστό τεκτονικό κάλυμμα, ανεξάρτητο από τις άλλες ενότητες το οποίο αποτελεί τμήμα μιας ωκεάνιας περιοχής που καταβυθίστηκε μεταξύ των παλαιογεωγραφικών χώρων της Ιόνιας Ζώνης και της Ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης (Κατσικάτσος, 1992).

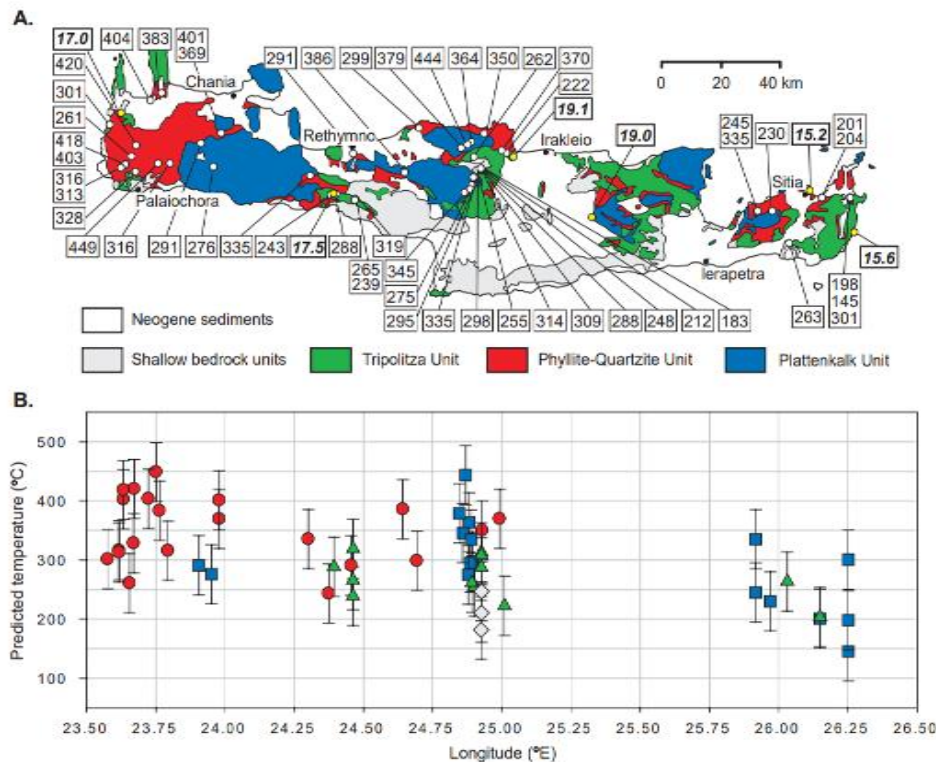
Επιπλέον, σύμφωνα με Jolivet et al (2010) αυτή η παρατήρηση και η παρουσία μιας διακριτής ζώνης διάτμησης στην κορυφή της ΦΧ σειράς στην Κρήτη οδήγησε κάποιους ερευνητές (Jolivet et al., 1994b, 1996, Kilias et al., 1994 και Fassoulas et al, 1994) να προτείνουν την ύπαρξη μιας εκτεταμένης αποκόλλησης (που ονομάζεται Cretan detachment), με βύθιση προς Βορρά μεταξύ των σχηματισμών της Γαβρόβου – Τριπόλεως και της ΦΧΣ. Ο σχηματισμός λεκανών κατά το μειόκαινο, διεύθυνσης Α-Δ σχετίζεται με την ανάπτυξη αυτού του ρήγματος αποκόλλησης (Seidel et al., 2007).



Εικόνα 2.5: Εμφάνιση του ρήγματος αποκόλλησης Κρήτης (Cretan detachment fault). (Rahl et al, 2005)

Αυτή η απουσία παραγένεσης HP-LT στη σειρά Γαβρόβου – Τρίπολης ενός τεκτονικού κενού κατά μήκος της βάσης της επιφάνειας επώθησης. Η κύρια επαφή βρίσκεται μεταξύ των κατώτερων στρωμάτων -όπου οι μεταπηλίτες περιέχουν Fe-Mg καρφολίτη και χλωριτοειδές που σχετίζονται με τους φεγγίτες- και τη βάση της ζώνης Γαβρόβου – Τριπόλεως όπου παρόμοιοι μεταπηλίτες δεν εμφανίζουν σημαντική ανακρυστάλλωση από μεταμόρφωση (Jolivet et al, 2010).

Στην Εικόνα 2.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα έρευνας που πραγματοποιήθηκε από τους Rahl et al (2005) σχετικά με τη θερμοκρασία μεταμόρφωσης των γεωλογικών σχηματισμών κατά μήκος του νησιού της Κρήτης. Οι ερευνητές διατύπωσαν την άποψη ότι οι τιμές της θερμοκρασίας μεταμόρφωσης για τη σειρά ΦΧ κυμαίνονται μεταξύ 300°C και 450°C.



Εικόνα 2.6: (Α). Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης Κρήτης, όπου διακρίνονται οι θέσεις λήψης δείγματος για αναλύσεις RSCM (Raman spectroscopic carbonaceous material). (Β) Προβλεπόμενη θερμοκρασία από τις αναλύσεις RSCM, κατανεμημένες στο διάγραμμα βάσει γεωγραφικού μήκους. (Rahl et al, 2005)

2.3.1 Βιβλιογραφικές αναφορές στην Φυλλιτική Χαλαζιτική σειρά Κρήτης

Στην Κρήτη, θεωρείται από τους Bonneau (1973) και Φυτρολάκης (1980), ότι η ενότητα των Φυλλιτών - Χαλαζιτών είναι επωθημένη είναι πάνω στην ενότητα Κρήτης - Μάνης είτε πάνω στην ενότητα Τρυπαλίου. Επίσης οι Seidel (1978) και Φυτρολάκης (1980) θεωρούν ότι τεκτονικά είναι υποκείμενη της ενότητας Τρίπολης, περιλαμβάνοντας μεταπηλίτες, χαλαζίτες και μεταβασικά πετρώματα. Λόγω της τεκτονικής επαφής της ΦΧΣ με τα πετρώματα ου υποβάθρου της ζώνης Γαβρόβου - Τρίπολης, τα οποία είναι σχιστολιθικά, είναι δύσκολη η διάκριση της τεκτονικής επαφής.

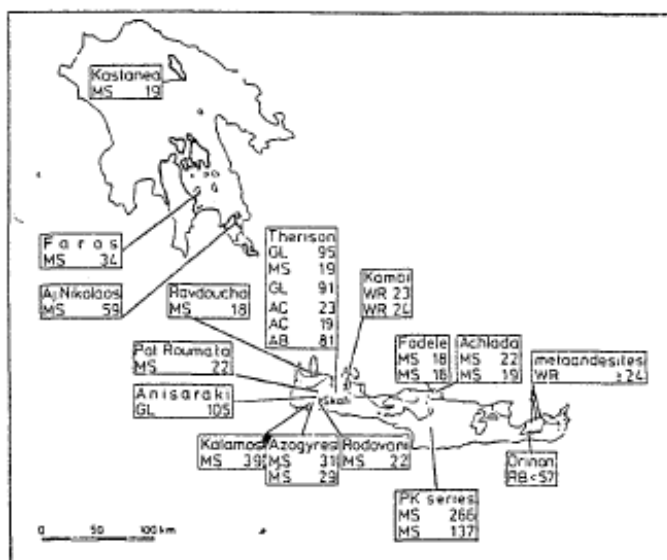
Υπάρχουν αναφορές από τους Creuzburg και Seidel (1975) που αναφέρουν ότι το κατώτερο τμήμα της Φυλλιτικής - Χαλαζιτικής σειράς αποτελείται από δολομιτικούς ασβεστόλιθους, μαύρους αργιλικούς σχιστόλιθους, σχιστοψαμμίτες και ραουβάκες με κοιτάσματα γύψου - ανυδρίτη, όπως είναι τα κοιτάσματα: Αλτσι, Κάβο Σίδηρο, Στομίου και πολλά άλλα. Ενώ το ανώτερο τμήμα της σειράς αυτής αποτελείται κυρίως από εναλλασσόμενους φυλλίτες και χαλαζίτες, με παρεμβολές λεπτοστρωματωδών μαρμάρων και μετακροκαλοπαγών, καθώς και σωμάτων μεταβασαλιτών.

Αναφορικά με τις συνθήκες απόθεσης των ιζημάτων που σχημάτισαν αργότερα τη ΦΧΣ έχουν διατυπωθεί οι ακόλουθες θεωρίες, οι Jacobshagen (1977), Jacobshagen et al. (1978a) και Seidel et al. (1982) πιστεύουν, πως η σειρά Φυλλιτών - Χαλαζιτών στην Κρήτη σε μια λεκάνη με γνωρίσματα ωκεανού, η οποία τοποθετείται παλαιογεωγραφικά μεταξύ των υβωμάτων Τρίπολης και Ταλαίων. Ο Φυτρολάκης (1980) μεταγενέστερα διατύπωσε τη θεωρία ότι τα ιζήματα της ενότητας Φυλλιτών - Χαλαζιτών αποτίθενται στο χώρο μεταξύ Τρίπολης και Κρήτης - Μάνης, που αντιστοιχεί σε αύλακα και διαμορφώνεται κατά το Μέσο Τριαδικό.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνών τους, οι Seidel et al. (1979), θεωρούν ότι η Φυλλιτική - Χαλαζιτική σειρά στην Κρήτη αποτελείται από δύο επί μέρους σειρές.

- Η πρώτη σειρά απαντάται σ' ολόκληρη την Κρήτη στους σχηματισμούς της οποίας έχουν βρεθεί απολιθώματα Περμικής και Τριαδικής ηλικίας. Οι σχηματισμοί της σειράς αυτής χαρακτηρίζονται από μεταμόρφωση υψηλών πιέσεων και χαμηλών θερμοκρασιών.
- Αντίθετα, η δεύτερη σειρά απαντάται μόνο στην Ανατολική Κρήτη και χαρακτηρίζεται από αμφιβολίτες με πράσινη κερোসτίλβη και μοσχοβοϊτικούς σχιστόλιθους.

Στα πλαίσια προσδιορισμού της ηλικίας της μεταμόρφωσης των ΦΧ, οι Seidel et al (1982) από το 1977 πραγματοποίησαν ραδιοχρονολογήσεις με τη μέθοδο K/Ar σε διάφορα δείγματα μεταμορφωμένων Φυλλιτών Χαλαζιτών στην Κρήτη και την Πελοπόννησο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά, δείχνουν όμως μία ηλικία Ανω-Ολιγοκαινική - Κατω Μειοκαινική για την HP/LT μεταμόρφωση (Εικόνα 2.7).

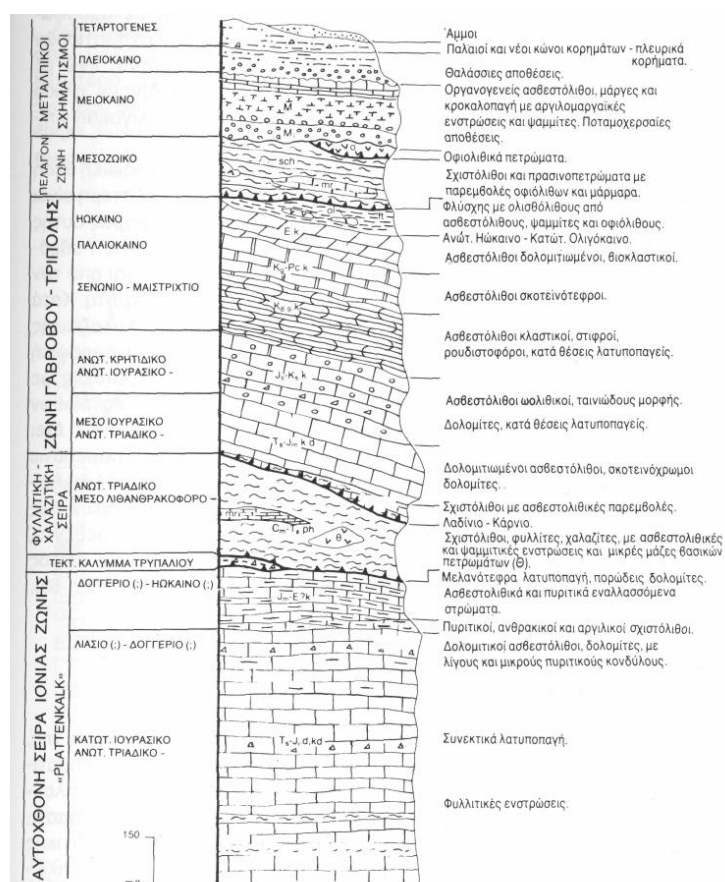


Εικόνα 2.7: Συγκεντρωτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων ραδιοχρονολόγησης με τη μέθοδο K-Ar (σε εκατομ. χρόνια) της αλπικής μεταμόρφωσης των Φυλλιτών-Χαλαζιτών στη Κρήτη και την Πελοπόννησο (από Seidel et al 1982).

Από τις απόψεις, σχετικά με την παλαιογεωγραφική θέση της Φυλλιτικής - Χαλαζιτικής σειράς, επικρατέστερη είναι αυτή με την οποία υποστηρίζεται ότι οι σχηματισμοί της σειράς αυτής αποτελούν το υπόβαθρο της ανθρακικής σειράς της ζώνης Γαβρόβου - Τρίπολης.

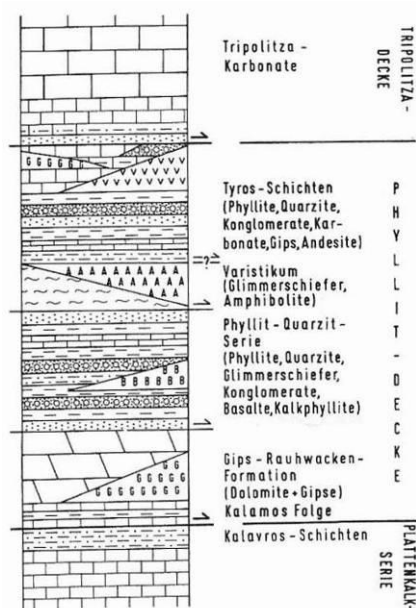
Η άποψη αυτή υποστηρίχθηκε και από τον Karakitsios (1987), ο οποίος εργάστηκε στην Κεντρική Κρήτη. Κατά τον ερευνητή οι σχηματισμοί της Φυλλιτικής - Χαλαζιτικής σειράς αποτελούν την προς τα κάτω κανονική στρωματογραφική μετάβαση της ανθρακικής σειράς της ζώνης Γαβρόβου - Τρίπολης, με τη μεσολάβηση ενός μεταβατικού ορίζοντα μαργαϊκών ασβεστόλιθων με παρεμβολές κλαστικών στρωμάτων στη βάση του, που έχει ονομαστεί Σχηματισμός Ραβδούχων. Επίσης, αναφέρεται ότι στην Κρήτη οι σχηματισμοί της Φυλλιτικής - Χαλαζιτικής σειράς έχουν μεταμορφωθεί σε συνθήκες μέσων έως υψηλών πιέσεων και θερμοκρασίας 300-400°C και ότι τα ευρεθέντα, κατά καιρούς, απολιθώματα δίνουν στους σχηματισμούς της σειράς αυτής Ανω-Περμική - Τριαδική ηλικία.

Οι στρωματογραφικές-τεκτονικές Ενότητες της Δυτικής Κρήτης, κατά το ΙΓΜΕ (1988) δίνονται ακολούθως.



Εικόνα 2.8: Οι στρωματογραφικές-τεκτονικές Ενότητες της Δυτικής Κρήτης, (Κατά Ι. Μυλωνάκη. Από γεωλογικό χάρτη φύλλου «Ρέθυμνο», κλίμακας 1:50.000, Ι.Γ.Μ.Ε., 1988).

Ενώ σύμφωνα με τους ερευνητές Dornsiepen και Manutsoglu (1994) και Dornsiepen et al (2001), το Φυλλιτικό Κάλυμμα που εμφανίζεται στη Κρήτη αποτελείται από τις τέσσερις υποενότητες οι οποίες δίνονται σχηματικά στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 2.9: Λιθολογική υποδιαίρεση του Φυλλιτικού καλύμματος κατά Dornsiepen και Manutsoglu (1994).

2.3.2 Συνθήκες μεταμόρφωσης φυλλιτικής χαλαζιτικής σειράς Κρήτης.

Σύμφωνα με τους Kopp και Wernado, η ΦΧΣ κατά μήκος του νησιού παρουσιάζει διαφοροποιήσεις. Στην ανατολική Κρήτη παρατηρείται μικρότερη συμμετοχή των χαλαζιτών και η σειρά παρουσιάζει μικρότερο πάχος και μικρότερο βαθμό μεταμόρφωσης (Αλεξόπουλος, 1990).

Στα πλαίσια της δημοσίευσης του Greiling, (1982) που αφορά την εξέλιξη της μεταμόρφωσης και της τεκτονικής της ΦΧΣ στην δυτική Κρήτη, παραθέτει ότι η διερεύνηση της πετρολογίας της ΦΧΣ της δυτικής Κρήτης (π.χ. Seidel 1977, 1978) αποκάλυψε τα ορυκτά παραγένεσης γλαυκοφανή-λωζονίτη-πουμεπελλιήτη-αραγωνήτη-αλβίτη σε μεταβασάλτες και χαλαζία-μοσχοβίτη-παραγονίτη-χλωριτοειδές-λωζονίτη σε μεταπηλίτες. Τα παραπάνω στοιχεία οδήγησαν τον Seidel (1978) να κάνει μια εκτίμηση των συνθηκών P/T της μεταμόρφωσης, εκτιμώντας συνθήκες πίεσης 7-9kb και θερμοκρασία 300-400°C.

Σύμφωνα με παλαιότερες έρευνες (Seidel, 1978; Seidel et al., 1982; Theye, 1988; Theye et al., 1992), το τεκτονικό κάλυμμα της ΦΧΣ επηρεάστηκε κατά το τέλος του Ολιγόκαινου - αρχές Μειόκαινου από μεταμόρφωση HP/LT καθώς επίσης και από μία νεότερη ανάδρομη μεταμόρφωση πρασινοςχιστολιθικής φάσης (Kilias et al, 1994).

Αναλυτικότερα αναφέρεται ότι μεταγενέστερες έρευνες επιβεβαιώνουν ότι η τεκτονική και θερμική εξέλιξη των υψηλής πίεσης πετρωμάτων των Εξωτερικών Ελληνίδων ξεκίνησε κατά το Ολιγόκαινο και περιλαμβάνει υπωθήσεις του πρωτόλιθου των Φυλλιτών- Χαλαζιτών και

του υποβάθρου του, κάτω από το υπόβαθρο της Τρίπολης (Xyrolias & Doutsos 2000; Kokkalas & Doutsos 2004). Εξαιτίας της ενδοηπειρωτικής αυτής καταβύθισης, η ΦΧΣ υπέστη μεταμόρφωση υψηλών HP-LT, η οποία χρονολογείται στα 19-24 Ma (K- Ar και ³⁹Ar-⁴⁰Ar σε λευκό μαρμαρυγία, Panagos et al. 1979, Seidel et al. 1982, Jolivet et al. 1996, Seidel et al. 2006).

Σε πετρώματα ΦΧ σύστασης, κρίσιμα ορυκτά της μεταμόρφωσης, για παράδειγμα γλουκανοφάνης, λωζονίτης και χλωριτοειδή απαντώνται σε όλη τη δυτική Κρήτη (Seidel 1978).

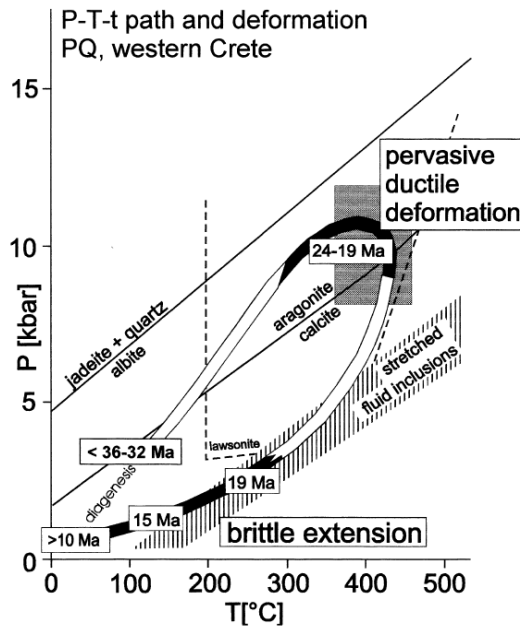
Σύμφωνα με τα διαθέσιμα βιβλιογραφικά δεδομένα σχετικά με τις συνθήκες μεταμόρφωσης της φυλλιτικής χαλαζιτικής σειράς της Κρήτης προκύπτουν οι ακόλουθες θεωρείες:

Σύμφωνα με τους Schubert και Seidel (1972), οι μεταβασάλτες της Φυλλιτικής - Χαλαζιτικής σειράς στη δυτική Κρήτη χαρακτηρίζονται από μεταμόρφωση σε συνθήκες πίεσης (P) 7 Kbar και θερμοκρασίας (T) 300°C.

Αργότερα, οι Creutzburg & Seidel (1975) μιλούν για δύο φάσεις μεταμόρφωσης των μεταβασαλτών της δυτικής Κρήτης, μία πρώτη, προκίνηματική, υψηλών πιέσεων και χαμηλών θερμοκρασιών και μία δεύτερη, με ανύψωση της θερμοκρασίας, η οποία οδήγησε στο σχηματισμό πρασινοσχιστόλιθων με γλαυκοφανή.

Τέλος, οι Seidel et al. (1978) υποστηρίζουν ότι στη δυτική Κρήτη η μεταμόρφωση είναι κυανοσχιστολιθικής φάσης (P=7-9Kbar και T=300-400°C), στην κεντρική Κρήτη γλαυκοφανιτικής - πρασινοσχιστολιθικής φάσης και στην ανατολική Κρήτη λωζονιτικής - αλβιτικής φάσης (P=3-4Kbar και T=200-300°C).

Το Διάγραμμα Πίεσης - Θερμοκρασίας - Χρόνου για τη μεταμόρφωση της ΦΧΣ σύμφωνα με τους ερευνητές Theye et al. (1992), Theye και Seidel (1993), Kuster και Stockhert (1997), Seidel et al. (1982) και Jolivet et al. (1996), Thomson et al. (1998), δίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 2.10: Διάγραμμα Πίεσης - Θερμοκρασίας - Χρόνου για τη μεταμόρφωση της ΦΧΣ σύμφωνα με τους Theye et al. (1992), Theye και Seidel (1993), Kuster και Stockhert (1997), Seidel et al. (1982) και Jolivet et al. (1996), Thomson et al. (1998). Τα στάδια της παραμόρφωσης σημειώνονται με μαύρο χρώμα στην καμπύλη του διαγράμματος. (Stöckhert et al, 1999).

2.3.3 Παραμόρφωση φυλλιτικής χαλαζιτικής σειράς Κρήτης.

Ένα από τα χαρακτηριστικά της ΦΧΣ είναι η έντονη παραμόρφωση της. Κατά τους Wachendorf et al. (1974) η ένταση της τεκτονικής καταπόνησης μειώνεται προς την επιφάνεια. Θεωρείται ότι η παραμόρφωση αυτή έχει να κάνει με τις κινήσεις των τεκτονικών καλυμμάτων. Οι ολισθήσεις δεν περιορίστηκαν μόνο κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης, αλλά μοιράστηκαν σε αμέτρητες διατμητικές επιφάνειες μέσα στην ενότητα ΦΧ. Η κίνηση των καλυμμάτων και η δημιουργία του τεκτονικού mélange συνδέεται με κατακόρυφη ανύψωση που ακολουθήθηκε από μια καταβύθιση. Αργότερα, ο Φυτρολάκης (1980) σχετικά με την έντονη τεκτονική καταπόνηση της ΦΧ σειράς επισημαίνει ότι δεν έχει στοιχεία τέτοια ώστε να χαρακτηριστεί mélange. (Αλεξόπουλος, 1990).

Η μέση αντίσταση της ΦΧΣ ήταν πιθανώς πολύ μικρότερη από εκείνη των Plattenkalk και της ζώνης Γαβρόβου-Τρίπολης που βρίσκονται εκατέρωθεν της ΦΧΣ κατά συνέπεια εντοπίζεται ένα μεγάλο μέρος της παραμόρφωσης κατά την βύθιση και επαναφορά (Jolivet et al, 2010).

Επίσης για την ΦΧ σειρά στη Δυτική Κρήτη οι Greiling και Skala (1979) κάνουν αναφορά στην ισοκλινή πτύχωση, σαν το κύριο τεκτονικό χαρακτηριστικό της σειράς. Οι άξονες των πτυχών παρουσιάζουν μικρή βύθιση προς Β-ΒΑ τοπικά και προς ΝΑ κατά μήκος δύο κύριων διευθύνσεων κάθετων μεταξύ τους, ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ.

Σύμφωνα με τον ερευνητή Greiling,(1982) η ΦΧΣ στη Δυτική Κρήτη έχει υποστεί παραμόρφωση σε τρία στάδια:

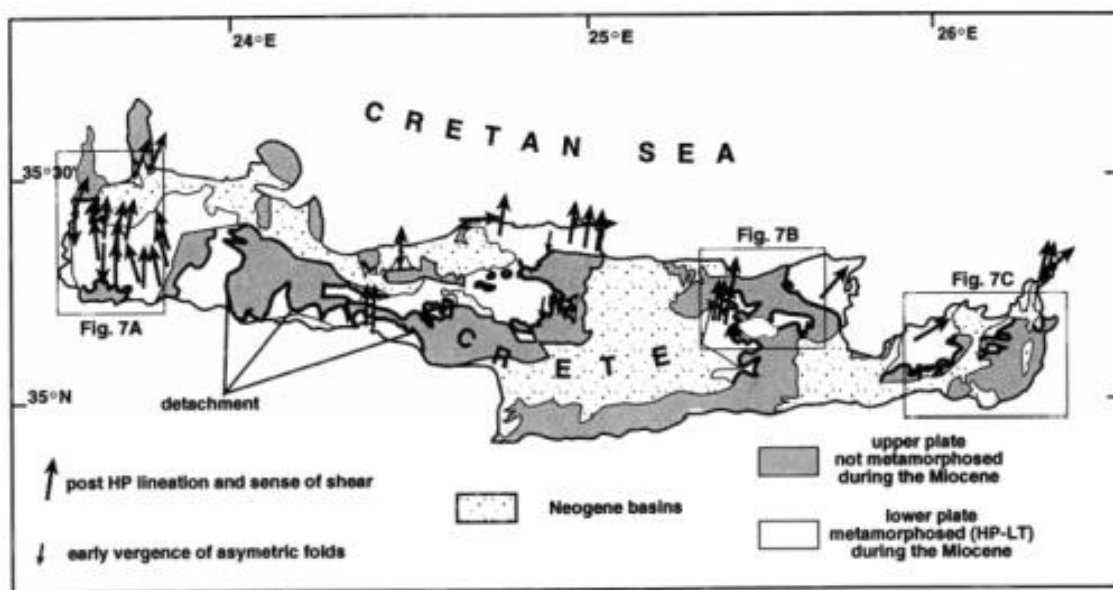
1. Παραμόρφωση ταυτόχρονη με την μεταμόρφωση (Synmetamorphic deformation)

Τα πρώτα δομικά στοιχεία στη ΦΧ σειρά δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια της HP-LT μεταμόρφωσης. Η πρώτη φάση (F1) περιελάμβανε σχηματισμό ισοκλινικών πτυχών.

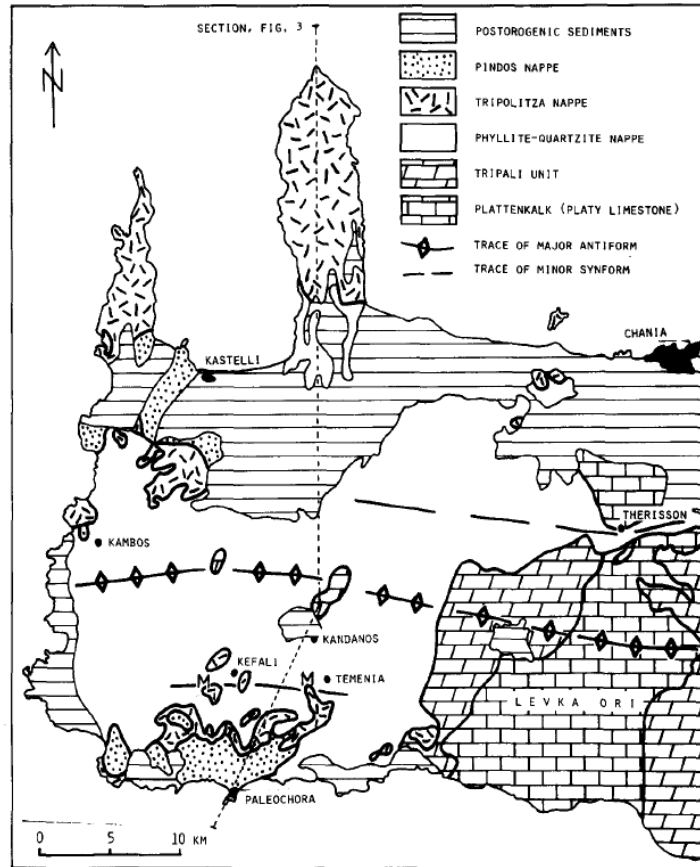
2. Παραμόρφωση στο τέλος της φάσης μεταμόρφωσης (Late-metamorphic deformation). Σχηματίζονται επιμήκεις άξονες διεύθυνσης B-N.

3. Μετα-μεταμορφική παραμόρφωση (Post-metamorphic deformation)

Κατά το τρίτο στάδιο σχηματίστηκαν μικρές πτυχές με διεύθυνση B-N, διακόπτοντας τη σχιστότητα των προηγούμενων σταδίων. Τέλος σχηματίστηκαν πτυχώσεις διεύθυνσης A-Δ, προκαλώντας έτσι κερματισμό ή συνθήκες αποκόλλησης. Οι τελευταίες πτυχώσεις παρατηρούνται σε μικρή κλίμακα στο μικροσκόπιο αλλά και σε μεγάλη κλίμακα σε αποστάσεις χιλιομέτρων και σχετίζονται με τη δημιουργία αντίκλινου της δυτικής Κρήτης.



Εικόνα 2.11::Τεκτονικός χάρτης Κρήτης απλοποιημένος από τους Creutzburg et al. (1977) και Bonneau (1977). Τα μύρα βέλη υποδηλώνουν τις κινήσεις των μεταμορφικών - HP κινήσεων της ΦΧΣ (Jolivet et al., 1996).



Εικόνα 2.12: Σχηματική απεικόνιση των τεκτονικών καλυμμάτων και των τεκτονικών δομών στη Δ. Κρήτη σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη της Κρήτης από τον Creutzburg et al. (1977). (Greiling, 1982).

2.3.4 Χημισμός της Φυλλιτικής Χαλαζίτης Σειράς

Οι Φυλλίτες και οι Χαλαζίτες της ΦΧΣ ανήκουν στην ομάδα των μεταμορφωμένων πετρωμάτων. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα προκύπτουν από άλλα προϋπάρχοντα μετά από ιστολογικές, ορυκτολογικές και χημικές μεταβολές τις οποίες υφίστανται χωρίς όμως να περάσουν από το στάδιο της τήξης (<http://www.geo.auth.gr/>).

Οι χημικοί τύποι των πυριτικών ορυκτών των μεταμορφωμένων πετρωμάτων δίνονται στην εικόνα που ακολουθεί.

Ορυκτό	Τύπος	Si	Al	Mg	Ca	Fe	Na	K
Χαλαζίας	SiO ₂	12						
Ανδαλουσίτης	Al ₂ SiO ₅	~5	~10					
Κορδιερίτης	Mg ₂ Al ₄ Si ₅ O ₁₈	~7	~5	~3				
Πυρωπό	Mg ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃	6	4	6				
Χλωρίτης	Mg ₃ Al(AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₈	4	~3	~7				
Ενστατίτης	MgSiO ₃	8		8				
Ανθοφυλλίτης	Mg ₇ (Si ₄ O ₁₁) ₂ (OH) ₂	8		7				
Τάλκης	Mg ₃ (OH) ₂ Si ₄ O ₁₀	8		6				
Σερπεντίνης	Mg ₃ (OH) ₄ Si ₂ O ₅	5		8				
Φορστερίτης	Mg ₂ Si ₄	6		12				
Σταυρόλιθος	Fe ₂ Al ₉ Si ₄ O ₂₃ (OH)	4	9		2			
Χλωριτοειδής	Fe ₂ Al ₂ (Al ₂ Si ₂ O ₁₀)(OH) ₄	~4	~8		~4			
Αλμανδίνης	Fe ₂ Al ₂ (SiO ₄) ₃	6	4		6			
Κουμμινγκτονίτης	Fe ₇ (Si ₄ O ₁₁) ₂ (OH) ₂	8			7	8		
Βολλαστονίτης	CaSiO ₃	8				8		
Γροσσουλάρης	Ca ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃	6	4			6		
Ζοϊσίτης	Ca ₂ Al ₃ (SiO ₄) ₃ (OH)	~6	~6			~4		
Ανορθίτης	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	6	6			3		
Διοψίδιος	CaMgSi ₂ O ₆	8		4		4		
Τρεμολίτης	Ca ₂ Mg ₅ (Si ₄ O ₁₁) ₂ (OH) ₂	8		5		2		
Ιαδείτης	NaAlSi ₂ O ₆	8	4				4	
Αλβίτης	NaAlSi ₃ O ₈	9		3			3	
Καλιούχος άστριος	KAlSi ₃ O ₈	9		3				3
Μοσχοβίτης	KAl ₂ (OH) ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)	6		6				2

Εικόνα 2.13: Χημικοί τύποι των πυριτικών ορυκτών των μεταμορφωμένων πετρωμάτων (Mason, 1966).

Ο Φυλλίτης δημιουργείται από αργιλοπηλικά – μαργαϊκά πετρώματα, χαρακτηρίζεται από έντονη σχιστότητα και το μικρό μέγεθος των ορυκτών συστατικών του. Τα κύρια ορυκτά που απαντώνται σε αυτούς είναι: μοσχοβίτης, λεπτόκοκκος χαλαζίας, γρανάτης και χλωρίτης. Επουσιώδη ορυκτά μπορεί να είναι ο ασβεστίτης, γραφίτης, επίδοτο, βιοτίτης, σιδηροπυρίτης, μαγνιτίτης, σταυρόλιθος, άστριοι, αιματίτης, τουρμαλίνης (Θεοδωρίκας, 2010, Χατζηπαναγιώτου, 2005).

Οι χαλαζίτες από την άλλη προέρχονται από ψαμμιτικά ή αδρόκοκκα κλαστικά ιζήματα, χαλαζιούχους φλεβικούς σχηματισμούς κ.α. Το σημαντικότερο ορυκτό είναι ο χαλαζίας, ενώ επουσιώδη ορυκτά είναι οι άστριοι, ο χλωρίτης, μαρμαρυγίες, ανδαλουσίτης, σιλιμανίτης, επίδοτο, κυανίτης, γρανάτης κ.α. (Θεοδωρίκας, 2010, Χατζηπαναγιώτου, 2005). Ο χαλαζίτης αποτελείται από χαλαζία σε ποσοστό >85%.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι χημικοί τύποι των ορυκτών που απαντώνται στους φυλλίτες χαλαζίτες της ΦΧΣ.

Πίνακας 2.1: Χημικοί τύποι των ορυκτών που απαντώνται στους Φυλλίτες Χαλαζίτες (<http://www.geo.auth.gr/>)

Ορυκτό	Χημικός Τύπος	Κύρια/Επουσιώδη Ορυκτά	Ομάδα ορυκτών
Φυλλίτης			
Μοσχοβίτης	$KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$	Κύριο	Φυλλοπηριτικά
Χαλαζίας	SiO_2	Κύριο	Τεκτοπηριτικά
Γρανάτης	$X_3^{2+}Y_2^{3+}(SiO_4)_3$	Κύριο	Νησοπηριτικά
Χλωρίτης	$Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$	Κύριο	Φυλλοπηριτικά
Ασβεστίτης	$CaCO_3$	Επουσιώδη	Ανθρακικά
Επίδοτο	$Ca_2(Al,Fe)_3Si_3O_{12}(OH)$	Επουσιώδη	Σωροπηριτικά
Βιοτίτης	$K(Mg,Fe)_3(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$	Επουσιώδη	Φυλλοπηριτικά
Σιδηροπηριτής	FeS_2	Επουσιώδη	Σουλφίδια
Μαγνητίτης	Fe_3O_4	Επουσιώδη	Οξειδία
Σταυρόλιθος	$Fe_2Al_9O_6(SiO_4)_4(O,OH)_2$	Επουσιώδη	Νησοπηριτικά
Αιματίτης	Fe_2O_3	Επουσιώδη	Οξειδία
Τουρμαλίνη	$(Na,Ca)(Li,Mg,Al)(Al,Fe,Mn)_6(BO_3)_3(Si_6O_{18})(OH)_4$	Επουσιώδη	Κυκλοπηριτικά
Γραφίτης	C	Επουσιώδη	Μη μεταλλικά στοιχεία
Χαλαζίτης			
Χαλαζίας	SiO_2	Κύριο	Τεκτοπηριτικά
Άστριοι	$(Na,K)AlSi_3O_8$	Επουσιώδη	Τεκτοπηριτικά
Χλωρίτης	$Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$	Επουσιώδη	Φυλλοπηριτικά
Ανδalousίτης	Al_2SiO_5	Επουσιώδη	Νησοπηριτικά
Σιλιμανίτης	Al_2SiO_5	Επουσιώδη	Νησοπηριτικά
Επίδοτο	$Ca_2(Al,Fe)_3Si_3O_{12}(OH)$	Επουσιώδη	Σωροπηριτικά
Κυανίτης	Al_2SiO_5	Επουσιώδη	Νησοπηριτικά
Γρανάτης	$X_3^{2+}Y_2^{3+}(SiO_4)_3$	Επουσιώδη	Νησοπηριτικά

Η χημική σύσταση του νερού που διέρχεται από την ΦΧΣ επηρεάζεται από τη διαλυτότητα των ορυκτών στο νερό.

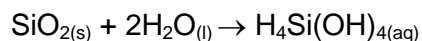
Όσον αφορά στην διαλυτότητα του SiO_2 , οι παράμετροι που την επηρεάζουν είναι η θερμοκρασία και η συγκέντρωση CO_2 . Υψηλές συγκεντρώσεις CO_2 σε χαμηλές θερμοκρασίες έχουν ως αποτέλεσμα υψηλή αναλογία Mg/Si στο διάλυμα και συνήθως καθίζηση άμορφου SiO_2 . Απότομες πτώσεις της πίεσης και μείωση CO_2 σε συνδυασμό με σταθερή θερμοκρασία έχουν ως αποτέλεσμα τα διαλύματα να γίνονται ακόρεστα σε SiO_2 . Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η περιεκτικότητα του CO_2 καθορίζει την διαλυτότητα SiO_2 στο διάλυμα. Η απόθεση του χαλαζία μπορεί να γίνει σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (έως και $30^\circ C$), ενώ συνύπαρξη $Mg(OH)_2$ και SiO_2 μπορεί να υπάρξει στο ίδιο διάλυμα αρκεί να έχουμε χαμηλή περιεκτικότητα σε CO_2 (Σκληρός, 2013).

Παρότι οι διαλυμένες ενώσεις του πυριτίου υπάρχουν σε όλα τα φυσικά νερά, τις περισσότερες φορές δεν απελευθερώνονται από την άμεση διάλυση του χαλαζία, αλλά από τη διάβρωση των πολυάριθμων πυριτικών ορυκτών που είναι συνήθως πιο διαλυτά από το καθαρό διοξείδιο του πυριτίου (Henderson, 1982).

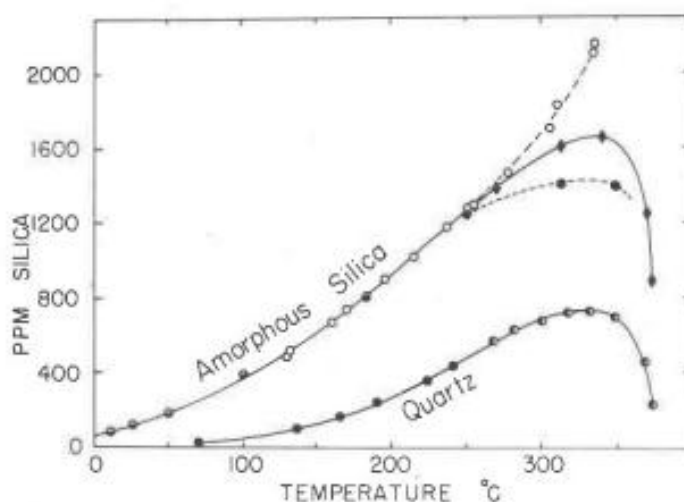
Η σειρά αντίστασης των ορυκτών στις διεργασίες χημικής αποσάθρωσης στους φυλλίτες είναι χαλαζίας> μοσχοβίτης> βιοτίτης (Zaugh et al, 2010). Ο χαλαζίας παρουσιάζεται εξαιρετικά δυσδιάλυτος.

Ο χαλαζίας και το άμορφο διοξείδιο του πυριτίου μπορεί να διαλυθούν, και η κύρια μορφή του διαλυμένου διοξειδίου του πυριτίου είναι $\text{Si}(\text{OH})_4$ μονομερές, πιο συνηθισμένα απαντάται υπό τη μορφή μονομοριακού ορθοσιλικικού οξέος (monomolecular orthosilicic acid) H_4SiO_4 (Wray and Sauro, 2017).

Η αντίδραση του χαλαζίτη με το νερό είναι η εξής:



Η διαλυτότητα του SiO_2 αυξάνεται σε υψηλές πιέσεις και σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 300°C . Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Εικόνα 2.14) η μέγιστη διαλυτότητα του είναι 1660 mg/kg σε 340°C και 890 mg/kg στο κρίσιμο σημείο και αφορά άμορφο SiO_2 (Fournier and Rowe, 1977). Παρατηρείται ότι ο χαλαζίας είναι αρκετά πιο δυσδιάλυτος από το άμορφο SiO_2 , καθώς δεν ξεπερνά τα 800 mg/kg ακόμη και σε θερμοκρασία $>300^\circ\text{C}$.



Εικόνα 2.14: Διαλυτότητα σε νερό του άμορφου πυριτίου και του χαλαζία σε σχέση με τη θερμοκρασία (Fournier and Rowe, 1977).

Όπως ήδη αναφέραμε η διαλυτότητα του χαλαζία αυξάνεται με τη θερμοκρασία, ενώ το αντίθετο συμβαίνει με τον ασβεστίτη και τον δολομίτη. Επίσης, η διαλυτότητα του άμορφου πυριτίου δείχνει την ίδια αυξανόμενη εξάρτηση με τη θερμοκρασία (Rimstidt and Barnes, 1980). Ωστόσο, απαιτείται πολύ μεγάλος χρόνος για τη διάλυση του πυριτίου ώστε να επιτευχθεί ισορροπία, και ως εκ τούτου πειραματικές έρευνες για τη διάλυση του πυριτίου σε νερά χαμηλής θερμοκρασίας (κάτω από 25°C) είναι πολύ λίγες (Wray and Sauro, 2017).

Το βασικό χαρακτηριστικό των κρυσταλλικών πετρωμάτων μαγματικής ή μεταμορφωμένης προέλευσης (γρανίτες, διορίτες, βασάλτες, γνεύσιοι, και αμφιβολίτες) είναι η αφθονία του χαλαζία και των αργιλοπηριτικών ορυκτών (άστριοι – μαρμαρυγίες). Τα ορυκτά αυτά μέχρι τα βάθη των συνηθισμένων υδροφόρων είναι θερμοδυναμικά ασταθή και τείνουν να διαλυθούν όταν έρχονται σε επαφή με το νερό. Έτσι προκαλείται ορυκτολογική εξαλλοίωση των πετρωμάτων και το νερό εμπλουτίζεται με τα προϊόντα της εξαλλοίωσης (Ζαγγανά, 2013).

Γενικεύοντας τα χαρακτηριστικά των νερών στα κρυσταλλικά πετρώματα, μπορούν να διατυπωθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα (Ζαγγανά, 2013):

- Παρατηρούνται χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένων στερεών.
 - Παρατηρούνται μικρές συγκεντρώσεις ασβεστίου και μαγνησίου, εκτός από τα νερά των διοριτών και αμφιβόλων.
 - Ο σίδηρος βρίσκεται στις αμφιβόλους, τον πυρίτη, τον μαγνητίτη και τίθεται σε διάλυση εξαιτίας του χαμηλού pH των νερών.
 - Τα όξινα ανθρακικά απαντώνται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από το χλώριο και τα θειικά, γενικά όμως όλα σε χαμηλές συγκεντρώσεις.
 - Υπάρχει αφθονία σε SiO_2 .
- Όταν η περιεκτικότητα σε SO_4^{2-} είναι μεγάλη μέρος της οξύτητας των νερών οφείλεται στο σχηματισμό H_2SO_4 στο νερό.

Κεφάλαιο 3: Υδρολογία - Υδρογεωλογία

3.1 Εισαγωγή

Τα υπόγεια ύδατα μέσω αλληλεπίδρασης με τα πετρώματα αποκτούν σταδιακά μοναδικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά. Αυτά τα νερά - ανάλογα με τα συγκεκριμένα χημικά χαρακτηριστικά, τη θερμοκρασία, το σημείο αλλά και τη μορφή εμφάνισης τους στην επιφάνεια - έχουν χρησιμοποιηθεί από ανθρώπους για πόσιμο, θεραπεία, μπάνιο, θεραπεία ή θρησκευτικές τελετές για χιλιάδες χρόνια. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο τα μεταλλικά και ιαματικά νερά έχουν ιδιαίτερη θέση στην ανάπτυξη κοινωνιών, εθνών, χωρών και πολιτισμών (Porowski et al., 2019).

Τα υπόγεια ύδατα αποτελούν περίπου μόνο το 1,7% του συνολικού νερού στον κόσμο, το οποίο αντιπροσωπεύει όγκο περίπου $23,4 \times 10^6 \text{ km}^3$. Περισσότερο από το 50% αυτού του όγκου αποτελείται από τα υπόγεια ύδατα, όπου εμφανίζονται σε στρώματα σε βάθος ενός χιλιομέτρου (Porowski et al, 2019).

3.2 Φυσικοχημικές παράμετροι και χαρακτηρισμός υδάτων

3.2.1 Φυσικοχημικές παράμετροι υδάτων

Ακολουθώς αναφέρονται συνοπτικά ορισμένες φυσικοχημικές παράμετροι καθώς και οι παράγοντες που τις επηρεάζουν. Γίνεται αναφορά στις συγκεκριμένες παραμέτρους καθώς διαθέσιμα στοιχεία των οποίων, από προηγούμενες έρευνες θα συναξιολογηθούν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας για την διερεύνηση των παραπάνω πηγών.

Η **θερμοκρασία** των υπόγειων υδάτων καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία του υδροφορέα. Στα υπόγεια ρευστά παρ' ότι παραμένει σταθερή μπορεί να επηρεαστεί απ' τις μεταβολές της πιεζομετρικής επιφάνειας και των γεωθερμικών συνθηκών της περιοχής.

Το **pH** αποτελεί το μέτρο μέτρησης της ενεργότητας των ιόντων υδρογόνου H^+ . Το pH αυξάνεται όταν προστίθεται στο διάλυμα βάση ή όταν απομακρύνεται ποσότητα το CO_2 .

Η **ηλεκτρική αγωγιμότητα** συνδέεται άμεσα με την ποσότητα και τη φύση των διαλυμένων ηλεκτρολυτών, εξαρτάται από τη θερμοκρασία και χρησιμεύει για την εκτίμηση των **T.D.S.** (ολικώς διαλελυμένα στερεά).

Τα **T.D.S.** εκφράζουν τη συνολική συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων στο νερό, χωρίς να περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα ιζήματα, τα κολλοειδή και τα διαλυμένα αέρια. Η παρουσία αλάτων στο υπόγειο νερό σχετίζεται άμεσα με το είδος των πετρωμάτων στα οποία κινείται, τον χρόνο παραμονής, την ταχύτητα ροής κ.λπ.

Η **σκληρότητα** είναι το σύνολο των συγκεντρώσεων των δισθενών μεταλλικών κατιόντων, εκ των οποίων τα πιο συνηθισμένα είναι το Ca^{2+} και το Mg^{2+} , που δείχνει την τάση για σχηματισμό ανθρακικών επικαθήσεων (Βουδούρης, 2015).

3.2.2 Αμμωνία (NH_4)

Το μεγαλύτερο μέρος της αμμωνίας στο περιβάλλον προέρχεται από την αποσύνθεση αζωτούχας ζωικής και φυτικής ύλης. Μαζί με τα αμμωνικά άλατα βρίσκονται επίσης σε μικρές ποσότητες στο νερό της βροχής, όπου το χλωριούχο αμμώνιο και το θειικό αμμώνιο προέρχεται από ηφαιστειακές εκλύσεις. Οι πιο σύνηθες τεχνητές πηγές αμμωνίας είναι τα λιπάσματα (Βουδούρης, 2009).

Η παρουσία αμμωνίας μπορεί να είναι ένας δείκτης βιολογικής ρύπανσης, λυματολάσπη ή ζωικά απόβλητα και προσδίδει μια δυσάρεστη γεύση στο νερό. Οι προτεινόμενες τιμές συγκέντρωσης για την αποφυγή παρενεργειών είναι $<0,5 \text{ mg/L}$ (Βουδούρης, 2009).

Η υψηλή πρόσληψη NH_4 από τον ανθρώπινο οργανισμό προκαλεί οξέωση, διαταράσσοντας την ανοχή στη γλυκόζη και μειώνοντας την ευαισθησία ιστού στην ινσουλίνη (US EPA 1989). Μπορεί να μειώσει την οστική μάζα, την περιεκτικότητα σε ασβέστιο και το pH του αίματος (WHO 1996a).

3.2.3 Ορισμός θερμομεταλλικών - ιαματικών νερών

Ήδη από το 1918 ξεκίνησε στην Ελλάδα η ανάπτυξη των ιαματικών λουτρών, που τα τελευταία χρόνια έχει γνωρίσει ιδιαίτερη έξαρση στον κλάδο των εναλλακτικών διακοπών, που έχει σαν αποτέλεσμα δημιουργία ιαματικού τουρισμού (SPA) (Βέκιος κ.ά., 2010).

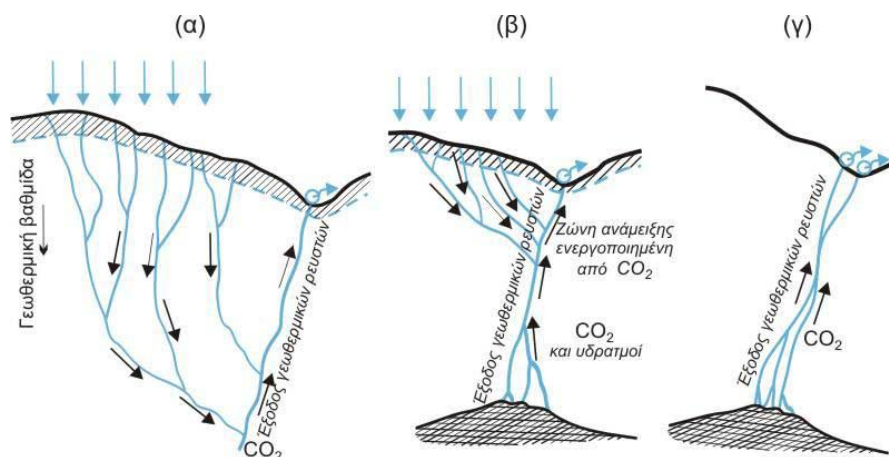
Λόγω του ότι τα νερά των περισσότερων υπό μελέτη πηγών έχουν χαρακτηριστεί σε παλαιότερη έρευνα (Λέκκας, 1938) και τα ιστορικά ισχύοντα κριτήρια και διαδικασίες ως ιαματικά, δίνεται παρακάτω ο ορισμός των ιαματικών υδάτων, ώστε να υπάρχει ολοκληρωμένη εικόνα των συνθηκών που επικρατούν στις πηγές.

Ιαματική πηγή είναι η φυσική ανάβλυση ή άντληση ιαματικού φυσικού πόρου με τεχνικό έργο, όπως από γεώτρηση, φρέαρ, τάφρο ή σήραγγα (φυσική ή τεχνητή) ή φυσική δημιουργία ιαματικού πηλού ή ηφαιστειακών λίθων. Ως ιαματικοί φυσικοί πόροι θεωρούνται φυσικά νερά (ψυχρά ή θερμά), ατμοί, φυσικά αέρια, πηλοί ή ηφαιστειακών λίθων, που έχουν ιαματικές ιδιότητες, αναγνωρισμένες σύμφωνα με τις διατάξεις του παρόντος νόμου (ΦΕΚ 603/Β'/22-2-2018).

Αναλυτικότερα αναφέρονται ως θερμομεταλλικά νερά ορίζονται τα νερά των οποίων η συγκέντρωση των συνολικών διαλυμένων στερεών είναι μεγαλύτερη από 1000 mg/L και η θερμοκρασία τους είναι μεγαλύτερη από τη μέση ετήσια του αέρα στην επιφάνεια της Γης της περιοχής τους. Ο νόμος 3498/24 Οκτ.2006 «περί ανάπτυξης ιαματικού τουρισμού» ορίζει ως φυσικούς ιαματικούς πόρους τα φυσικά νερά (ψυχρά ή θερμά), τους ατμούς, τα φυσικά αέρια

και τους πηλούς που έχουν ιαματικές ιδιότητες, αναγνωρισμένες σύμφωνα με τις διατάξεις του ίδιου νόμου. Συνήθως οι ιαματικές πηγές είναι θερμομεταλλικές πηγές, αλλά μπορεί να είναι και ψυχρές (Βέκιος κ.ά., 2010).

Οι θερμομεταλλικές πηγές χαρακτηρίζονται από αυξημένες συγκεντρώσεις διαλυμένων αερίων όπως τα CO_2 , CH_4 , H_2S , κάποια από τα οποία συχνά δίνουν έναν ιαματικό χαρακτήρα στις πηγές, καθώς και ιχνοστοιχεία. Η μεταλλικότητά των νερών διαμορφώνεται κατά την πορεία τους στο υπέδαφος. Η θερμοκρασία τους μπορεί να ελαττώνεται καθώς ανεβαίνουν προς την επιφάνεια, διότι αναμειγνύονται με νερά υδροφόρων χαμηλής θερμοκρασίας. Τα θερμομεταλλικά νερά αποτελούν γεωθερμικά ρευστά με κυρίως μετεωρική προέλευση και με μικρά ποσοστά νεαρών ή συγγενετικών νερών. Σημαντικό στοιχείο για τις θερμομεταλλικές πηγές αποτελεί ο μηχανισμός δημιουργίας τους, ο οποίος ταυτίζεται με τον μηχανισμό δημιουργίας των γεωθερμικών ρευστών όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στην Εικόνα 3.1 (Βέκιος κ.ά., 2010).



Εικόνα 3.1: Θερμή πηγή (κατά Castany G., 1968, ανασχεδιασμένο από Σούλιο Γ.)

Ανάλογα με την περιεκτικότητα των υδάτων σε κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία, παρουσιάζουν διαφοροποίηση του βαθμού οξύτητας (όξινα, αλκαλικά ή ουδέτερα).

Συνοψίζοντας, οι ιαματικές πηγές αποτελούν φυσικές αναβλύσεις θερμών, υπόθερμων ή και ψυχρών νερών, τα συστατικά των οποίων είναι κατάλληλα για την ίαση διαφόρων παθήσεων του ανθρώπινου σώματος.

Το σύνολο ιατρικών - θεραπευτικών πρακτικών που στηρίζονται στην άμεση χρήση λουτρών από θερμές ιαματικές πηγές ονομάζεται θερμαλισμός. Στόχο έχει την πρόληψη – διατήρηση ή και αποκατάσταση της σωματικής και ψυχικής ευεξίας. Ανάλογα με το είδος της υδροθεραπείας, έχουμε την εσωτερική υδροθεραπεία όταν τα νερά χρησιμοποιούνται για πόση (ποσιθεραπεία), και την εξωτερική υδροθεραπεία, όταν τα ιαματικά νερά χρησιμοποιούνται για λουτρό (λουτροθεραπεία). Όταν το νερό τους χρησιμοποιείται για λουτροθεραπεία ή ποσιμοθεραπεία, θεωρείται ότι έχουν ιαματικές ιδιότητες. Οι ιδιότητες

αυτές δεν αποδεικνύεται ότι συνδέονται με κάποιες χημικές ή άλλες παραμέτρους των νερών αυτών, αλλά με την αποδεδειγμένη θεραπευτική τους δράση μέσω της ιατρικής παρατήρησης (Βέκιος κ.ά., 2010).

Το μεταλλικό νερό χαρακτηρίζεται από την καθαρότητα του σε μια πηγή, το περιεχόμενο του σε ορυκτά, ιχνοστοιχεία και άλλα συστατικά, η αποθήκευσή του και οι θεραπευτικές του ιδιότητες, είναι αναγνωρισμένες από το Υπουργείο Υγείας μετά από κλινικές και φαρμακολογικές δοκιμές (Petraccia et al., 2005).

Επιστήμονες από όλο τον κόσμο έχουν ασχοληθεί με την κατηγοριοποίηση των υδάτων βασιζόμενοι είτε στη θερμοκρασία τους, είτε στην περιεκτικότητα TDS είτε σε άλλες φυσικές παραμέτρους των υδάτων.

Ακολουθώς δίνονται χαρακτηριστικές ταξινομήσεις των υδάτων σύμφωνα με τη χημική τους σύσταση κατά Castany (1963) και σύμφωνα με περιεκτικότητα TDS και τη θερμοκρασία κατά τον Thurner (1967).

Πίνακας 3.1: Ταξινόμηση πηγών κατά χημική σύσταση (Castany, 1963)

ΟΜΑΔΑ ΝΕΡΩΝ	ΚΥΡΙΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΜΙΚΤΟΙ ΤΥΠΟΙ
Οξυανθρακικά	Νατριούχα Ασβεστούχα	Χλωριονατριούχα Μαγνησιοασβεστούχα
Χλωριούχα Νατριούχα	Νατριούχα Ασβεστούχα	Ανθρακονατριούχα Ανθρακοασβεστούχα
Θειικά Θειούχα Ραδιούχα	Νατριούχα Ασβεστούχα Χλωριοασβεστούχα	Νιτρικά

Σύμφωνα με τον Thurner (1967) τα νερά ταξινομούνται ως εξής:

i. Νερά με TDS> 1g/kg

1. Χλωριούχα νερά (Cl): νάτριο – χλωριούχα, άσβεστο – χλωριούχα, μάγνησιο – χλωριούχα.

2. Οξυανθρακικά νερά (HCO₃): νάτριο – οξυανθρακικά (αλκαλικές πηγές), άσβεστο – οξυανθρακικά (πηγές αλκαλικών γαιών), μάγνησιο – ανθρακικά (πηγές αλκαλικών γαιών).

3. Ανθρακικά νερά (CO₃).

4. Θειικά νερά (SO₄): νάτριο – θειικά, μάγνησιο – θειικά, ασβέστιο – θειικά, σίδηρο – θειικά και αργίλιο – θειικά.

ii. Νερά, τα οποία, ανεξάρτητα από το TDS, περιέχουν ιδιαίτερα δραστικά συστατικά

1. Σιδηρούχα (Fe>10 mg/kg)

2. Αρσενικούχα (As> 0,7 mg/kg)

3. Ιωδιούχα (I>1 mg/kg)

4. Θειούχα ($S > 1 \text{ mg/kg}$)
 5. Ραδονούχα ($Rn > 18 \text{ nCi/kg}$)
 6. Ραδιούχα ($Ra > 10^{-7} \text{ mg/kg}$)
 7. Ανθρακικά ($CO_2 > 100 \text{ mg/kg}$)
- iii. Νερά με φυσική θερμοκρασία ψηλότερη από 20°C . Πρόκειται για τις λεγόμενες θέρμες.
 - iv. Νερά ολιγομεταλλικά ή νερά με χαμηλή θερμοκρασία ($< 20^\circ\text{C}$), τα οποία έχει αποδειχτεί κλινικά ότι έχουν θεραπευτικές ιδιότητες.

Επιπλέον ανάλογα με τα ιόντα που επικρατούν τα μεταλλικά νερά διακρίνονται σε:

Πίνακας 3.2: Ταξινόμηση νερών ανάλογα με τα επικρατούντα ιόντα (Αθανασούλης κ.ά., 2009)

Αλκαλικά	Επικρατούν τα ιόντα Na και HCO_3
Γαιώδη	Επικρατούν τα ιόντα Ca, Mg και HCO_3
Μουριατικά	Επικρατούν τα ιόντα Na και Cl
Γαιομουριάτικα	Επικρατούν τα ιόντα Ca ή Mg και Cl σε σχέση με τα Na
Αλμυρά	Επικρατούν τα ιόντα Na και SO_4
Θεικά	Επικρατούν τα ιόντα Ca και SO_4
Πικρά	Επικρατούν τα ιόντα Mg και SO_4

3.2.4 Ολιγομεταλλικές πηγές – αίτια μικρότερων συγκεντρώσεων

Τα υπόγεια νερά δεν είναι ανεξάρτητα από τα επιφανειακά, από τα οποία και τροφοδοτούνται (Σούλιος, 2004). Το υπόγειο νερό ρέει μέσω ασυνεχειών, κυρίως σε αγωγούς ροής, ενώ η κύρια μάζα του πετρώματος μπορεί να είναι σχετικά αδιαπέρατη. Η διερρηγμένη ζώνη κατέχει πρωτεύοντα ρόλο στον έλεγχο της υδραυλικής συμπεριφοράς των διερρηγμένων πετρωμάτων, καθώς οι παντός τύπου ασυνέχειες αποτελούν τις σημαντικότερες γεωλογικές δομές από υδρογεωλογικής απόψεως, καθώς καθορίζουν εάν εντός της διερρηγμένης ζώνης μπορεί να αποθηκευτεί και να διακινηθεί νερό (Παρτσινεβέλου, 2016).

Χαρακτηριστικά όπως ο βαθμός διασύνδεσης, το άνοιγμα, η απόσταση τους και ο προσανατολισμός τους καθορίζουν, υδραυλικές παραμέτρους όπως είναι το ενεργό πορώδες και τη περατότητα. Οι ρωγμές και οι διαρρήξεις, όταν δεν έχουν πληρωθεί με υλικά αποσάθρωσης μπορούν να θεωρηθούν δυνητικά ως ιδανικοί διακινητές του υπόγειου νερού (Μποτσιαλάς, 2007).

Η περιεκτικότητα των αλάτων στις ολιγομεταλλικές πηγές είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη γεωλογία και την τεκτονική στην περιοχή των πηγών. Για τη διάλυση των αλάτων, απαραίτητη είναι η κυκλοφορία του νερού διαμέσου των πετρωμάτων (πρωτογενές και

δευτερογενές πορώδες). Επίσης, σημαντικό ρόλο για τη διαλυτότητα των στοιχείων έχει και η θερμοκρασία του υπόγειου νερού.

Σύμφωνα με το ΦΕΚ που αφορά τη «Διαδικασία αναγνώρισης ιαματικών φυσικών πόρων» ως ολιγομεταλλικές πηγές ορίζονται οι πηγές που έχουν ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) ≤ 200 mg/L (ΦΕΚ 2997/Β/6-11-2014). Υψηλές συγκεντρώσεις TDS παρατηρούνται σε ιζηματογενή πετρώματα (Ζαγγανά, 2013). Συνεπώς ολιγομεταλλικά νερά υποδεικνύουν υδροφορεία σε δυσδιάλυτα, πιθανά κρυσταλλικά πετρώματα, στα οποία το νερό κινείται μέσω του δευτερογενούς πορώδους και ο χρόνος παραμονής του σε αυτά είναι μικρός. Οι συγκεντρώσεις των αλάτων αυξάνονται, όσο επιμηκύνεται η διαδρομή του νερού μέσα στα πετρώματα (Ζαγγανά, 2013). Μπορεί να θεωρηθεί επίσης ότι η θερμοκρασία διατηρείται σταθερά σε χαμηλές τιμές, καθώς η υψηλή θερμοκρασία αυξάνει τον βαθμό διαλυτότητας των ορυκτών.

Τα νερά με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε ορυκτά έχουν διουρητικό αποτέλεσμα και ενδείκνυνται σε περιπτώσεις δημιουργίας πέτρας στον οργανισμό, διευκολύνουν την κάθαρση ουρικού οξέος και είναι κατάλληλα για αραίωση γάλακτος σε σκόνη, δεδομένου ότι δεν τροποποιούν τη σύνθεσή του (Petraccia et al., 2005).

Περιορισμένη βιβλιογραφία εντοπίζεται σχετικά με τα αίτια δημιουργίας των ολιγομεταλλικών πηγών. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι οι περισσότεροι ερευνητές εξετάζουν κυρίως τον χαρακτηρισμό των υδάτων και όχι τόσο τα αίτια δημιουργίας τους. Η περιορισμένη διάλυση μετάλλων στο νερό είναι η αιτία δημιουργίας των πηγών αυτών, το οποίο μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, ο μικρός χρόνος παραμονής του νερού στο πέτρωμα κ.ά.

3.2.5 Όξινες πηγές – ορισμός και γένεση

Η οξύτητα μιας πηγής συνδέεται άμεσα με απόθεση σιδηρούχων ορυκτών. Επικρατούν δύο θεωρίες σχετικά με τη διάλυση του σιδήρου στο νερό στην Κρήτη.

Η πρώτη θεωρία έχει διατυπωθεί από τον Παπασταματίου (1952) και υποστηρίζει ότι τα μεταλλεύματα σιδήρου και τα θειούχα είναι υδροθερμικής προέλευσης, η οποία συνδέεται γενετικά με τα εκρηξιγενή πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου. Η μεταλλογένεση συνδέεται και με την τεκτονική της περιοχής.

Σύμφωνα με έναν άλλο ερευνητή, τον Seidel (2003), τα οξειδία σιδήρου βρίσκονται σε κατακερματισμένα στρώματα φυλλιτών, χαλαζιτών και μαρμάρων πάχους δεκάδων μέτρων. Γεμίζουν τις διακλάσεις και τα κενά καθώς και εμποτίζουν μερικώς τα μάρμαρα. Από την έρευνά του συμπεραίνει ότι τα οξειδία αυτά προέρχονται από ρευστά που κρυσταλλώθηκαν σε χαμηλές θερμοκρασίες (31°– 40°C) και μικρά βάθη (~1 km), ενώ αποτέθηκαν μετά την άνοδο στην επιφάνεια του μεταμορφωμένου συμπλέγματος (μετεωρικής προέλευσης).

Στην Κρήτη παρατηρείται σε αρκετές θέσεις της «φυλλιτικής-χαλαζιτικής σειράς» και συνήθως στην επαφή των χαλαζιτών με τα υποκείμενα φυλλιτικά τμήματα μικρές συγκεντρώσεις σιδηρομεταλλεύματος (λειμονίτης-γκαιπίτης-αιματίτης) (Μυλωνάκης, 1988).

Τα πετρώματα που περιέχουν τις σιδηρούχες αποθέσεις αποτελούνται από φυλλιδωτό φυλλίτη, χαλαζίτη και μάρμαρο της μεταμορφωμένης σειράς Φυλλίτη - Χαλαζίτη, υψηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας.

3.2.5.1 Εναπόθεση των οξειδίων του σιδήρου

Οι μεταβολές των σιδηρούχων αποθέσεων και η εναπόθεση των οξειδίων του σιδήρου λαμβάνουν χώρα σε όλο το μήκος της ζώνης αποκόλλησης στην Κρήτη, η οποία εκτείνεται για 250 χιλιόμετρα με διεύθυνση ανατολική-δυτική. Η πηγή του σιδήρου ήταν πιθανά ο αιματίτης, που είναι παρόν στη Φυλλιτική - Χαλαζιτική σειρά όπως και σε άλλα μεταλλεύματα που περιέχουν σίδηρο, π.χ. ο χλωρίτης (Davis and Hardy, 1981)

Για παράδειγμα στο χωριό Ραβδούχα, στη Δ. Κρήτη, η γένεση των αποθέσεων οξειδίου του σιδήρου πριν από το τέλος του Μειόκαινου υποδεικνύεται από την παρουσία θαλάσσιων Νεογενών ιζημάτων που υπέρκεινται των αποθέσεων οξειδίου του σιδήρου (Seidel, 2005). Ο δισθενής σίδηρος (Fe^{2+}) μετατρέπεται σε τρισθενή (Fe^{3+}) μέσω της οξείδωσης και αποτίθεται, με αποτέλεσμα τη δημιουργία σιδηρούχων αποθέσεων

Για μια μέση γεωθερμική βαθμίδα, και με θερμοκρασία μεταξύ 31°C και 40°C υποδηλώνεται ταυτόχρονη παραμόρφωση και σχηματισμό των αποθέσεων σε μικρό βάθος, περίπου 1 έως 1,5 χλμ. κάτω από την επιφάνεια.

Παρόμοιες συνθήκες σιδηρούχων αποθέσεων έχουμε στην όξινη απορροή μεταλλείων (ΟΑΜ).

3.3 Νομοθεσία περί φυσικών μεταλλικών νερών

Στην παρούσα εργασία θα γίνει αναφορά στον χημισμό των προς διερεύνηση πηγών και κατά πόσο τα νερά αυτά μπορούν να χαρακτηριστούν ως μεταλλικά νερά σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία (ΦΕΚ 3282/Β/19-9-2017).

Οι εταιρίες εμφιάλωσης νερού οφείλουν να χρησιμοποιούν πρότυπες αναγνωριστικές ενδείξεις, οι οποίες προβλέπονται από κανονισμούς όπως η Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA), η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Ευρωπαϊκή Ένωση) και το Υπουργείο Υγείας. Παρόλα αυτά οι ενδείξεις μπορεί να διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Αυτοί οι όροι μπορούν να αναφέρονται τόσο στις γεωγραφικές πηγές από τις οποίες προέρχεται το νερό όσο και στις μεθόδους θεραπείας που εφαρμόζονται.

Ο Astel (2016) προτείνει ότι ο ορισμός "μεταλλικό νερό" βασίζεται σε δύο γενικές έννοιες:

- Η έννοια της προστατευόμενης πηγής και πιο συγκεκριμένα της βακτηριολογικής ποιότητας
- Η έννοια της ελάχιστης συγκέντρωσης διαλυμένων αλάτων

Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία (οδηγία 2009/54/EK), τα φυσικά μεταλλικά νερά προέρχονται από υδροφόρο ορίζοντα ή υπόγεια ταμειυτήρα, προέρχονται από μία ή περισσότερες φυσικές πηγές. Διαφέρουν από το πόσιμο νερό λόγω της καθαρότητας και της συντήρησής τους, για το σταθερό επίπεδο ορυκτών (ιχνοστοιχεία ή άλλα συστατικά).

Το φυσικό μεταλλικό νερό επιπλέον, διακρίνεται με σαφήνεια από το συνηθισμένο πόσιμο νερό σε δύο κατηγορίες.

- Στο φυσικό, το οποίο χαρακτηρίζεται από την περιεκτικότητα σε μέταλλα, σε ιχνοστοιχεία και άλλα συστατικά.
- Στη φυσική του κατάσταση

Η FDA στις Ηνωμένες Πολιτείες ορίζει ως μεταλλικό νερό αυτό που περιέχει τουλάχιστον 250 ppm ολικών διαλυμένων στερεών (TDS), που προέρχονται από πηγή που είναι προστατευμένη από γεωλογικής και φυσικής πλευράς (Code of Federal Regulations, Title 21, Part 165 - Beverages, 2014).

Οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί (οδηγία 80/777/ΕΟΚ), θέτουν ότι το μεταλλικό νερό πρέπει να περιέχει τουλάχιστον 150 mg/L ορυκτών στερεών συστατικών. Ωστόσο, τα τοπικά πρότυπα διαφέρουν από χώρα σε χώρα.

3.3.1 Κατηγορίες μεταλλικού νερού

Ένα σύνηθες φαινόμενο είναι το φυσικό μεταλλικό νερό να περιέχει διαλυμένο CO₂. Το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να απελευθερωθεί με διάφορους τρόπους υπό συνθήκες κανονικής θερμοκρασίας και πίεσης. Λόγω αυτού του χαρακτηριστικού, τα αέρια φυσικά μεταλλικά νερά χωρίζονται σε τρεις γενικές κατηγορίες:

- Φυσικά μεταλλικά νερά, φυσικά κορεσμένα σε CO₂, στα οποία η συγκέντρωση του CO₂ σε ένα υπόγειο υδροφόρο ισούται με τη συγκέντρωση του CO₂ μετά τον διαχωρισμό των ασταθών στοιχείων και την εμφιάλωση.
- Φυσικά μεταλλικά νερά εμπλουτισμένα με CO₂ από την πηγή, στα οποία η συγκέντρωση του CO₂, μετά τον διαχωρισμό των ασταθών στοιχείων και την εμφιάλωση, είναι υψηλότερη από εκείνη που προσδιορίζεται σε υπόγειο υδροφόρο ή κατάθεση.

- Φυσικά μεταλλικά νερά τεχνητά κορεσμένα με CO₂ όπου κατά την εμφιάλωση το νερό κορέσθηκε σε CO₂ από ένα υπόγειο υδροφορέα ή απόθεση ή με το απαιτούμενο για την τροφή CO₂.

Το μεταλλικό νερό χαρακτηρίζεται από τα σταθερά επίπεδα και αναλογίες κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων στην πηγή. Δεν μπορούν να προστεθούν ανόργανα στοιχεία στο μεταλλικό νερό.

Πίνακας 3.3: Ενδείξεις μεταλλικού νερού και τα κριτήρια τους (ΟΔΗΓΙΑ 2009/54/ΕΚ)

Ενδείξεις	Κριτήρια
Χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα	Η περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα, υπολογισμένη ως σταθερό υπόλειμμα, δεν είναι ανώτερη από 500 mg/L
Πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα	Η περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα, υπολογισμένη ως σταθερό υπόλειμμα, δεν είναι ανώτερη από 50 mg/L
Πλούσιο σε ανόργανα άλατα	Η περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα, υπολογισμένη ως σταθερό υπόλειμμα, είναι ανώτερη από 1500 mg/L
Όξινο ανθρακικό	Η περιεκτικότητα σε όξινα ανθρακικά άλατα είναι ανώτερη από 600 mg/L
Θειικό ή περιέχει θειικά	Η περιεκτικότητα σε θειικά άλατα είναι ανώτερη από 200 mg/L
Χλωριούχο ή περιέχει χλώριο	Η περιεκτικότητα σε χλώριο είναι ανώτερη από 200 mg/L
Ασβεστούχο ή περιέχει ασβέστιο	Η περιεκτικότητα σε ασβέστιο είναι ανώτερη από 150 mg/L
Μαγνησιούχο ή περιέχει μαγνήσιο	Η περιεκτικότητα σε μαγνήσιο είναι ανώτερη από 50 mg/L
Φθοριούχο ή περιέχει φθόριο	Η περιεκτικότητα σε φθόριο είναι ανώτερη από 1 mg/L
Σιδηρούχο ή περιέχει σίδηρο	Η περιεκτικότητα σε δισθενή σίδηρο είναι ανώτερη από 1 mg/L
Υπόξινο	Η περιεκτικότητα σε ελεύθερο διοξείδιο του άνθρακα είναι ανώτερη από 250 mg/L
Νατριούχο ή περιέχει νάτριο	Η περιεκτικότητα σε νάτριο είναι ανώτερη από 200 mg/L
Κατάλληλο για την ετοιμασία βρεφικών τροφών	-
Κατάλληλο για δίαιτα πτωχή σε νάτριο	Η περιεκτικότητα σε νάτριο είναι κατώτερη από 20 mg/L
Δύναται να έχει καθαρτική δράση	-
Δύναται να έχει διουρητική δράση	-

Πίνακας 3.4: Συστατικά που είναι παρόντα με φυσικό τρόπο στα μεταλλικά νερά και οι ανώτατες οριακές τιμές των οποίων η υπέρβαση μπορεί να προκαλέσει κίνδυνο στην δημόσια υγεία. (ΦΕΚ 3282B της 19/09/2017)

Συστατικά	Ανώτατες οριακές τιμές (mg/L)
Αντιμόνιο	0,0050
Αρσενικό	0,010 (Συνολικά)
Βάριο	1,0
Βόριο	(*)
Κάδμιο	0,003
Χρώμιο	0,050
Χαλκός	1,0
Κυανιούχα	0,070
Φθοριούχα	5,0
Μόλυβδος	0,010
Μαγγάνιο	0,50
Υδράργυρος	0,0010
Νικέλιο	0,020
Νιτρικά	50
Νιτρώδη	0,1
Σελήνιο	0,010

*Το ανώτατο όριο για το βόριο θα ορισθεί ύστερα από γνωμοδότηση της Ευρωπαϊκής Αρχής για την Ασφάλεια των Τροφίμων και βάσει πρότασης της Επιτροπής πριν από την 1η Ιανουαρίου 2006

3.4 Υδατικό δυναμικό κυριότερων υδρογεωλογικών ενοτήτων Κρήτης

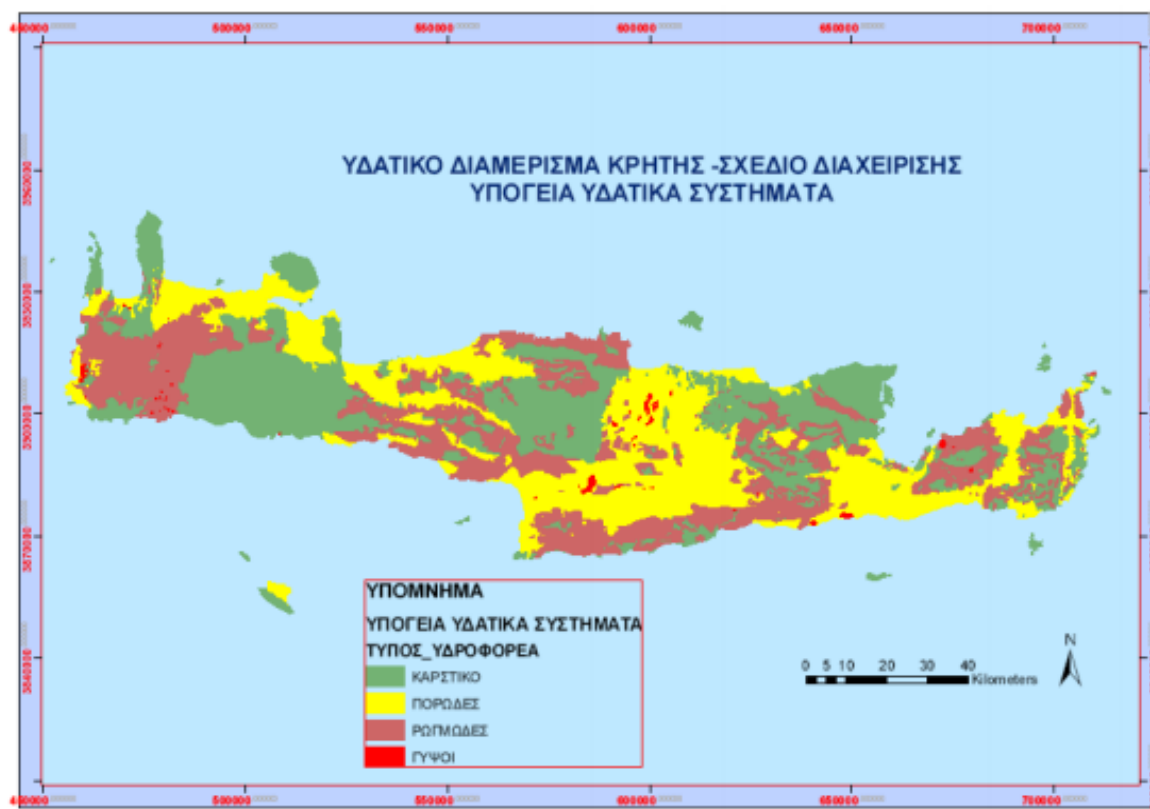
Σύμφωνα με την έκθεση της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης (2013) οι υδρογεωλογικές συνθήκες της Κρήτης εξαρτώνται άμεσα από τις γεωλογικές, τεκτονικές και μορφολογικές συνθήκες που συναντώνται ανά περιοχή. Συνεπώς η ανάπτυξη των υπόγειων υδροφοριών στους γεωλογικούς σχηματισμούς καθορίζονται από τις τοπικές συνθήκες και όπως είναι αναμενόμενο παρουσιάζει διαφοροποιήσεις από περιοχή σε περιοχή. Σημαντικό ρόλο παίζουν και οι τεκτονικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, και ιδιαίτερα η ύπαρξη ρηγμάτων που είτε βοηθούν στην επικοινωνία μεταξύ των υδρολιθολογικών ενοτήτων είτε λειτουργούν σαν φραγμός, αποκόπτοντας την επικοινωνία τους.

Τα υδροφόρα συστήματα της Κρήτης, διακρίνονται σε καρστικά, πορώδη και ρωγμώδη. συγκεκριμένα η Κρήτη διακρίθηκε σε 91 υπόγεια υδατικά συστήματα που διακρίνονται σε 47 καρστικά, 35 πορώδη και 8 ρωγμώδη (Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτη, 2013).

Το μεγαλύτερο μέρος του νησιού καλύπτουν τα ανθρακικά πετρώματα (Καρστικά Υδροφόρα) και δομούν κύρια τους ορεινούς όγκους των Λευκών Ορέων, του Ψηλορείτη και της Δίκτης, καθώς επίσης και μικρότερες σε έκταση καρστικές ορεινές ενότητες (Ορνού, της Σητείας, των Αστερουσίων, των Ασιδέρωτων κ.ά.) (Εικόνα 3.2), τα οποία παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στην ανάπτυξη των υπόγειων υδροφοριών.

Οι νεογενείς-προσχωσιγενείς αποθέσεις (πορώδεις υδροφόρα συστήματα) παρουσιάζουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον ιδιαίτερα όταν στη δομή τους συμμετέχουν αδρομερή στοιχεία στα τεταρτογενή (κροκάλες, άμμοι) και κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι στα νεογενή. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό στοιχείο της υδροφορίας των νεογενών, είναι η παρουσία εκτεταμένων κατά θέσεις εμφανίσεων γύψου, με πλούσιο υδατικό δυναμικό αλλά κακής ποιότητας νερό.

Η υπόλοιπη έκταση του νησιού ($\approx 1.973 \text{ km}^2$) δομείται από σχηματισμούς φυλλιτών – χαλαζιτών και φλύσχη (ρωγμώδη υδροφόρα συστήματα) , τα οποία εμφανίζουν ασθενείς τοπικές υδροφορίες αλλά κρίνονται βαρύνουσας σημασίας από πλευράς ζήτησης καθώς το νερό τους καλύπτει τις υδρευτικές ανάγκες οικισμών που βρίσκονται σε μεγάλα υψόμετρα. Το ρωγμώδες σύστημα των Χανίων (GR1300190) αποτελείται από τους σχηματισμούς Φλύσχη Ζωνών Πίνδου και Τρίπολης, Φυλλίτες - Χαλαζίτες και Αργιλικούς σχιστόλιθους. Η έκταση του είναι 582.04 km^2 , σε καλή ποιοτική και ποσοτική κατάσταση, όμως είναι μικρής δυναμικότητας υδροφόρα και γίνεται υπερεκμετάλλευση. Το ρωγμώδες σύστημα Ρεθύμνου (GR1300210) αποτελείται από Οφιόλιθους, Φλύσχη των Ζωνών Πίνδου και Τρίπολης και Φυλλίτες - Χαλαζίτες. η έκταση του ανέρχεται σε 307.87 km^2 σε καλή ποιοτική και ποσοτική κατάσταση.



Εικόνα 3.2: Διαχωρισμός υπόγειων υδατικών συστημάτων σε καρσικά, πορώδη και ρωγματώδη (Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης, 2013).

3.5 Επίδραση της ορυκτολογικής σύστασης των υδροφορέων στο χημισμό του νερού

Η χημική σύσταση των υπόγειων υδάτων καθορίζεται από την αλληλεπίδραση νερού-πετρώματος (Gob S. et al., 2013). Κατά τη διάρκεια αιώνων, ανακαλύφθηκε ότι πολλά ύδατα έχουν καταπραϋντικές, θεραπευτικές και προληπτικές ιδιότητες, επειδή τα ορυκτά που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό είναι σημαντικά για τη λειτουργία του ανθρώπινου σώματος (Wojtaszek, 2006).

Η φυσική αλληλεπίδραση μεταξύ των υπόγειων υδάτων και του μητρικού πετρώματος είναι μια αργή και μακροχρόνια γεωχημική διαδικασία που συμβάλλει τόσο στην εξέλιξη της δομής του πορώδους του πετρώματος όσο και στην ποιότητα των υπόγειων υδάτων (Zhang et al., 2020).

Τα νερά των βροχοπτώσεων εισερχόμενα στο έδαφος αναμιγνύονται και αραιώνουν τα υδατικά διαλύματα του εδάφους και προχωρούν δια βαρύτητας στους υπόγειους υδροφόρους. Όσο επιμηκύνεται η διαδρομή του νερού μέσω των πετρωμάτων οι συγκεντρώσεις των διαφόρων αλάτων στο υπόγειο νερό αυξάνονται (Λαμπράκης, 2009). Τα ορυκτά αποτελούν είτε προϊόντα έκπλυσης (leached) από το πέτρωμα λόγω της δράσης του υπόγειου νερού, είτε είναι προϊόντα αντιδράσεων που συμβαίνουν μεταξύ διαφόρων χημικών συστατικών (Razowska-Jaworek, 2014). Σύμφωνα με τον Schoeller, (1964, 1983) η συγκέντρωση των αλάτων στο νερό που προκύπτουν από τη διάλυση των πετρωμάτων είναι συνάρτηση της ταχύτητας του υπόγειου νερού και της απόστασης που αυτό διανύει.

Το νερό των υδροφόρων υπόκεινται σε διαγενετικές μεταβολές. Αναλυτικότερα αυτές μπορεί να είναι διάλυση, οξείδωση, αναγωγή, καθίζηση, ιοντική ανταλλαγή, υδρόλυση, προσρόφηση-απορρόφηση, μικροβιολογικές μεταβολές. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στην περίπτωση που τα ορυκτολογικά συστατικά του υδροφορέα είναι ευδιάλυτα η επίδραση στη διαμόρφωση της ποιότητας του νερού που περιέχει είναι σημαντική. Κάθε τύπος μεταλλικού νερού σχηματίζεται με διαφορετικό τρόπο και υπό ελαφρώς διαφορετικές συνθήκες. Η εμφάνιση διαφόρων τύπων φυσικών μεταλλικών νερών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, κυρίως από τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής (λιθολογία, τεκτονική, παλαιό ηφαιστειακοί σχηματισμοί), υδάτινοι πόροι, ροή υπογείων υδάτων, η ηλικία του νερού και η γεωθερμική ενέργεια. Επιπρόσθετοι παράγοντες είναι η ταχύτητα εξαλλοίωσης των ορυκτολογικών συστατικών, το μέγεθος της επιφάνειας επαφής του νερού και του πετρώματος, ο χρόνος παραμονής του νερού στον υδροφορέα, το pH κ.α. (Καλλέργης, 2001). Ως εκ τούτου, ορισμένοι τύποι μεταλλικών νερών είναι χαρακτηριστικά διαφορετικών γεωλογικών ομάδων (Razowska-Jaworek, 2014). Στα φυλλιτικά πετρώματα παρουσιάζουν μεγάλες επιφάνειες επαφής με το νερό, σαν αποτέλεσμα η περιεκτικότητα σε TDS των υπόγειων νερών να είναι μεγαλύτερη σε αυτά από ότι στα κρυσταλλικά.

Στα μεταμορφωμένα πετρώματα τα TDS του υπόγειου νερού είναι μικρό, εξαιτίας του μικρού ρυθμού εξαλλοίωσης των πυριτικών αλάτων. Τα πυριτικά ανθίστανται στη χημική προσβολή, διαλύονται αργά και δίνουν λίγα συστατικά στο νερό. Η διαλυτότητα τους αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας (Λαμπράκης, 2009). Χαρακτηριστική όμως είναι η υψηλή περιεκτικότητα του νερού σε SiO_2 . Βιβλιογραφικά και σύμφωνα με τον Καλλέργη (2001) σε φυλλίτες και χαλαζίτες η συγκεντρώσεις SiO_2 κυμαίνονται εν γένει περίπου στο 30mg/L. Το μεγαλύτερο μέρος του SiO_2 που ελευθερώνεται κατά την αποσάθρωση σχηματίζει με το αργίλιο αργιλοπυριτικά ορυκτά. (Καλλέργης, 2001). Τέλος οι αυξημένες τιμές συγκεντρώσεων SO_4^{2-} μπορεί να οφείλονται σε οξείδωση πυριτών.

Στους παραπάνω σχηματισμούς τα αλκάλια και οι αλκαλικές γαίες που απελευθερώνονται εμπλουτίζουν το υπόγειο νερό. Αντιθέτως το K^+ συνδέεται με τα προϊόντα της αποσάθρωσης. Ενώ μικρές είναι και οι συγκεντρώσεις που απαντώνται σε SO_4^{2-} και Cl^- (Καλλέργης, 2001).

Ο σίδηρος που ελευθερώνεται κατά την αποσάθρωση μπορεί να παραμείνει σε διάλυση στο νερό ανάλογα με το pH. Πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις ιόντων σιδήρου μπορούν να βρεθούν σε αναγωγικά περιβάλλοντα. (Καλλέργης, 2001).

Η χημική σύσταση του νερού σε μικρά βάθη είναι οξινο-ανθρακική, ενώ καθώς αυξάνεται το βάθος η χημική του σύσταση διαφοροποιείται σε χλωριούχο (Λαμπράκης, 2009).

Συγκεκριμένα η μεταβολή της χημικής σύστασης του υπόγειου νερού με το βάθος είναι:



Αυτό προκαλεί μια κατακόρυφη διαστρωμάτωση, σε τρεις ζώνες, σύμφωνα με τον Domenico (1972). Η σειρά αυτή δεν είναι απόλυτη (Λαμπράκης, 2009).

Ανώτερη ζώνη: Παρουσία του ενεργού υπόγειου νερού. Στη ζώνη αυτή υπερέχουν οι συγκεντρώσεις HCO_3^- , ενώ οι ποσότητες των TDS είναι μικρές.

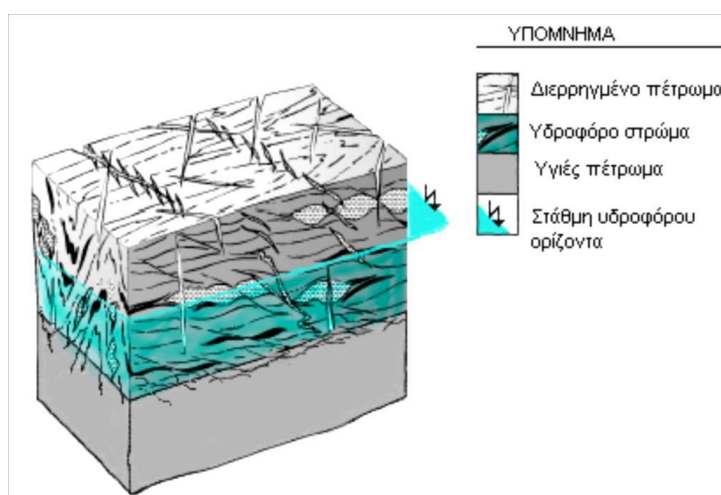
Ενδιάμεση ζώνη: Παρουσία του λιγότερο ενεργού υπόγειου νερού. Εμφανίζει αυξημένες συγκεντρώσεις TDS και υπερέχουν τα θειικά ιόντα.

Κατώτερη ζώνη: Παρουσία νερού που κινείται πολύ αργά. Τα ευδιάλυτα ορυκτά είναι συνήθη στην κατώτερη ζώνη και χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις TDS και Cl^- .

Το συγκεκριμένο θέμα της έκπλυσης των πετρωμάτων απασχολεί ερευνητές ανά τον κόσμο τα τελευταία χρόνια. Σύμφωνα με πειράματα έκπλυσης που πραγματοποιήθηκαν από τους Sanada et al.(2006) σε δείγματα ανδρείτη από την περιοχή Tamagawa της Ιαπωνίας, για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων στοιχείων σπάνιων γαιών (REE) σε όξινα διαλύματα που πλησίαζαν τα θερμά νερά πηγής, έδειξαν ότι οι σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις REE στο νερό ήταν πιθανά αποτέλεσμα της επιφανειακής διάλυσης των πετρωμάτων από τα όξινα νερά.

3.6 Υδρογεωλογική Θεώρηση των Σκληρών Διερρηγμένων Πετρωμάτων

Το υδρογεωλογικό περιβάλλον, το οποίο ελέγχει την ύπαρξη και κίνηση του υπόγειου νερού είναι ανεξάρτητο της λιθολογίας, καθώς οι δευτερογενείς ασυνέχειες παίζουν καθοριστικό ρόλο στην εμφάνιση υδροφοριών τοπικής έκτασης και μικρού βάθους (Εικόνα 3.3) φαινόμενο το οποίο παρατηρείται και σε ιζηματογενή πετρώματα που έχουν υποστεί μεγάλου βαθμού διαγένεση (Krasny, 1996). Η γεωμετρία και η ανατομία των υδροφορέων καθορίζεται εν γένει από την λιθολογία ή την στρωματογραφική ακολουθία της περιοχής (Μποτσιαλάς, 2007).



Εικόνα 3.3: Σχηματική παράσταση δημιουργίας υδροφόρου ορίζοντα εντός μανδύα αποσάθρωσης, όπου οι δευτερογενείς ασυνέχειες παίζουν καθοριστικό ρόλο (τροποποιημένη εικόνα από Famin et al., 2000) (Παρτσινεβέλου, 2016).

Το υδρογεωλογικό περιβάλλον των σκληρών διερρηγμένων πετρωμάτων είναι ιδιαίτερα σύνθετο, καθώς σε κάθε ζώνη επικρατούν διαφορετικές υδρογεωλογικές συνθήκες, με κοινό παρονομαστή την υδροφορία μέσω δευτερογενούς πορώδους (Παρτσινεβέλου, 2016).

Οι υδροφόροι ορίζοντες που αναπτύσσονται σε σκληρά διερρηγμένα πετρώματα, εμφανίζουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, τα οποία τους διαφοροποιούν από αυτούς που αναπτύσσονται στο πορώδες μέσο. Αυτά είναι η εμφάνιση κυρίως δευτερογενούς πορώδους, η ανισοτροπία και η ανομοιογένεια. Επίσης όσον αφορά τον εμπλουτισμό, μπορούν να προσδιοριστούν χωρικά περιοχές, όπου ο εμπλουτισμός είναι μεγαλύτερος (Παρτσινεβέλου, 2016).

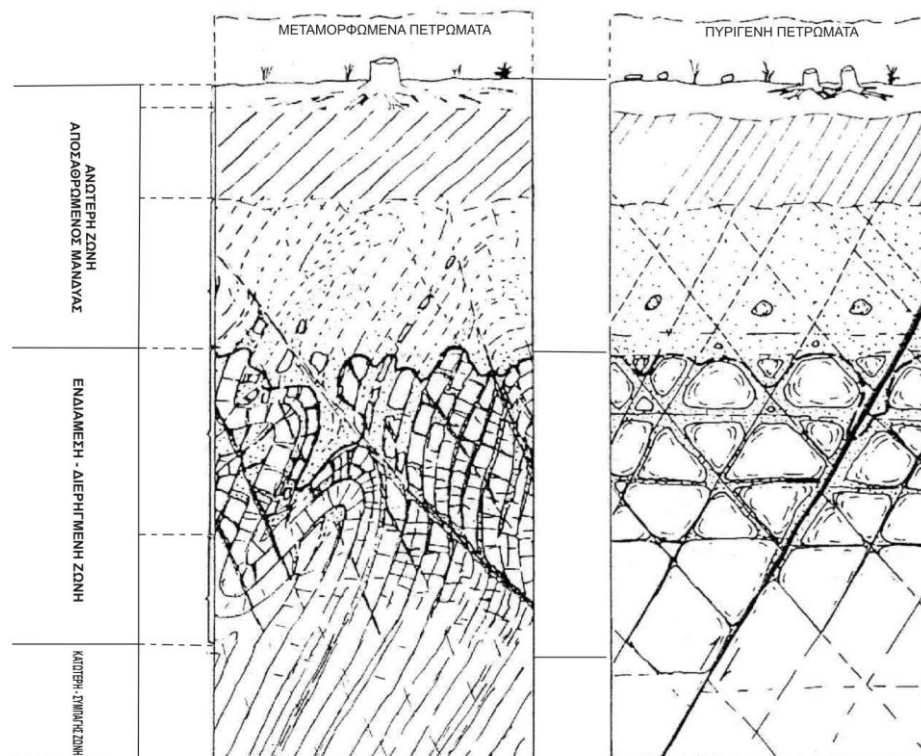
Ως σκληρά διερρηγμένα πετρώματα με την υδρογεωλογική έννοια του όρου, χαρακτηρίζονται τα κρυσταλλικά (πυριγενή και μεταμορφωμένα) πετρώματα καθώς και τα ισχυρώς συγκολλημένα ή/και πτυχωμένα ιζηματογενή πετρώματα. Ο ορισμός του πρότυπου υδρογεωλογικού περιβάλλοντος των σκληρών διερρηγμένων πετρωμάτων περιλαμβάνει τρεις κατακόρυφες ζώνες (Εικόνα 3.43), την ανώτερη ή αποσάθρωμένη ζώνη, την ενδιάμεση

ή διερρηγμένη ζώνη και την κατώτερη ή συμπαγή ζώνη, όπου κάθε μία από αυτές χαρακτηρίζεται από διακριτές υδρογεωλογικές συνθήκες (Krasny, 1996).

Η ανώτερη ή αποσαθρωμένη ζώνη, αντιστοιχεί στον αποσαθρωμένο μανδύα του πετρώματος αλλά και σε νεότερες αποθέσεις του Τεταρτογενούς. Το πάχος της μπορεί να φτάσει έως μερικές δεκάδες μέτρα και κυριαρχεί το πρωτογενές πορώδες (Μποτσιαλάς, 2007).

Η ενδιάμεση ή διερρηγμένη ζώνη. Το δευτερογενές πορώδες είναι αυτό που επικρατεί, εκφρασμένο μέσω των διαρρήξεων και διακλάσεων αλλά και πρωτογενών ασυνεχειών που αναπτύσσονται, εντός της βραχώμαζας. Το σύνολο των ασυνεχειών και του άρρηκτου βράχου εμφανίζει ανισότροπη συμπεριφορά. Ο βαθμός διασύνδεσης των ασυνεχειών, το άνοιγμα τους, το μήκος τους, η τραχύτητα, το υλικό πλήρωσης, η απόσταση μεταξύ τους, η πυκνότητα των ασυνεχειών και ο προσανατολισμός, καθορίζουν την συνολική υδραυλική συμπεριφορά του πετρώματος (Μποτσιαλάς, 2007).

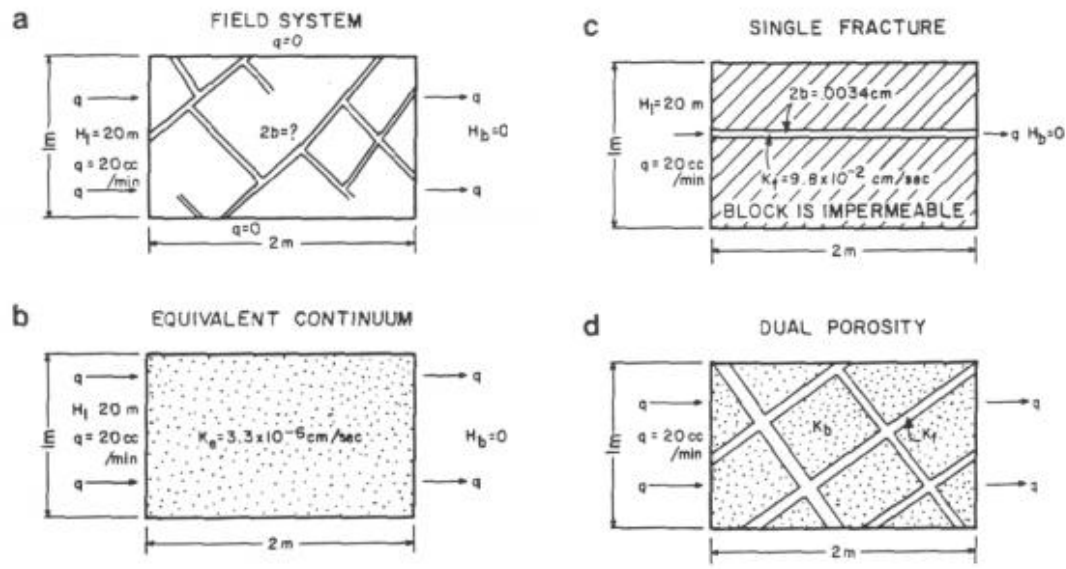
Η κατώτερη ή συμπαγής ζώνη, αντιστοιχεί στην έννοια του άρρηκτου βράχου. Οι πρωτογενείς ασυνέχειες είναι αυτές που επικρατούν, με τις δευτερογενείς να εκφράζονται μέσω απομονωμένων ρηγμάτων ή ρηξιγενών επιφανειών μεγάλου βάθους (Μποτσιαλάς, 2007).



Εικόνα 3.4: Τυπικό προφίλ αποσάθρωσης στα μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα (Deere and Patton, 1971)

Τα κατακερματισμένα συστήματα προσομοιώνονται χρησιμοποιώντας ένα ή περισσότερα από τα ακόλουθα θεωρητικά μοντέλα (Σχήμα 1 b,c,d) (Κλειδοπούλου, 2003):

- Ισοδύναμο πορώδες μέσο (Equivalent Porous Medium, EPM),
- διακριτοποιημένες ρωγματώσεις (Discrete Fractures, DF)
- και διπλό πορώδες (Dual Porosity, DP)



Εικόνα 3.5: Θεωρητικά μοντέλα κατακερματισμένων πετρωμάτων (α. Πραγματικός υδροφορέας, b. EPM, c. DF, d. DP) (Κλειδοπούλου, 2003 με πηγή: Gale, 1982).

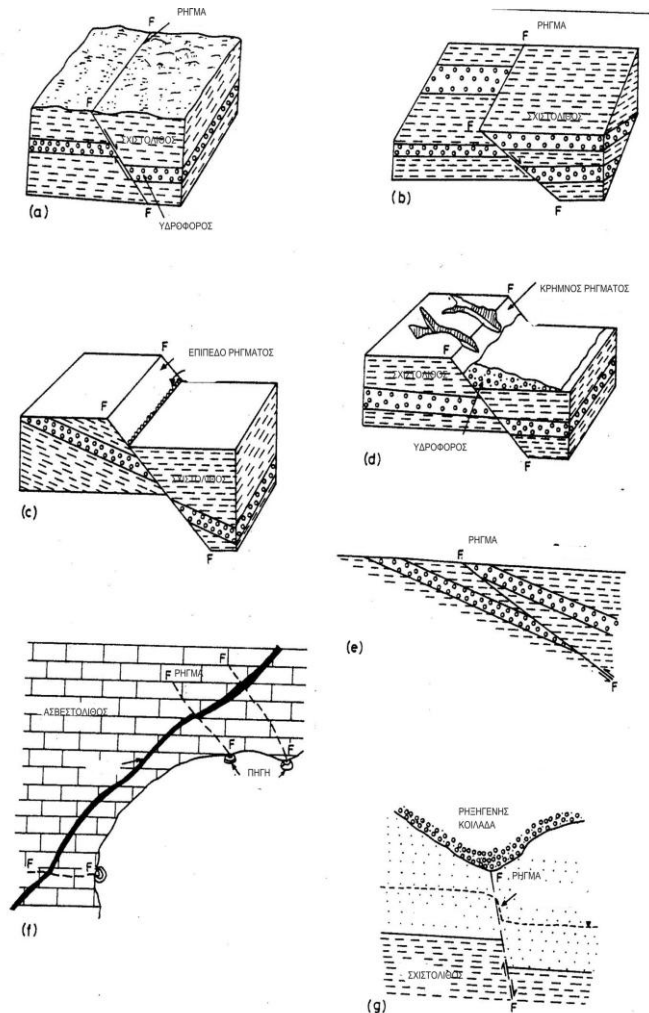
3.6.1 Ασυνέχειες – Γενικές Έννοιες και Ορισμοί.

Ο όρος «ασυνέχεια» περιλαμβάνει τις γεωλογικές επιφάνειες εκατέρωθεν των οποίων μεταβάλλεται η συνέχεια του πετρώματος αναφορικά με κάποια φυσική ή χημική ιδιότητα του. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ανισότροπη συμπεριφορά του πετρώματος εκατέρωθεν της ασυνέχειας (Μποτσιαλάς, 2007).

Από γενετικής απόψεως οι ασυνέχειες ταξινομούνται στις δύο γενικές κατηγορίες των πρωτογενών και δευτερογενών ασυνεχειών. Στις πρωτογενείς συγκαταλέγονται οι επιφάνειες που δημιουργήθηκαν ταυτόχρονα με την δημιουργία του πετρώματος όπως η στρώση και η σχιστότητα, ενώ οι δευτερογενείς είναι αποτέλεσμα της δράσης των τάσεων στους γεωλογικούς σχηματισμούς και έπονται της δημιουργίας του (π.χ. διαρρήξεις, διακλάσεις, ρήγματα) (Μποτσιαλάς, 2007). Οι ρωγμές και οι διαρρήξεις, όταν δεν έχουν υλικά πλήρωσης αποτελούν ιδανικά κανάλια ροής των υπόγειων υδάτων. μπορούν να θεωρηθούν δυνητικά ως ιδανικοί διακινητές του υπόγειου νερού (Singhal και Gupta, 1999).

3.6.2 Η επίδραση των ρηγμάτων στο υδρογεωλογικό καθεστώς.

Τα ρήγματα ανεξαρτήτως της κλίμακας παρατηρήσεως, επηρεάζουν με διαφορετικούς τρόπους, άλλες φορές περισσότερο και άλλες λιγότερο τις συνθήκες της υπόγειας ροής, καθώς μπορεί να λειτουργήσουν σαν φραγμός και να αναγκάσουν το υπόγειο νερό να κινηθεί προς διαφορετική κατεύθυνση (Μποτσιαλάς, 2007).



Εικόνα 3.6: Σχηματική αναπαράσταση της επίδρασης των ρηγμάτων επί του καθεστώτος της υπόγειας ροής (Singhal and Gupta, 1999).

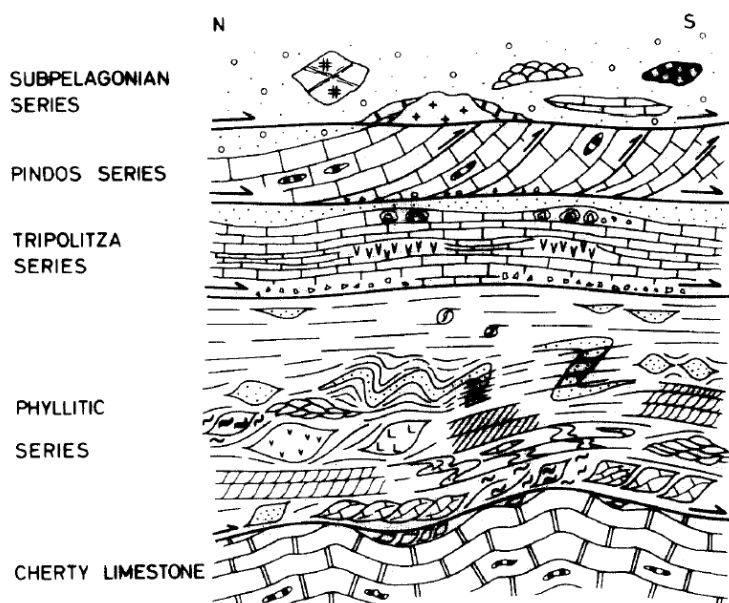
3.7 Υδροφορίες εντός Φυλλιτικής Χαλαζιτικής Σειράς

Λαμβάνοντας υπόψη τη λιθολογία των υδροφορέων, την κατεύθυνση της ροής των υπόγειων υδάτων και τους περιορισμούς διαλυτότητας των ορυκτών, μπορούν να εξαχθούν πολλά συμπεράσματα για το χημισμό των υπόγειων υδάτων. Καθώς η χημεία των υπόγειων υδάτων αντικατοπτρίζει τα λιθολογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά διαφορετικών υδροφορέων (Dreverl. J. 2005).

3.7.1 Κυκλοφορία του υπόγειου νερού στους Φυλλίτες - Χαλαζίτες

Η τεκτονική τοποθέτηση της Φυλλιτικής - Χαλαζιτικής Σειράς όπως περιγράφεται σε προηγούμενα κεφάλαια, έγινε κάτω από την επωθημένη σειρά της Τρίπολης. Το φορτίο προκάλεσε έντονο κατακερματισμό της Φυλλιτικής - Χαλαζιτικής Σειράς κατά μήκος αναρίθμητων επιπέδων διάτμησης όπου σε ορισμένα σημεία αναπτυχτήκαν επαναλαμβανόμενες πτυχές. Η δομή της melange οφείλεται στις μηχανικές ιδιότητες των εύπλαστων φυλλιτικών πετρωμάτων αφενός και περισσότερο ή λιγότερο στους χαλαζίτες, ανδεσίτες κ.α., οι οποίοι δεν παραμορφώνονται αλλά θραύονται σε μικρότερα τεμάχια όπως υποδεικνύεται από τον Hsu (1968). (Baumann et al, 1976).

Ως συνέπεια των τεκτονικών διεργασιών οι χαλαζίτες, οι χαλαζιακοί σχιστόλιθοι και οι σχιστόλιθοι με ενστρώσεις μαρμάρων, συχνά παρουσιάζουν τεκτονική καταπόνηση και διασχίζονται από διακλάσεις.



Εικόνα 3.7: Σχηματική απεικόνιση της στρωματογραφικής ακολουθίας λεπιοειδούς διάταξης της Κρήτης. (Baumann et al, 1976)

Σύμφωνα με τον Καλλέργη (2001), τα μαγματικά και μεταμορφωμένα πετρώματα, όπως τα μάρμαρα, οι γρανίτες, οι γνεύσιοι, οι γάββροι, οι χαλαζίτες, διορίτες, σχιστόλιθοι, αποτελούν υδροφόρους με δευτερογενές πορώδες (ρωγμές) (κατά U.S. Dept. Econ. Soc. Affaires, 1975 με τροποποιήσεις).

Το δευτερογενές πορώδες απαντά σε συμπαγή πετρώματα που παρουσιάζουν μηχανικές ασυνέχειες (ρωγμές – διαρρήξεις), μεσοστρωματικά διάκενα και αγωγούς που προέρχονται από τη συνδυαστική δράση της τεκτονικής και της διάλυσης των σχηματισμών από το νερό. Τα πτυχωμένα μεταμορφωμένα πετρώματα, όπως αυτά της φυλλιτικής –

χαλαζιπικής σειράς στην περιοχή ενδιαφέροντος, ιδιαίτερα στις ζώνες συμπίεσης και εφελκυσμού παρουσιάζουν έντονη ρωγμάτωση.

Ο κύριος προσανατολισμός των ρωγμών που παρατηρούνται στους σχηματισμούς είναι καθοριστικής σημασίας για τη διαμόρφωση του προσανατολισμού των δρόμων κυκλοφορίας του νερού. Καθοριστικής σημασίας χαρακτηριστικό για έναν υδροφόρο έχει και η πυκνότητα των ρωγμών, καθώς όσο η πυκνότητα αυξάνεται, τόσο πιθανότερο είναι κάποιες ρωγμές να επικοινωνούν μεταξύ τους και οι πιθανότητες διαμόρφωσης ενός ενιαίου υδροφόρου αυξάνονται. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας αποτελεί το βάθος στο οποίο φτάνουν οι ρωγμές (Καλλέργης, 2001).

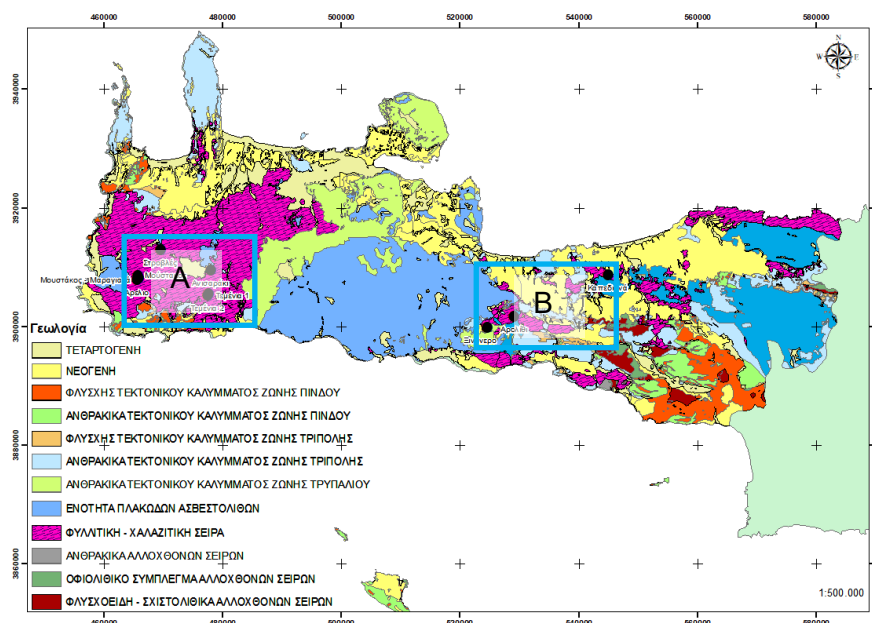
Ένας άλλος τύπος κυκλοφορίας του νερού μέσα στη ΦΧΣ είναι η ζώνες κατεκερματισμού οι οποίες σχηματίζονται κατά μήκος ρηγμάτων. Στις ζώνες αυτές οι σχηματισμοί είναι έντονα θραυσμένοι έως μυλονιτοποιημένοι, λόγω της τριβής στη διάρκεια των τεκτονικών κινήσεων. Το πάχος αυτών των ζωνών ποικίλει και συνήθως παρουσιάζουν κάποιο πορώδες, είτε πρωτογενές, είτε δευτερογενές, στο οποίο το νερό μπορεί να κυκλοφορεί. Η διαπερατότητα των ζωνών αυτών ποικίλει κατά περίπτωση. Εφόσον οι ζώνες αυτές παρουσιάζουν αυξημένη ποσότητα από πηλικά ή αλγίλικα υλικά η περατότητα δεν είναι μεγάλη (Καλλέργης, 2001).

Οι σχηματισμοί της ΦΧΣ που απαντάται στην περιοχή ενδιαφέροντος εμφανίζει πολλά ρήγματα. Οι ζώνες των ρηγμάτων αποτελούν ζώνες διακίνησης των υδάτων, εκτός αν είναι πληρωμένα με αργιλικό υλικό. Επιπλέον πρέπει να αναφερθεί ότι τα ρήγματα λόγω του ότι πολλές φορές διέρχονται από πολλούς σχηματισμούς φέρνουν σε επαφή πετρώματα με διαφορετική υδροπερατότητα και μηχανικά χαρακτηριστικά ή μπορούν να αλλάξουν τη θέση το αδιαπέρατου υποβάθρου (Καλλέργης, 2001).

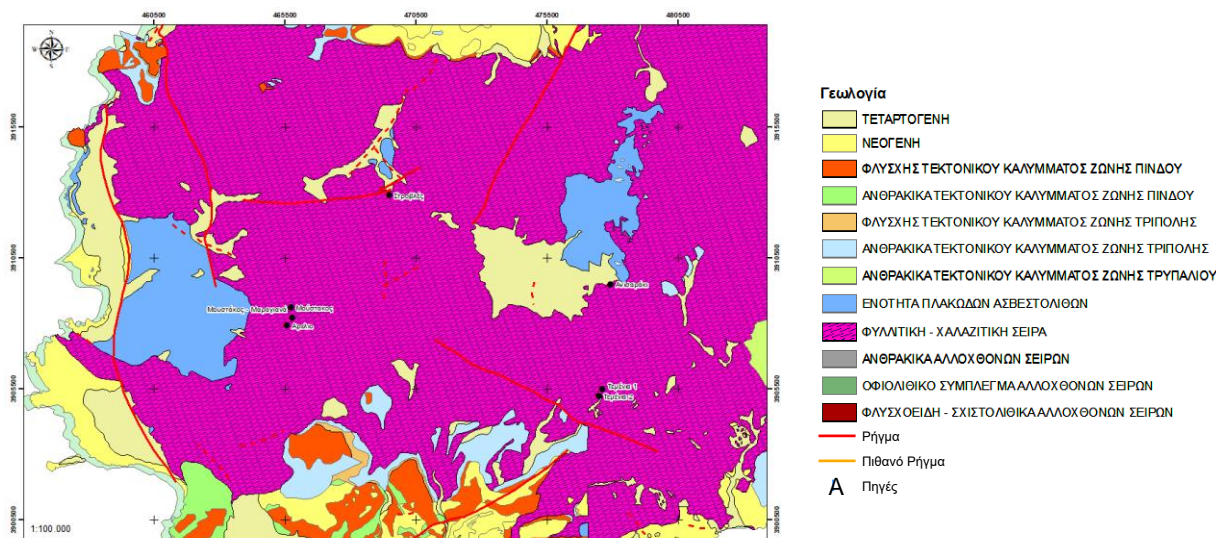
Ένας ακόμη τρόπος κυκλοφορίας του νερού εντός των κατακερματισμένων από την τεκτονική καταπόνηση Φυλλιτών – Χαλαζιτών είναι στις περιπτώσεις όπου κερματισμένα στρώματα χαλαζιτών μεγάλου πάχους κάθονται πάνω σε λιγότερο κερματισμένα, μικρής περατότητας στρώματα φυλλιτών, τότε το νερό από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα μπαίνει στις ρωγμές των κατακερματισμένων χαλαζιτών και κατεισδύει μέχρι την επαφή τους με το σχεδόν αδιαπέρατο φυλλιτικό υπόβαθρο με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια σημαντική υδροφορία. Συχνά σε αυτές τις επαφές ή λίγο ψηλότερα από αυτές δημιουργούνται οι πηγές επαφής, όπως οι πηγές οι οποίες μελετώνται στην παρούσα εργασία.

Η κυκλοφορία του υπόγειου νερού εντός των πολυπτυχωμένων Φυλλιτικών σχηματισμών της ΦΧΣ μπορεί εναλλακτικά να γίνει μέσα από διάκενα τα οποία δημιουργούνται όταν τα πετρώματα καμφθούν και πτυχωθούν ανάμεσα στις επιφάνειες σχιστότητας. Στην περίπτωση όμως αυτή οι ποσότητες νερού που διακινούνται είναι σχετικά μικρές (Καλλέργης, 2001).

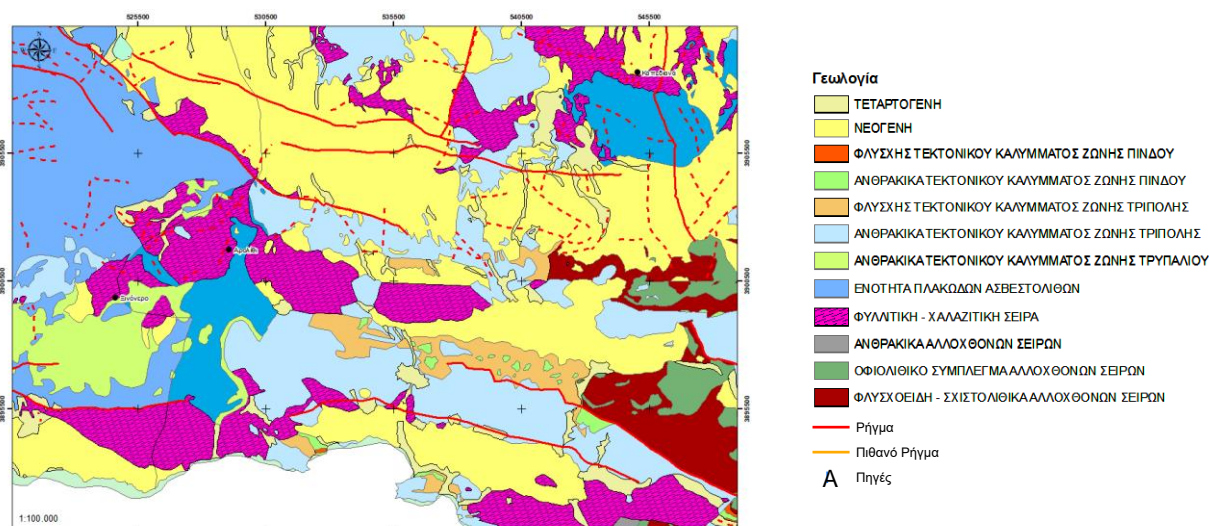
Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας κατασκευάστηκε χάρτης με τις θέσεις των πηγών που εξετάζονται στην παρούσα εργασία σε συνδυασμό με την γεωλογία που επικρατεί στην περιοχή και τα ρήγματα. Παρατηρείται ότι η ΦΧΣ τέμνεται από πολλαπλά ρήγματα τα οποία σε συνδυασμό με τον έντονο κερματισμό των χαλαζιτικών πετρωμάτων αυτών βοηθά στην κατακόρυφη κίνηση του νερού έως τον σχετικά αδιαπέρατο φυλλίτη και στη συνέχει τη δημιουργία των πηγών.



Εικόνα 3.8: Γεωλογικός χάρτης περιοχής ενδιαφέροντος με τις θέσεις των υπό εξέταση πηγών της ΦΧΣ. (Ο χάρτης κατασκευάστηκε από το GIS, τα γεωλογικά δεδομένα προέρχονται από τα ανοιχτά δεδομένα της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης).



Εικόνα 3.9: Λεπτομέρεια A από εικόνα 3.8. Απεικόνιση των πηγών Στροβλές, Μουστάκος, Μουστάκος-Μαραγιανά, Ανισαράκι και Αρελιό στον γεωλογικό χάρτη της περιοχής, εντός της Φυλλιτικής Χαλαζιτικής σειράς (Ο χάρτης κασκευάστηκε από το GIS, τα γεωλογικά δεδομένα προέρχονται από τα ανοιχτά δεδομένα της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης).



Εικόνα 3.10: Λεπτομέρεια B από εικόνα 3.8. Απεικόνιση των πηγών Ξινόνερο, Αρολίθι και Καπεδιανά στον γεωλογικό χάρτη της περιοχής, εντός της Φυλλιτικής Χαλαζιτικής σειράς. (Ο χάρτης κασκευάστηκε από το GIS, τα γεωλογικά δεδομένα προέρχονται από τα ανοιχτά δεδομένα της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης).

3.8 Χαρακτηριστικά των πηγών της μελέτης

Η πηγή αντιπροσωπεύει το σημείο εκφόρτισης του υπόγειου υδροφορέα, επομένως το νερό της πηγής είναι πιθανό να παρουσιάζει παρόμοιες συγκεντρώσεις στοιχείων με τα υπόγεια ύδατα (Shand P., 2016).

Οι πηγές που μελετώνται στην παρούσα εργασία απαντώνται εντός της Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής Σειράς σε σημεία της επαφής του σχηματισμού των χαλαζιτών (περατός

σχηματισμός) με τους υποκείμενους φυλλίτες (πρακτικά αδιαπέρατος σχηματισμός). Συνεπώς, μπορούν να χαρακτηριστούν ως πηγές επαφής. Τα νερά των πηγών διέρχονται εντός των κερματισμένων χαλαζιτών της ΦΧΣ, μέσω του δευτερογενούς πορώδους των σχηματισμών, σε μικρά σχετικά βάθη, γεγονός που επιβεβαιώνεται από τη χημική τους σύσταση.

Συγκεκριμένα, βάσει της διαθέσιμης βιβλιογραφίας η πηγή Ξινόνερο, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Λέκκας, 1938), είναι καταγεγραμμένη σε κατάλογο ιστορικών ιαματικών πηγών. Επίσης, αναφέρεται για την παραπάνω πηγή ότι συνδέεται με σιδηρούχες αποθέσεις, σύμφωνα με τον Μανούτσογλου (2017), ενώ το νερό παρουσιάζει όξινο $\text{PH} = 3$.

Κεφάλαιο 4: Οξείδωση / Διάλυση Μεικτών Θειούχων

4.1.1 Μεικτά Θειούχα / Σουλφίδια.

Οι χημικές ενώσεις που αποτελούνται από θείο και άλλα στοιχεία ή ρίζες χαρακτηρίζονται ως Μεικτά Θειούχα ή Σουλφίδια.

Στα νερά ο σίδηρος συναντάται με τη δισθενή και την τρισθενή μορφή του και προέρχεται από μαγματικά πετρώματα, οξείδια (αιματίτης, λειμονίτης, μαγνητίτης), σουλφίδια (σιδηροπυρίτης, FeS_2), ανθρακικά ορυκτά (σιδηρίτης, FeCO_3).

Τα αυτογενή θειούχα άλατα βρίσκονται σε θαλασσινά ιζηματογενή πετρώματα είτε ως προϊόντα βιολογικών διεργασιών είτε ως αποτέλεσμα υποβρύχιας υδροθερμικής δραστηριότητας.

Οι βιολογικές διεργασίες που οδηγούν στην δημιουργία των ορυκτών αυτών συναντώνται στα περιβάλλοντα, όπου η οξείδωση της οργανικής ύλης επιτυγχάνεται με βιολογικό τρόπο μέσω βακτηριακής αναγωγής θειικών και παραγωγής υδρόθειου (H_2S). Άλλες βιολογικά επιτυγχανόμενες αντιδράσεις οδηγούν στο σχηματισμό στοιχειακού θείου και διαφόρων ανηγμένων θειούχων ειδών. Ακόμα, κάτω από τις ίδιες συνθήκες, ορυκτά αποτελούμενα από οξείδια του σιδήρου ανάγονται παρέχοντας ιόντα Fe^{2+} . Τα ιόντα αυτά, είναι δυνατό να αντιδράσουν με το υδρόθειο ή τα άλλα θειούχα είδη και να σχηματιστούν θειούχα άλατα του σιδήρου (Χαρμαντάς, 1998). Τα περισσότερα από τα άλατα που σχηματίζονται είναι θερμοδυναμικά μετασταθείς φάσεις. Ο σιδηροπυρίτης (FeS_2) είναι το πλέον σταθερό θερμοδυναμικά θειούχο άλας που απαντάται στα ιζηματογενή πετρώματα.

Τα θειούχα άλατα του σιδήρου που απαντώνται στη φύση περιέχονται σε ιζήματα τόσο παλαιών όσο και πρόσφατων γεωλογικών περιόδων. Επίσης, μπορούν να συναντηθούν ανάμεσα στα άλατα που σχηματίζονται κατά την εκμετάλλευση φυσικών υδάτων σε διάφορες διεργασίες. Ανάλογα με τη χημική σύσταση των υδάτων βρίσκονται μαζί με θειούχα άλατα άλλων βαρέων μετάλλων καθώς και με διάφορα ανθρακικά και πυριτικά άλατα. Τα κυριότερα από αυτά είναι ο «άμορφος» FeS , ο μακινάβιτης (mackinawite), $\text{Fe}_{0.995-1.023}\text{S}$, ο γραιγίτης (greigite), Fe_3S_4 , ο πυρροτίτης (pyrrhotite), $\text{FeS}_{1.1}$, ο σιδηροπυρίτης (pyrite) και το δίμορφο του μαρκασίτης (marcasite) FeS_2 .

Τα τέσσερα πρώτα (μονοσουλφίδια) είναι ευδιάλυτα σε θερμό διάλυμα HCl ενώ τα δύο τελευταία (δισουλφίδια) όχι (Morse et al., 1987). Γι' αυτό από παλιά τα μονοσουλφίδια του σιδήρου είχαν πάρει την ονομασία «ασταθή σε οξέα σουλφίδια» (acid volatile sulfides - AVS). Σε μελέτες όμως των Morse et al., 1987, ονομάζονται και ως «μετασταθή σουλφίδια» του σιδήρου διότι κάτω από ορισμένες συνθήκες μετατρέπονται σε σιδηροπυρίτη (Χαρμαντάς, 1998). Στη συνέχεια αναφέρονται τα κύρια χαρακτηριστικά των αλάτων αυτών.

4.2 Χαρακτηριστικά θειούχων αλάτων σιδήρου

Σύμφωνα με τον Χαρμαντά (1998) τα κύρια χαρακτηριστικά των θειούχων αλάτων του σιδήρου δίνονται στη συνέχεια:

- Ο «Άμορφος» FeS

Το σουλφίδιο αυτό αποτελεί το προϊόν της αντίδρασης μεταξύ υδρόθειου και δισθενών ιόντων σιδήρου σε περιβάλλον ουδέτερου pH.

- Ο Μακιναβίτης

Μακιναβίτης χαρακτηρίζεται το τετραγωνικό θειούχο άλας του σιδήρου. Στοιχειομετρικά υπολείπεται ως προς την περιεκτικότητά του σε θείο, με γενικό χημικό τύπο FeS_{1-x} . Απαντάται σαν κύριο συστατικό των μαύρων ιζηματογενών σουλφιδίων του σιδήρου και των θειούχων ιζημάτων που έχουν σχηματισθεί σε υψηλές θερμοκρασίες.

- Ο Γραιγίτης και ο Σμιθίτης

Θεωρείται σύμφωνα με τους Vaughan και Craig (1978) ότι είναι το θειούχο σπινέλιο του σιδήρου, Fe_3S_4 . Απαντάται ως κύριο συστατικό των μαύρων ιζηματογενών σουλφιδίων του σιδήρου και συναντάται σε πρόσφατα ιζηματογενή πετρώματα. Η σύστασή του έχει βρεθεί ότι κυμαίνεται από $\text{Fe}_{2.83}\text{S}_4$ - $\text{Fe}_{3.15}\text{S}_4$.

- Οι Πυρροτίτες

Απαντώνται σε υδροθερμικά και μαγματικά ιζηματογενή μεταλλεύματα και θεωρούνται τα πιο συνηθισμένα μονοσουλφίδια του σιδήρου στον στερεό φλοιό της γης. Οι στοιχειομετρίες των εξαγωνικών πυρροτιτών κυμαίνονται από FeS έως Fe_7S_8 ενώ ο μονοκλινικός περίπου Fe_7S_8 .

- Ο Τροϊλίτης

Ανήκει στην οικογένεια των πυρροτιτών και είναι στοιχειομετρικός FeS με εξαγωνική κρυσταλλική δομή. Σύμφωνα με τον Schoonen (1989), είναι άλας που σπανίως συναντάται στο στερεό φλοιό της γης, παρ' όλο που είναι θερμοδυναμικά σταθερός.

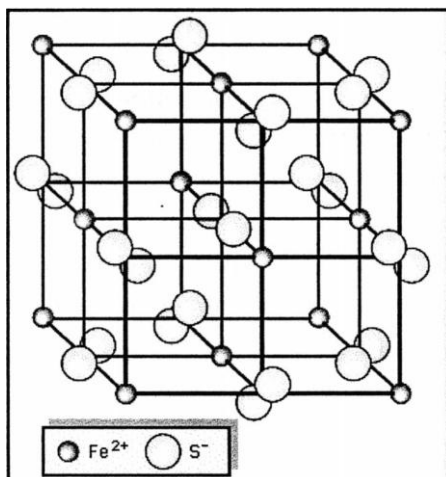
- Ο Σιδηροπυρίτης

Ο σιδηροπυρίτης (FeS_2) αποτελεί το πιο διαδεδομένο σουλφίδιο σε ολόκληρο το ηλιακό σύστημα (Rickard, 2012). Βρίσκεται ως επουσιώδης ορυκτό στα πυριγενή, όξινα και βασικά, στους πηγματίτες σπάνια, στα κοιτάσματα μεταμορφώσεως εξ επαφής, στις υδροθερμικές

φλέβες σουλφιδίων, ως προϊόν εξαχνώσεως και στα ιζηματογενή και μεταμορφωμένα πετρώματα. Αλλοιώνεται συνήθως σε λειμωνίτη και γκαιτίτη (<http://www.geo.auth.gr/>).

Συχνά σχηματίζει δευτερεύουσα ορυκτολογική φάση με κυριότερα παραδείγματα τις υδροθερμικές φλέβες των πυριγενών πετρωμάτων σε παραγένεση με άλλες θειούχες μεταλλογενετικές φάσεις, σχηματίζοντας μεταλλικές αποθέσεις. Επίσης, συναντάται σε κοιτάσματα συνδεδεμένα με μεταμόρφωση επαφής και σε αποθέσεις ιζηματογενών πετρωμάτων (Κόλλιας, 2017).

Η κρυσταλλική του δομή είναι κυβική με τα μεταλλικά κατιόντα στις ακμές και τα κέντρα των πλευρών του κύβου και τα δισουλφιδικά ανιόντα (S_2^{2-}) στο κέντρο του κύβου και στα μέσα των ακμών. Στο φυσικό σιδηροπυρίτη μπορεί να παρατηρηθούν ιδιότητες ημιαγωγού n ή p τύπου (οφειλόμενες σε παρουσία προσμίξεων ή απόκλισης από τη στοιχειομετρία).



Εικόνα 4.1: Η κρυσταλλική δομή του σιδηροπυρίτη (Χαρμαντάς, 1998)

- Ο Μαρκασίτης

Είναι το δίδμορφο του σιδηροπυρίτη με ορθορομβική κρυσταλλική δομή, παρουσιάζεται σε μικρότερη αφθονία συγκριτικά με το δίδμοφό του. Η διαφορά του έγκειται στον τρόπο της ένωσης των οκταέδρων από άτομα θείου που περιβάλλουν κάθε άτομο σιδήρου. Ο μαρκασίτης είναι μετασταθής ως προς τον σιδηροπυρίτη σε θερμοκρασίες από 5 ως 700 K, ενώ πάνω από τη θερμοκρασία αυτή μετατρέπεται με μη αντιστρεπτή διεργασία σε σιδηροπυρίτη. Ο σχηματισμός του φυσικού μαρκασίτη συμβαίνει σε περιβάλλοντα χαμηλού pH και σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας, ενώ του σιδηροπυρίτη σε αλκαλικότερες και πιο θερμές συνθήκες. Και ο μαρκασίτης έχει ιδιότητες ημιαγωγού ενώ είναι διαμαγνητικό υλικό (Χαρμαντάς, 1998).

4.3 Οξείδωση

Η δημιουργία, οξείδωση και διάλυση των μεικτών θειούχων ορυκτών οφείλεται στην επίδραση εξωγενών διεργασιών στα ανώτερα στρώματα κοιτασμάτων, εμφανίσεων θειούχων ορυκτών και θειοαλάτων, πάνω από το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα (Τριανταφυλλίδης, 2015).

Ο σχηματισμός των θειούχων ορυκτών και θειοαλάτων γίνεται σε αναγωγικές συνθήκες σε μεγάλο βάθος, επομένως όταν βρεθούν στην επιφάνεια όπου οι συνθήκες είναι διαφορετικές από αυτές που επικρατούσαν κατά το σχηματισμό τους υπόκεινται σε διαδικασίες χημικής αποσάθρωσης / εξαλλοίωσης, δηλ. οξείδωση. Κατά την οξείδωση γίνεται καταστροφή του πλέγματος του αρχικού μεταλλικού ορυκτού με αποτέλεσμα (Τριανταφυλλίδης, 2015):

1. Τη δημιουργία επί τόπου νέας φάσης (δευτερογενής)
2. Τη μερική/πλήρη διαλυτοποίηση, κατείσδυση/μεταφορά και σχηματισμός νέων (δευτερογενών) φάσεων σε διαφορετικές θέσεις ανάλογα με τις φυσικοχημικές συνθήκες που επικρατούν

Η οξείδωση των θειούχων ορυκτών απελευθερώνει θειικό οξύ και διαλυμένα μέταλλα. Ο σιδυροπυρίτης (FeS_2) και ο πυρροτίτης ($\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$) είναι αναγνωρισμένα ως τα πιο κοινά μέταλλα που σχηματίζονται (Rimstidt et al, 2003). Σύμφωνα με τους Rimstidt et al. (2003) οι παράγοντες που ελέγχουν τον ρυθμό οξείδωσης είναι αρκετοί (ο τύπος του οξειδωτικού, η μορφολογία του σουλφιδίου, η μικροβιακή δράση και τα περιεχόμενα ιχνοστοιχεία). Τα πιο κοινά προϊόντα της οξείδωσης σουλφιδίου είναι μέταλλο-θειικά άλατα.

Όλα τα κοιτάσματα θειούχων ορυκτών και θειοαλάτων μπορούν υπό κατάλληλες συνθήκες να δώσουν κοιτάσματα από υπεργενετικό εμπλουτισμό (Τριανταφυλλίδης, 2015).

Από τα παραπάνω προκύπτει πως η κυκλοφορία του μετεωρικού νερού στην περιοχή του κοιτάσματος και κυρίως στους ανώτατους ορίζοντες της λιθόσφαιρας αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την αποσαφήνιση των υπεργενετικών διεργασιών οι οποίες συντελούν στη δημιουργία, οξείδωση και διάλυση των μεικτών θειούχων ορυκτών.

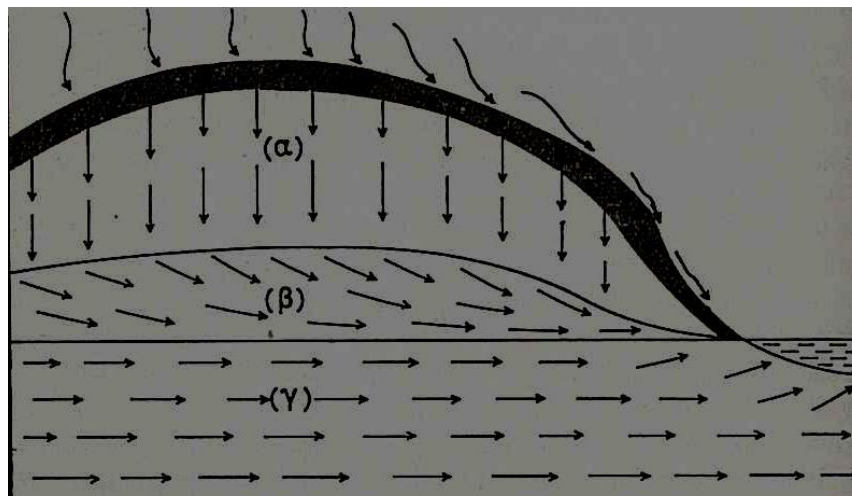
Τα οξείδια που σχηματίζονται από την οξείδωση των σουλφιδίων καταναλώνονται μέσω της αντίδρασης με τα στεία ορυκτά. Η εξουδετέρωση προκύπτει κατά κύριο λόγο από τη διάλυση των ανθρακικών ορυκτών με ασβεστίτη και δολομίτη, ως τα πιο αποτελεσματικά (Rimstidt et al, 2003).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντιδραστικότητα του ανθρακικού άλατος είναι το μέγεθος των κόκκων, η υφή και η παρουσία ιχνοστοιχείων που μπορούν να επηρεάσουν την αντίσταση του ορυκτού στη διάβρωση. Τελικά η ισορροπία μεταξύ των αντιδράσεων

παραγωγής και κατανάλωσης οξών θα καθορίσει την παραγωγή όξινης απορροής από το πέτρωμα (Rimstidt et al, 2003).

Σύμφωνα με τον Μελιδώνη, 1992 θεωρώντας ενιαίο πορώδες γεωλογικών σχηματισμών και σταθερά όρια μεταξύ ζωνών, μπορεί να δοθεί σχηματικά μια απλοποιημένη εκδοχή της πραγματικότητας όσον αφορά την κίνηση του νερού σε πετρώματα διακρίνοντας τρεις κύριες ζώνες:

- η ανώτερη (α), που ορίζεται από την επιφάνεια της γης και την ελεύθερη επιφάνεια του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, ονομάζεται ζώνη καθίζησης. Μέσα στη ζώνη αυτή το νερό κινείται διαρκώς και κατακόρυφα.
- η ενδιάμεση (β), που καθορίζεται από την ελεύθερη επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα και το οριζόντιο επίπεδο που διέρχεται από το υψηλότερο σημείο εξόδου του νερού, ονομάζεται ζώνη ροής. Μέσα στη ζώνη αυτή το νερό κινείται διαρκώς και περίπου οριζόντια μέχρι οριζόντια.
- η κατώτερη (γ) ονομάζεται ζώνη του λιμνάζοντος νερού ή ζώνη αποθήκευσης. Στη ζώνη αυτή το νερό παραμένει πρακτικά αμετακίνητο.



Εικόνα 4.2: . Σχηματική παράσταση των ζωνών κυκλοφορίας του νερού σε πετρώματα (Μελιδώνης, 1992)

Επομένως λαμβάνοντας υπόψη την κίνηση του μετεωρικού νερού εντός των γεωλογικών σχηματισμών, όπως αυτή περιγράφεται παραπάνω, και θεωρώντας το φορτισμένο με O_2 και CO_2 όταν έρθει σε επαφή με σουλφίδια μετάλλων, τα αποσταθεροποιεί και τα αποσαθρώνει (Μελιδώνης, 1992).

Η βασική, διαδικασία της αποσάθρωσης είναι η οξειδωση, κατά την οποία παράγονται και ιόντα υδρογόνου και θειικά ανιόντα, πράγμα που σημαίνει ότι δημιουργείται ένα νέο περιβάλλον (Μελιδώνης, 1992).

Η παρουσία πρωτογενών θειούχων ορυκτών Fe (π.χ. σιδηροπυρίτης, πυρροτίτης, μαγνητοπυρίτης, μαρκασίτης, αρσеноπυρίτης) προκαλεί τη δημιουργία ισχυρών οξειδωτικών παραγόντων και συνεπάγεται τη δημιουργία όξινων και οξειδωτικών διαλυμάτων που ενισχύουν τα φαινόμενα οξείδωσης και μεταφοράς μεταλλικών συστατικών σε μεγάλο βάθος (Μελιδώνης, 1992).

Οι συνηθέστερες αντιδράσεις που παρατηρούνται σε ζώνες οξείδωσης είναι οι ακόλουθες:

1. $2\text{FeS}_2 + 7\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{FeSO}_{4(\text{aq})} + 2\text{SO}_4^{-2} + 4\text{H}^+$
2. $\text{CuS} + 8\text{Fe}^{+3} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 8\text{Fe}^{+2} + \text{Cu}^{+2} + \text{SO}_4^{-2} + 8\text{H}^+$
3. $\text{CuFeS}_2 + 16\text{Fe}^{+3} + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 17\text{Fe}^{+2} + \text{Cu}^{+2} + 2\text{SO}_4^{-2} + 16\text{H}^+$

Κατά τη δράση των υπεργενετικών διεργασιών δημιουργείται μία ζώνωση, η οποία από πάνω προς τα κάτω έχει ως εξής:

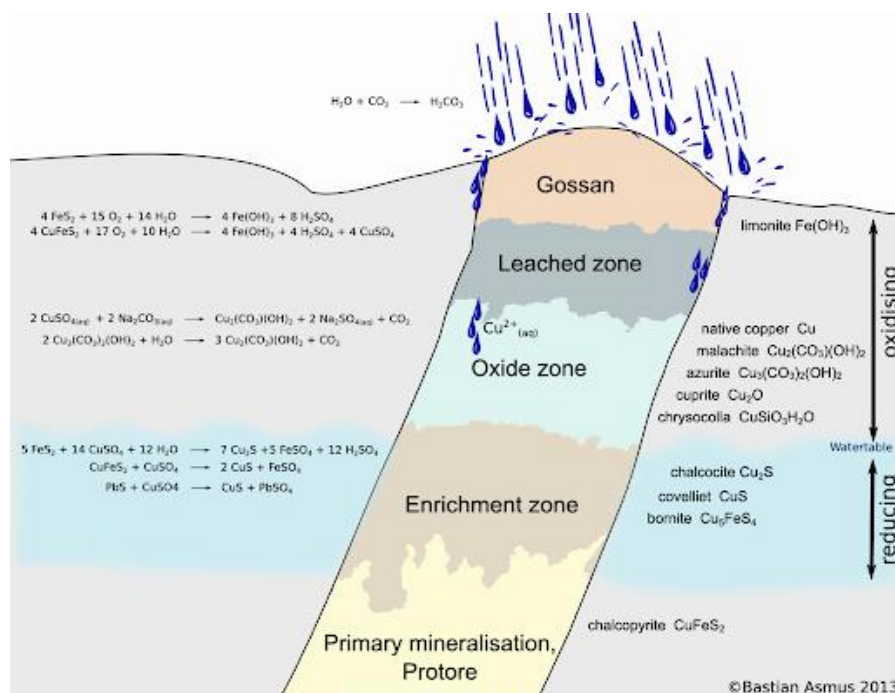
ΖΩΝΗ 1: Σιδηρούν κάλυμμα (gossan). Δεν εμφανίζεται πάντα. Πλήρης απομάκρυνση μεταλλικών συστατικών εκτός του δυσδιάλυτου Fe^{+3} . Σχηματισμός δευτερογενών φάσεων Fe (γκαιίτης, αιματίτης, φερριυδρίτης, λειμονίτης).

ΖΩΝΗ 2: Ζώνη έκπλυσης/οξείδωσης. Ολική/μερική απομάκρυνση μεταλλικών συστατικών, σχηματισμός δευτερογενών θειικών, ανθρακικών, οξειδίων μετάλλων μέχρι το επίπεδο του υδροφόρου. Πιθανή διατήρηση πρωτογενών μεταλλικών φάσεων.

ΖΩΝΗ 3: Ζώνη αναγωγής. Απόθεση υπεργενετικών θειούχων φάσεων κάτω από το επίπεδο του υδροφόρου (εμπλουτισμός).

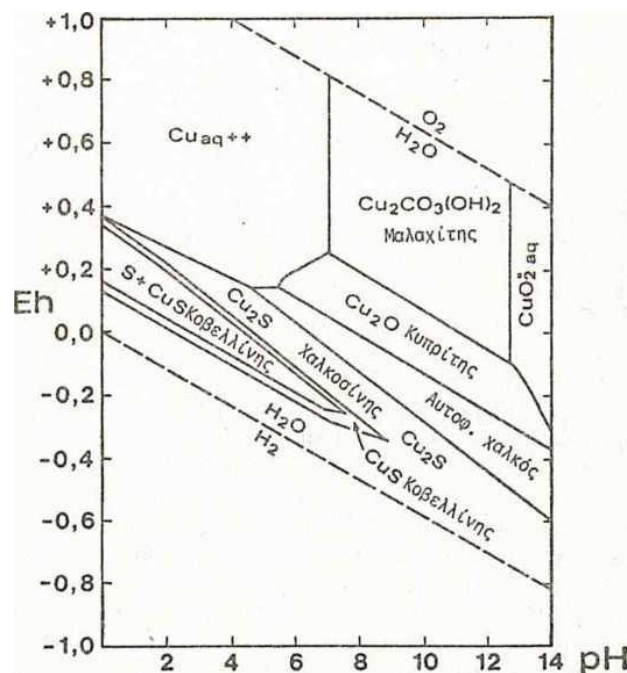
ΖΩΝΗ 4: Πρωτογενής μεταλλοφορία. Δεν έχει επηρεαστεί ακόμα από φαινόμενα οξείδωσης/αναγωγής

Ακολουθώς δίνεται σχετικό διάγραμμα με τη ζώνωση δράσης των υπεργενετικών διεργασιών στους γεωλογικούς σχηματισμούς



Εικόνα 4.3: Ζώνωση δράσης των υπεργενετικών διεργασιών στους γεωλογικούς σχηματισμούς (Τροποποιήθηκε σημαντικά μετά τους Evans (1992) και Ottaway (1994))

Στα διαγράμματα pH – Eh της εικόνας που ακολουθεί παρουσιάζονται οι φυσικοχημικές συνθήκες που επικρατούν στο χώρο της ανώτατης στοιβάδας της ζώνης των υπεργενετικών διεργασιών.



Εικόνα 4.4: Τα πεδία σταθερότητας μερικών από τα κύρια ορυκτά του χαλκού στις συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια της Γης (χαμηλή πίεση CO₂), ως συντήρηση των τιμών pH και κατά Garrels και Christ, (1965). (Μελιδώνης, 1992).

Οι πραγματικοί μηχανισμοί οξείδωσης και διάλυσης των πρωτογενών σουλφιδίων των διαφόρων μετάλλων, έως και σήμερα, δεν μας είναι εντελώς γνωστοί.

4.4 Ρυθμός οξείδωσης

Ο ρυθμός οξείδωσης των θειούχων ορυκτών καθορίζεται από πλήθος φυσικών, χημικών και βιολογικών παραγόντων. Οι παράγοντες αυτοί δεν λειτουργούν ανεξάρτητα, αλλά τείνουν να λαμβάνουν χώρα σε συνέργεια μέσα στο πλαίσιο ενός περίπλοκου περιβαλλοντικού συστήματος (Κόλλιας, 2017).

4.4.1 Φυσικοί και χημικοί παράγοντες

Οι κυριότεροι φυσικοί και χημικοί παράγοντες, που ελέγχουν την οξείδωση των θειούχων ορυκτών συνοψίζονται ακολούθως (Κόλλιας, 2017):

- Ο τύπος των θειούχων ορυκτών παρουσιάζει μεγάλη επίδραση στο ρυθμό οξείδωσης. Το μέγεθος κόκκων και η ειδική επιφάνεια αποτελεί καθοριστικό παράγοντα, καθώς η οξείδωση είναι μία αντίδραση που εξαρτάται από την επιφάνεια των ορυκτών (surface controlled reaction).
- Οξειδωτικό μέσο (τύπος, οξυγόνο, τρισθενής σίδηρος, διαθεσιμότητα μέσων)
- Περιβάλλον (pH, οξειδοαναγωγικό δυναμικό, θερμοκρασία, πηγή νερού)

4.4.2 Βιολογικοί παράγοντες

Είναι ευρέως γνωστό από παλαιότερες έρευνες ότι στη διαμόρφωση του περιεχομένου των υδατικών διαλυμάτων των μεταλλείων και κατ' επέκταση, στις ζώνες των υπεργενετικών διεργασιών των κοιτασμάτων μεταλλικών ορυκτών, παίρνουν μέρος και διάφορα βακτήρια.

Η συμβολή τους είναι εξαιρετικά σημαντική λόγω της καταλυτικής τους δράσης.

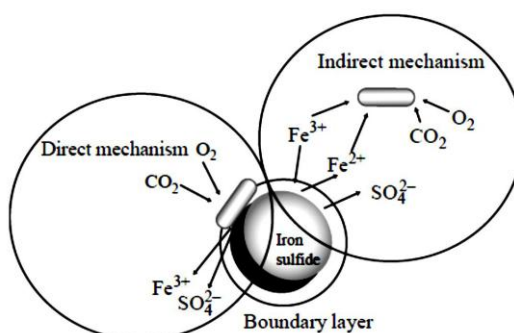
Επισημαίνεται ότι η δράση των βακτηρίων σε περιοχές χαμηλού pH, μπορεί να επιταχύνει την ταχύτητα της αντίδρασης κατά μερικές τάξεις μεγέθους (10 έως 100 φορές) σε σχέση με την αβιοτική οξείδωση (Evangelou and Zhang, 1995).

Η οξείδωση του σιδηροπυρίτη και των υπολοίπων θειούχων ορυκτών πραγματοποιείται μέσω άμεσων ή/και έμμεσων μηχανισμών (Sand et al., 2001; Tributsch, 2001).

Η άμεση οξείδωση λαμβάνει χώρα όταν τα βακτήρια προσκολλούνται στην επιφάνεια των θειούχων ορυκτών και διαλυτοποιούν την επιφάνεια του ορυκτού μέσω ενζυματικών αντιδράσεων. Η έμμεση οξείδωση προκύπτει μέσω βακτηριακής κατάλυσης και οξείδωσης του Fe^{2+} προς Fe^{3+} και στη συνέχεια άμεση οξείδωση των θειούχων ορυκτών από τον Fe^{3+} (Nordstrom & Southam, 1997).

Το τελικό αποτέλεσμα της δράσης των βακτηρίων είναι η διαλυτοποίηση των ορυκτών ή ο συνδυασμός διαλυτοποίησης με οξείδωση ενός ή περισσότερων στοιχείων που συμμετέχουν στη δομή του ορυκτού (Τριανταφυλλίδης, 2006).

Ο συνηθέστερος μικροοργανισμός που συμμετέχει στην οξείδωση των θειούχων ενώσεων είναι του γένους *Thiobacillus*, είδος *Thiobacillus Ferrooxidans*. Είναι ικανός να οξειδώσει Fe^{2+} , S και θειούχες ενώσεις, καθώς και άλλες ανόργανες ενώσεις του θείου σε θειϊκές. Το είδος *Thiobacillus Thiooxidans* απαντάται επίσης συχνά. Μπορεί να οξειδώσει το στοιχειακό θείο σε θειϊκά ιόντα (Μπάρτζας, 2007).



Εικόνα 4.5: Σύγκριση του μηχανισμού άμεσης και έμμεσης οξείδωσης των σουλφιδίων από βακτήρια (Sand et al., 2001)

4.5 Οξείδωση σιδηροπυρίτη (FeS_2)

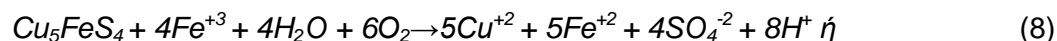
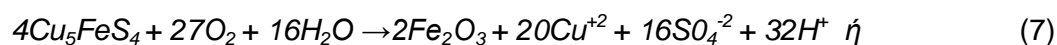
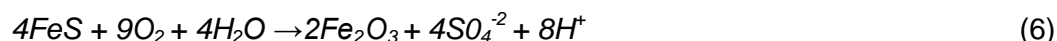
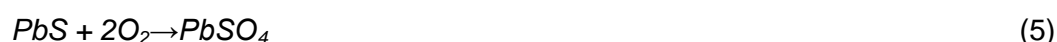
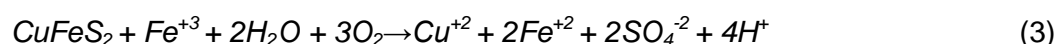
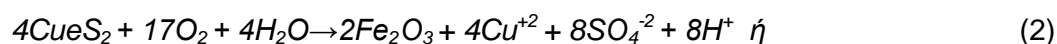
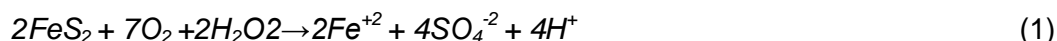
Ένα γενικό φαινόμενο που παρατηρείται σε διάφορες περιοχές που επηρεάζονται από την οξείδωση του πυρίτη είναι η σταδιακή αύξηση των συγκεντρώσεων οξέων και μετάλλων κατά τη διάρκεια παρατεταμένων ξηρών περιόδων καθώς επίσης και η ξαφνική αύξηση τους κατά τη διάρκεια των πρώτων καταιγίδων, ειδικά μετά από μια παρατεταμένη ξηρή περίοδο. Αυτό το φαινόμενο έχει επίσης παρατηρηθεί και σε μη εξορυκτικές περιοχές. Η αύξηση της συγκέντρωσης αποδίδεται συχνά στη διάλυση και την έκπλυση των διαλυτών αλάτων. (Nordstrom, 2009).

Η διαδικασία της οξείδωσης του σιδηροπυρίτη πραγματοποιείται, όταν εκτεθεί σε ατμοσφαιρικές συνθήκες (Rimstidt and Vaughan, 2003). Η οξειδωτική δράση πραγματοποιείται από το οξυγόνο (άμεση οξείδωση) ή από το οξυγόνο και το σίδηρο (έμμεση οξείδωση) υπό την παρουσία ή μη βακτηρίων (αβιοτική ή βιοτική οξείδωση).

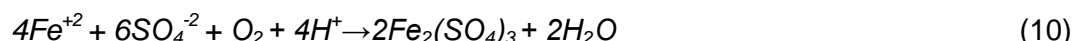
Ο σίδηρος διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στην έμμεση οξείδωση, στη δισθενή ή τρισθενή του βαθμίδα. Η άμεση οξείδωση του σιδηροπυρίτη περιγράφεται από την εξώθερμη αντίδραση 1 (Lottermoser, 2007; Nordstrom, 2011).

Η αντίδραση οξειδωσης του σιδηροπυρίτη διακρίνεται σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μια καθοδική αντίδραση μεταφέρει ηλεκτρόνια από την επιφάνεια του πυρίτη στο υδατικό οξειδωτικό είδος, συνήθως O_2 ή Fe^{3+} . Στο δεύτερο στάδιο μεταφέρει το φορτίο από τη θέση μιας ανοδικής αντίδρασης για να αντικαταστήσει το ηλεκτρονίο που χάθηκε από την καθοδική θέση. Στο τρίτο στάδιο, σε μια ανοδική θέση, το άτομο οξυγόνου ενός μορίου νερού αλληλεπιδρά με ένα άτομο θείου για να δημιουργήσει ένα σουλφοξικό είδος. Αυτή η αντίδραση απελευθερώνει ένα ηλεκτρόνιο στο στερεό και ένα ή δύο ιόντα υδρογόνου στο διάλυμα (Donald J. Rimstidt and David J. Vaughan, 2003).

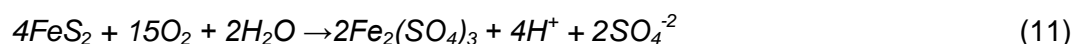
Οι πρώτες οξειδωτικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στο χώρο της ανώτατης στοιβάδας και αφορούν μερικά από τα πιο κοινά σουλφίδια, μπορεί ν' αποδοθούν με τις επόμενες εξισώσεις:



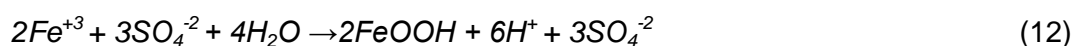
Ο παραγόμενος, μεταξύ των άλλων θειικών αλάτων, διαλυτός θειικός υποσίδηρος οξειδώνεται ποσοστιαία σε μικρό χρονικό διάστημα και μετατρέπεται στον λιγότερο διαλυτό θειικό σίδηρο:



Αν το νερό είναι εμπλουτισμένο σε οξυγόνο, ο σιδηροπυρίτης οξειδώνεται σε τρισθενή θειικό σίδηρο:



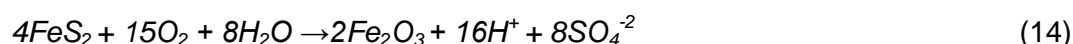
Από την υδρόλυση του ασταθούς θειικού σιδήρου, σε συνθήκες που επικρατούν εντός της ζώνης οξειδωσης, παράγεται το υδροξείδιο του Fe^{+3} , λειμωνίτης και ελεύθερο H_2SO_4 :

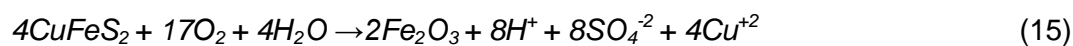


Κατά την άποψη, εντούτοις, διαφόρων ερευνητών, ο FeS_2 μπορεί να μετατρέπεται κατευθείαν σε $FeOOH$:



Κάτω από τις ίδιες συνθήκες, εκτός του $FeOOH$, παράγεται και το οξείδιο του αιματίτη:





Τα ανωτέρω οξειδία και υδροξείδια του σιδήρου, είναι εξαιρετικώς δυσδιάλυτα, δηλ. συσσωρεύονται διαρκώς, επεκτείνονται χωρικά και σχηματίζουν το γνωστό σιδηρούν κάλυμμα (BIF) με τις χαρακτηριστικές καστανές, ερυθρο-καστανές ή και ερυθρές αποχρώσεις του (Μελιδώνης, 1992).

Στα κοιτάσματα συμπαγούς σιδηροπυρίτη, ο σίδηρος “ξεπλένεται” σχεδόν εντελώς, χωρίς ν’ αφήνει αξιόλογα ποσά λειμωνίτη ή αιματίτη. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το παραγόμενο θειικό οξύ, διατηρεί το pH των διαλυμάτων σε πολύ χαμηλές τιμές και δημιουργεί αναγωγικό περιβάλλον, στο οποίο ο σίδηρος βρίσκεται με τη δισθενή (διαλυτή) μορφή του (Μελιδώνης, 1992).

Στο σιδηρούν κάλυμμα περιέχονται και άλλες δυσδιάλυτες ενώσεις, από τις οποίες οι πιο κοινές είναι του χαλκού, μαλαχίτη, αζουρίτη και χρυσόκολλα και του μολύβδου, αγγλεσίτη και κερουσίτη (Μελιδώνης, 1992).

4.5.1 Μηχανισμοί αβιοτικής οξείδωσης σιδηροπυρίτη

Οι μηχανισμοί αβιοτικής οξείδωσης του σιδηροπυρίτη διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

1. Μηχανισμοί σε ατμοσφαιρικές συνθήκες
2. Μηχανισμοί σε υδατικά περιβάλλοντα

A. Μηχανισμοί σε ατμοσφαιρικές συνθήκες

Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποίησαν οι Eggleston et al. (1996) σε ατμοσφαιρικές συνθήκες αβιοτικής οξείδωσης σιδηροπυρίτη, προέκυψε ότι ο σχηματισμός πολυσουλφιδικών ενώσεων πραγματοποιείται ανεξάρτητα από το σχηματισμό ιόντων SO_4^{-2} . Επίσης, επισήμαναν, ότι η διαδικασία της οξείδωσης δεν λαμβάνει χώρα τυχαία κατά μήκος της επιφάνειας, αλλά ξεκινά σε ενεργές θέσεις και εξαπλώνεται δημιουργώντας περιοχές οξειδωμένες που συνυπάρχουν με μη οξειδωμένες περιοχές (Κόλλιας, 2017).

Στη συνέχεια και άλλοι ερευνητές ερεύνησαν τους μηχανισμούς αβιοτικής οξείδωσης του σιδηροπυρίτη. Συνοπτικά αναφέρεται ότι από την έρευνα διάφορων ερευνητών διαπιστώνεται ότι η οξείδωση του σιδηροπυρίτη ξεκινά μέσα σε λίγα λεπτά από την έκθεση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες (O_2 και H_2O) και τελικά παράγονται δευτερογενή προϊόντα, όπως οξυ-υδροξείδια του τρισθενούς σιδήρου, θειικά ανιόντα και πιθανότατα στοιχειακό θείο και πολυσουλφίδια. Επισημαίνεται ότι η παρουσία οξειδωμένων περιοχών δίπλα σε μη οξειδωμένες αποτελεί σαφή ένδειξη για την ύπαρξη περισσότερο και λιγότερο ενεργών επιφανειακών θέσεων (Κόλλιας, 2017).

B. Μηχανισμοί σε υδατικά περιβάλλοντα

Η οξειδωση του σιδηροπυρίτη σε υδατικές συνθήκες παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον λόγω της συσχέτισής της με το φαινόμενο της όξινης απορροής μεταλλείων (Κόλλιας, 2017).

Όμως οι μηχανισμοί και ο ρυθμός εξέλιξης της οξειδωσης υπό υδατικές συνθήκες παραμένουν σε μικρό βαθμό κατανοητοί ως αποτέλεσμα της συμμετοχής πολλαπλών, ενδιάμεσων αντιδράσεων, παρά τις έρευνες των τελευταίων δεκαετιών.

Συνοπτικά αναφέρεται ότι από πρόσφατη έρευνα (Dos Santos et al., 2016) που πραγματοποιήθηκε η οποία συμβάλει περαιτέρω στην κατανόηση του μηχανισμού αβιοτικής οξειδωσης του σιδηροπυρίτη, προέκυψε ότι οι αντιδράσεις οξειδωσης που λαμβάνουν χώρα υπό την παρουσία μορίων νερού και οξυγόνου στην επιφάνεια του σιδηροπυρίτη δύναται να διακριθούν σε δύο τύπους (I και II) (Κόλλιας, 2017).

Η αντίδραση τύπου I περιγράφει την οξειδοαναγωγική διεργασία χαμηλής ενέργειας ενεργοποίησης κατά τον οποία δύο επιφανειακές θέσεις Fe (surface iron sites) οξειδώνονται προς σχηματισμό συμπλόκων Fe(III)-OH^- ή Fe(IV)=O^{2-} . Ενώ οι αντιδράσεις τύπου II πραγματοποιούνται με τη μεταφορά μίας ρίζας υδρογόνου από ένα μόριο νερού προς τις ομάδες Fe(III)-OH^- και Fe(IV)=O^{2-} (που προϋπάρχουν από το προηγούμενο στάδιο) με αποτέλεσμα το σχηματισμό ομάδων S-OH και Fe(II)-OH_2 . Εάν δύο OH^- ή O^{2-} είναι διαθέσιμα, τότε ένας δεσμός S=O σχηματίζεται και δύο θέσεις Fe ανάγονται (Κόλλιας, 2017)

4.6 Φαινόμενο όξινης απορροής μεταλλείων και όξινες πηγές

Στην ενότητα αυτή θα δούμε πως συνδέεται το φαινόμενο της όξινης απορροής μεταλλείων με το φαινόμενο της δημιουργίας όξινων πηγών.

Τα προβλήματα με την απορροή των μεταλλείων γενικά αναπτύσσονται όταν τα υπόγεια και τα επιφανειακά ύδατα εισέρχονται στις περιοχές των μεταλλείων και έρχονται σε επαφή με πρωτογενή και δευτερογενή ορυκτά υπό οξικές συνθήκες (Wolkersdorfer, 2008).

Το παγκόσμιο περιβαλλοντικό ζήτημα της απορροής οξέων και μετάλλων από τα στείρα μεταλλείων θεωρείται απειλή για τη μέλλον των εξορυκτικών δραστηριοτήτων (Ogbughalu., et al., 2020).

Σύμφωνα με τον Wolkersdorfer, (2008) η πυριτική αποσάθρωση είναι η σημαντικότερη διεργασία παραγωγής οξέος από όλες τις διεργασίες οξειδωσης που είναι γνωστές στο φυσικό περιβάλλον, όπως υποστηρίζουν οι Stumm και Morgan (1996).

Η όξινη απορροή μεταλλείων (AMD) αντιπροσωπεύει μια σημαντική περιβαλλοντική και οικονομική ευθύνη για τη μεταλλευτική βιομηχανία. Προκαλείται από την οξειδωση των σουλφιδίων στα στείρα των μεταλλείων με τις όξινες συνθήκες και την κινητοποίηση των μετάλλων. (Sracek O. et al, 2004). Η διαδικασία επεξεργασίας πετρωμάτων πλούσια σε πυρίτη, ο οποίος εκτίθεται στο περιβάλλον έπειτα από τη βιομηχανική δραστηριότητα και στη

συνέχεια ακολουθεί η έκπλυση και διάλυσή του μπορεί να οδηγήσει σε μείζονα περιβαλλοντικά προβλήματα (Bryson και Crundwell, 2014).

Τα όξινα νερά συνήθως περιέχουν αυξημένα, πιθανά τοξικά, επίπεδα μετάλλων που εκκρέουν στη βιόσφαιρα. Ως εκ τούτου, τα μεταλλικά όξινα νερά θεωρούνται συνήθως ως ένα σημαντικό περιβαλλοντικό ζήτημα γύρω από περιοχές εξόρυξης. Ωστόσο, ένα μέρος της όξινης απορροής από πετρώματα είναι μια φυσική διεργασία σε πολλές περιοχές χωρίς να σχετίζεται με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Η λειτουργία των ορυχείων μπορεί να επιτείνει την όξινη απορροή εκθέτοντας μεγάλες ποσότητες σουλφιδίων σε σύντομο χρονικό διάστημα (Brown et al., 2005).

Τα στείρα του πετρώματος είναι το μη οικονομικό υλικό που αφαιρείται από ένα μεταλλείο για πρόσβαση στο μέταλλευμα. Το μέγεθος τους είναι γενικά μεγάλο, και εξαρτάται με τις μηχανικές ιδιότητες του πετρώματος και τον τύπο της ανατίναξης (Sracek O. et al, 2004). Η διάβρωση των στείων, τα οποία προέρχονται από τη μεταλλευτική δραστηριότητα, οδηγεί στην όξινη απορροή με υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων (Vriens B. et al., 2020). Πολλά στείρα περιέχουν θειούχα μέταλλα, όπως πυρίτης, πυρροτίτης, σφαλερίτης, γαλένα, αρσеноπυρίτης, χαλκοπυρίτης, τετραεδρίτης και μολυβδαινίτης. Μόλις τα θειικά ορυκτά έρχονται σε επαφή με το οξυγόνο και το νερό, οξειδώνονται και αποβάλλουν διαλυμένα ιόντα μετάλλων, πρωτόνια και θειικά ιόντα στα επιφανειακά και στα υπόγεια ύδατα. Η τιμή pH των στείων κυμαίνεται από 2-4. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται όξινη απορροή και έκπλυση μετάλλων (ARD-ML) (Ma, L., 2018).

Κύριο χαρακτηριστικό της όξινης απορροής μεταλλείων είναι οι εξαιρετικά χαμηλές τιμές pH (1,5-3,5) και οι υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων βαρέων και τοξικών μετάλλων, όπως επίσης και θειικών ιόντων, τα οποία ρυπαίνουν μεγάλες εκτάσεις εδαφών, επιφανειακά και υπόγεια υδατικά συστήματα. (Κορνίτσας και Ξενίδης, 2001).

Ο πυρίτης (FeS_2) σχηματίζεται σε ένα ευρύ φάσμα γεωλογικών συνθηκών. Αυτό το θειούχο ορυκτό εμφανίζεται σε πολυμεταλλικές αποθέσεις μεταλλεύματος, υδροθερμικές φλέβες, πυριγενείς και μεταμορφικούς σχηματισμούς και σε διάφορα θαλάσσια και ηπειρωτικά περιβάλλοντα εναπόθεσης (Migaszewski, και Gałuszka, 2019). Έχει βρεθεί, όπως αναφέρεται και σε προηγούμενο κεφάλαιο εκτενέστερα, ότι μερικά βακτήρια, π.χ. το *Thiobacillus ferrooxidans*, μπορεί να επιταχύνει την οξείδωση του, αυξάνοντας έτσι το ρυθμό οξείδωσης του θειούχου ορυκτού λειτουργώντας ως καταλύτης την παραγωγή AMD (Akcil και Koldas, 2006).

Ο αντίκτυπος των αντιδράσεων οξείδωσης που περιλαμβάνουν Fe και S στη δημιουργία οξίνισης είναι γνωστές από μελέτες όξινης απορροής μεταλλείων, αλλά η σημασία τους είναι πολύ ευρύτερη (Shand P. et al, 2016).

Πηγή αυτής της ρύπανσης θεωρείται η οξείδωση του πυρίτη (FeS_2), η οποία δημιουργεί υπόγεια ύδατα με χαμηλό pH και υψηλά συνολικά διαλυμένα στερεά (TDS), ιδιαίτερα

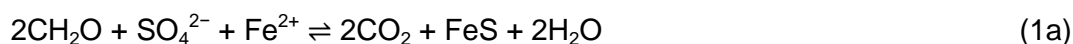
μέταλλα και θειικό άλας (Worrall and Pearson, 2001). Καθώς ο πυρίτης είναι συνήθως το θειούχο ορυκτό, αυτή η διαδικασία αναφέρεται συχνά ως οξείδωση πυρίτη, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή θειικού και σιδηρούχου σιδήρου εκτός από άλλα υποπροϊόντα όπως στοιχειακό θείο, πολυσουλφίδιο, υδρόθειο, υδροξείδιο σιδήρου, οξείδιο σιδήρου ή σίδηρο οξυυδροξείδιο (Plaza et al, 2017).

Οι εργασίες εξόρυξης μπορούν να επιταχύνουν σε μεγάλο βαθμό τη διαδικασία οξείδωσης), καθώς δημιουργούν διόδους για νερό και οξυγόνο που επιτρέπουν την ταχεία απελευθέρωση ρύπων στην επιφάνεια και στους υπόγειους υδροφορείς. (Parbhakar-Fox & Lottermoser, 2016)

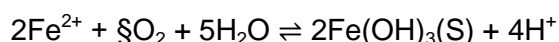
Η οξείδωση των σουλφιδίων ελέγχεται από αρκετές παραμέτρους, όπως τη χημεία των ιχνοστοιχείων, τη μορφολογία, κ.α. (Parbhakar-Fox και Lottermoser 2015). Τα οξέα που παράγονται από οξείδωση σουλφιδίων μπορούν στη συνέχεια να εξουδετερωθούν παρουσία συγκεκριμένων ορυκτών συμπεριλαμβανομένων των ανθρακικών και ορισμένων πυριτικών (Lottermoser 2017).

Εκτός από περιβαλλοντικές ανησυχίες, η ανεπιθύμητη σύνδεση του πυρίτη με ορυκτά οικονομικής αξίας όπως ο σφαλερίτης, ο χαλκοπυρίτης και η γαλένα, και τα πολύτιμα μέταλλα όπως ο χρυσός απαιτούν δαπανηρές διαδικασίες διαχωρισμού όπως η απόπλυση και η επίπλευση (Bidari, 2018).

Ο σχηματισμός του πυρίτη γίνεται μέσω μιας σειράς βημάτων και υπάρχουν διαφορετικά μονοπάτια, μια συνολική αντίδραση είναι



Η οξύτητα ενός νερού ή εδάφους αντιπροσωπεύεται συνήθως από το pH, ωστόσο, η πιθανή ή «αποθηκευμένη» οξύτητα υπάρχει ως διαλυμένο μειωμένο είδος που μπορεί να δημιουργήσει πρωτόνια μέσω αντιδράσεων υδρόλυσης π.χ. η οξείδωση του Fe^{2+} :



Αυτό είναι ένα βήμα κατά τη διαδικασία πολλαπλών σταδίων για την οξείδωση του πυρίτη.

Ένας καλύτερος ορισμός της οξύτητας λαμβάνει υπόψη αυτήν την επιπλέον «αποθηκευμένη» οξύτητα (Kirby and Cravotta, 2005):

$$\text{Acidity} = 50 \{1000(10-\text{pH}) + [2(\text{Fe}^{2+}) + 3(\text{Fe}^{3+})]/56 + 2(\text{Mn})/55 + 3(\text{Al})/27\}$$

όπου οι συγκεντρώσεις είναι σε mg / L.

Το μεγαλύτερο μέρος της οξείδωσης συμβαίνει στην ακόρεστη ζώνη όπου η αναπλήρωση οξυγόνου με διάχυση και προσρόφηση είναι υψηλή.

Η όξινη απορροή μεταλλείων (AMD) παράγει ένα στράγγισμα πλούσιο σε όξινα θειικά άλατα που μπορεί στη συνέχεια να διαλύσει περαιτέρω ορυκτά στο μητρικό πέτρωμα και να εμπλουτιστεί με σίδηρο και άλλα τοξικά μέταλλα (Ramasamy et al, 2018).

Τα σουλφίδια είναι σταθερά υπό αναγωγικές συνθήκες, ωστόσο όταν τα ορυκτά εκτίθενται σε ατμοσφαιρικές συνθήκες λαμβάνει χώρα οξειδωση, οδηγώντας στην απελευθέρωση οξύτητας, θεικών, σιδήρου και άλλων μετάλλων και μεταλλοειδών, η οποία επηρεάζει την ποιότητα των γύρω υδάτινων σωμάτων (Oliás et al, 2019).

Η ποιότητα της απορροής που προκύπτει εξαρτάται από το ισοζύγιο των περιεχόμενων ορυκτών που παράγουν οξύτητα (θειούχα) σε σχέση με τα αλκαλικά (ανθρακικά) που καταναλώνουν οξύτητα.

Τα κυριότερα θειούχα ορυκτά και τα προϊόντα οξειδωσής τους παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 4.1: Προϊόντα οξειδωσης κυριότερων θειούχων ορυκτών (Κούρτης, 2007)

Ορυκτό	Χημικός τύπος	Προϊόντα πλήρους οξειδωσης
Σιδηροπυρίτης	FeS_2	$\text{Fe}^{3+}, \text{SO}_4^{2-}, \text{H}^+$
Μαρκασίτης	FeS_2	$\text{Fe}^{3+}, \text{SO}_4^{2-}, \text{H}^+$
Πυρροτίτης	$\text{Fe}_{1-x}\text{S}_2$	$\text{Fe}^{3+}, \text{SO}_4^{2-}, \text{H}^+$
Μακιναβίτης	FeS	$\text{Fe}^{3+}, \text{SO}_4^{2-}, \text{H}^+$
Άμορφος πυρίτης	FeS	$\text{Fe}^{3+}, \text{SO}_4^{2-}, \text{H}^+$
Γαληνίτης	PbS	$\text{Pb}^{2+}, \text{SO}_4^{2-}, \text{H}^+$
Σφαλερίτης	ZnS	$\text{Zn}^{2+}, \text{SO}_4^{2-}, \text{H}^+$
Αρσеноπυρίτης	FeAsS	$\text{Fe}^{3+}, \text{AsO}_4^{3-}, \text{SO}_4^{2-}, \text{H}^+$
Χαλκοπυρίτης	CuFeS_2	$\text{Cu}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{SO}_4^{2-}, \text{H}^+$
Πετλανδίτης	$(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$	$\text{Fe}^{3+}, \text{Ni}^{2+}, \text{SO}_4^{2-}, \text{H}^+$

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα τα προϊόντα οξειδωσης των θειούχων ορυκτών είναι κατά βάση το βασικό μέταλλο του αντίστοιχου θειούχου ορυκτού (Fe, Zn, Pb, As, Cu), τα θειικά ανιόντα (SO_4^{2-}) και τα υδροξυλιόντα (H^+) (Κούρτης, 2007).

Όσον αφορά την εμφάνιση θείου σε πηγές τα νερά έχουν τη χαρακτηριστική έντονη μυρωδιά του «κλούβιου αυγού». Όταν το H_2S από μεγαλύτερο βάθος φτάσει στα οξειδωτικά μετεωρικά νερά που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια, η οξειδωση παράγει θειικό οξύ και μερικές φορές θείο (Kresic και Stevanovic, 2009).

Οι Hendrickson και Krieger (1960) παρατήρησαν ετήσιες αυξήσεις των συγκεντρώσεων θείου για ορισμένες πηγές στο Κεντάκι, οι οποίες πιστεύεται ότι οφείλονται σε αυξημένη επαναφόρτιση που διαλύει θειικά άλατα όπως ο γύψος. Ο γύψος προήλθε από οξειδωση πυρίτη που αντιδρά με διάλυση ασβεστόλιθου. Σύμφωνα με τον Nordstrom (2009), κατά τη διάρκεια των βροχοπτώσεων παρατηρήθηκαν στη δυτική Αμερική ξαφνικές αυξήσεις στη συγκέντρωση οξέων και μετάλλων για πρώιμες καταιγίδες στην υγρή περίοδο.

Οι τάσεις των συγκεντρώσεων μακροπρόθεσμα δείχνουν ότι οι συγκεντρώσεις μετάλλων στην όξινη απορροή αυξάνονται κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών ξηρών περιόδων και κατά τη διάρκεια της ξηρασίας. Τόσο οι μακροπρόθεσμες όσο και οι βραχυπρόθεσμες τάσεις προβλέπεται να αυξηθούν με τις εκτιμώμενες τάσεις στις καιρικές συνθήκες της κλιματικής αλλαγής για τις δυτικές ΗΠΑ (Nordstrom, 2009).

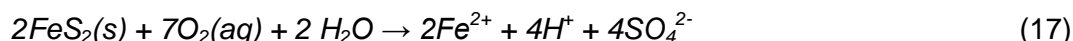
Η πρόβλεψη της ποσότητας και της ποιότητας της απορροής από τα στείρα μεταλλείων απαιτεί γνώσεις σχετικά με την τοπική γεωλογία, τις τοπικές καιρικές συνθήκες, καθώς και την ορυκτολογία, τη γεωχημεία, την υδρογεωλογία κ.λπ. των αποβλήτων των μεταλλείων. Ενώ, οι τοπικές καιρικές συνθήκες και η γεωλογία σε μια περιοχή εξόρυξης είναι συνήθως γνωστές, οι ιδιότητες των αποβλήτων που σχετίζονται με την περιβαλλοντική διαχείριση είναι συνήθως άγνωστες σε πρώιμα στάδια ανάπτυξης μεταλλείων και δύσκολα μπορούν να προσδιοριστούν εκ των προτέρων από θεωρητικούς υπολογισμούς ή με αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών (Vriens B. et al., 2020).

4.6.1 Στάδια Δημιουργίας και Μετανάστευση της Όξινης Απορροής Μεταλλείων

Σύμφωνα με τους Κορνίτσα και Ξενίδη, (2001) η ΟΑΜ δημιουργείται από μια σειρά πολύπλοκων και αλληλένδετων αντιδράσεων, που λαμβάνουν χώρα με μηχανισμούς χημικής και βακτηριακής οξειδωσης και εξαρτώνται από το pH και το δυναμικό οξειδοαναγωγής.

Οι μηχανισμοί αυτοί μπορεί να περιλαμβάνουν τα παρακάτω τρία στάδια:

Κατά το πρώτο στάδιο, που αρχίζει σε περίπου ουδέτερο pH και τελειώνει σε pH περίπου 4,5, λαμβάνουν χώρα οι αντιδράσεις (17) και (18), που αφορούν στην οξείδωση του σιδηροπυρίτη, και η αντίδραση (19), που αφορά στην οξείδωση του δισθενούς σιδήρου.



Σε αυτή την περιοχή του pH η διαλυτότητα του Fe^{3+} είναι περιορισμένη, με αποτέλεσμα να προκαλείται καταβύθιση υδροξειδίων του σιδήρου (αντίδραση 20). Επομένως, η συνολική αντίδραση οξείδωσης του σιδηροπυρίτη και δημιουργίας οξύτητας μπορεί να περιγραφεί ως εξής:



Το δεύτερο στάδιο της δημιουργίας οξύτητας αρχίζει από pH περίπου 4,5 και τελειώνει σε pH 2,5. Ενώ, η οξείδωση του δισθενούς σιδήρου επιβραδύνεται κατά το τέλος του πρώτου σταδίου, η βακτηριακή οξείδωση επιταχύνεται εξαιτίας της συμμετοχής των βακτηρίων του είδους *Thiobacillus ferrooxidans* και, συνεπώς, οι αντιδράσεις (19) και (20) επιταχύνονται σημαντικά.

Το τρίτο στάδιο αρχίζει σε pH περίπου 2,5, στο οποίο ουσιαστικά τερματίζονται οι αντιδράσεις καταβύθισης, όταν η ενεργότητα των ιόντων Fe^{3+} γίνεται σημαντική. Στην περίπτωση αυτή το κυριότερο οξειδωτικό μέσο, σύμφωνα με την αντίδραση οξείδωσης του πυρίτη (18), είναι ο Fe^{3+} .

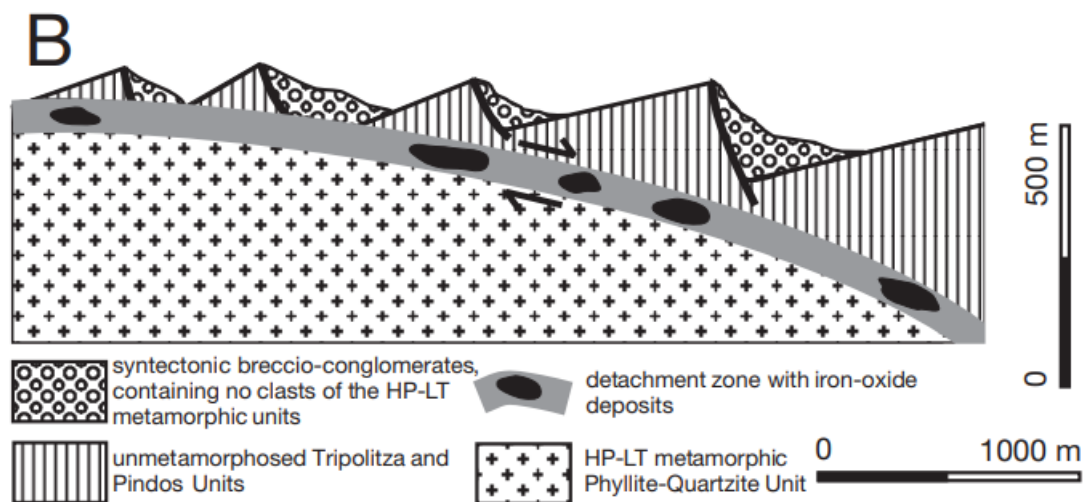
Η αντίδραση (3) λαμβάνει χώρα με ταχύτητα που καθορίζεται από την ενεργότητα των βακτηρίων του είδους *Th. f.* και αποτελεί το βραδύτερο στάδιο της αντίδρασης οξείδωσης του σιδηροπυρίτη. Το συνολικό λοιπόν αποτέλεσμα του τρίτου σταδίου είναι η δημιουργία εξαιρετικά όξινων διαλυμάτων με $\text{pH} < 2,5$, τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλη οξύτητα και υψηλό λόγο συγκεντρώσεων $[\text{Fe}^{3+}]/[\text{Fe}^{2+}]$.

4.7 Αποθέσεις μεταλλευμάτων σιδήρου στην Δυτική Κρήτη

Στη Δυτική Κρήτη και συγκεκριμένα στα χωριά Κακόπετρο και Ραβδούχα εντοπίζονται μικρές αποθέσεις μεταλλευμάτων σιδήρου στην εκτεταμένη ζώνη αποκόλλησης στο ανώτερο τμήμα του υψηλής πίεσης-χαμηλής θερμοκρασίας ΦΧΣ (Seidel et al, 2005).

Τα οξείδια του σιδήρου εμφανίζονται σε ένα λατυποπαγοποιημένο στρώμα φυλλιτών, χαλαζιτών και μαρμάρων πάχους δεκάδων μέτρων. Εμφανίζονται να πληρώνουν ρωγμές και κοιλότητες στα λατυποπαγή και να εμποτίζουν μερικώς τα μάρμαρα. Τα μάρμαρα είναι έντονα εξαλλοιωμένα λόγω της αλληλεπίδρασης ρευστού-πετρώματος κατά μήκος της ζώνης αποκόλλησης όπου είναι κατακερματισμένο και παρουσιάζει υψηλό πορώδες.

Αυτά τα πετρώματα είναι εμποτισμένα από λειμονίτη, με αποτέλεσμα μια κίτρινη έως κοκκινωπή απόχρωση. Οι φυλλίτες και χαλαζίτες είναι έντονα λατυποπαγοποιημένοι με διαρρήξεις πληρωμένες από γκαιίτη. Ο γκαιίτης παρουσιάζεται και ο ίδιος λατυποπαγής με ενσωματωμένα τεμάχια γκαιίτη σε μία άμορφη μάζα λεπτόκοκκου γκαιίτη. Αυτό υποδεικνύει ότι η παραμόρφωση και η δημιουργία λατυποπαγούς ήταν σε εξέλιξη κατά τη διάρκεια δημιουργίας των ορυκτών (Seidel et al, 2005).



Εικόνα 4.6 Σχηματικό διάγραμμα που απεικονίζει τη ζώνη αποκόλλησης και τις αποθέσεις οξειδίων του σιδήρου στην οροφή της ΦΧΣ στ Δυτική Κρήτη (Seidel et al, 2005).

Οι σιδηρούχες εξαλλοιώσεις και οι χημικές αποθέσεις των οξειδίων του σιδήρου εμφανίζονται σε όλο το μήκος της ζώνης αποκόλλησης στην Κρήτη, η οποία εκτείνεται για 250 χιλιόμετρα με διεύθυνση ανατολική-δυτική.

Τα οξειδία του σιδήρου, που παλαιότερα εξορύσσονταν, σε μεταλλεία ανοιχτού τύπου (open pit), αποτελούνται κυρίως από γκαϊτίτη και σε δευτερεύον βαθμό από οξυυδροξείδια της μαγγανομελανόμορφης ομάδας. Σύμφωνα με παλαιότερες έρευνες (Seidel et al, 2005), θεωρείται ότι η εναπόθεση των οξειδίων του σιδήρου σχετίζεται με ροή ρευστού εντός του ρήγματος αποκόλλησης.

Σύμφωνα με τους Seidel et al, (2005) τέτοιες εμφανίσεις οξειδίων του σιδήρου αποτελούν δείκτες ροής ρευστών από βαθύτερα τμήματα του φλοιού, ως αποτέλεσμα ανάδρομης μεταμόρφωσης σε μεγάλου βάθους θερμά πετρώματα ή μπορεί να αντιπροσωπεύουν κυκλοφορία ρευστών χαμηλής θερμοκρασίας σε μικρότερα βάθη εντός του φλοιού.

Στην έρευνα του Seidel et al (2005) αναφέρεται ότι από στοιχεία που συνέλεξε για την ιστορική εξέλιξη της εξορυκτικής δραστηριότητας προκύπτει ότι εξορύσσονταν 25.000 τόνοι σιδηρομεταλλεύματος στην περιοχή Ραβδούχα έως το 1952, ενώ στην περιοχή του Κακόπετρου 120 τόνοι.

Σύμφωνα με τους Seidel et al (2005), η δημιουργία ορυκτών του σιδήρου στην Δυτική Κρήτη φαίνεται να σχετίζεται με την κυκλοφορία ρευστών σε μικρό βάθος και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η μέγιστη ροή ρευστού πραγματοποιήθηκε εντός των λατυποπαγών φυλλιτών και χαλαζιτών κάτω από το επίπεδο μετατόπισης και οι μαζικές αποθέσεις οξειδίων του σιδήρου είναι περιορισμένες σε αυτόν τον τομέα.

Η γένεση των αποθέσεων οξειδίων του σιδήρου πριν από το τέλος του Μειόκαινου υποδεικνύεται από την παρουσία θαλάσσιων Νεογενών ιζημάτων που υπέρκεινται των

αποθέσεων οξειδίων του σιδήρου στη Ραβδούχα και από εγκλείσματα λειμονίτη σε βασικής σύστασης κροκαλοπαγή, ηλικίας Τορτόνιου (Kopp and Ott, 1977).

Κεφάλαιο 5: Παρουσίαση Αποτελεσμάτων και Αξιολόγηση

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, παρατίθεται τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των δεδομένων από τις πηγές κατά τις δυο δειγματοληψίες στις περιοχές μελέτης (Ξινόνερο, Ανισαράκι, Αρέλιο, Αρολίθι, Στροβλές, Μουστάκο, Τεμένια, Καπεδιανά), καθώς και τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων της σύστασης του νερού τόσο σε κύρια ιόντα όσο και σε ιχνοστοιχεία, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία υδροχημικών διαγραμμάτων. Τα δεδομένα παραχωρήθηκαν από το σχετικό αρχείο που διατηρεί και εμπλουτίζει ετήσια το Εργαστήριο Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

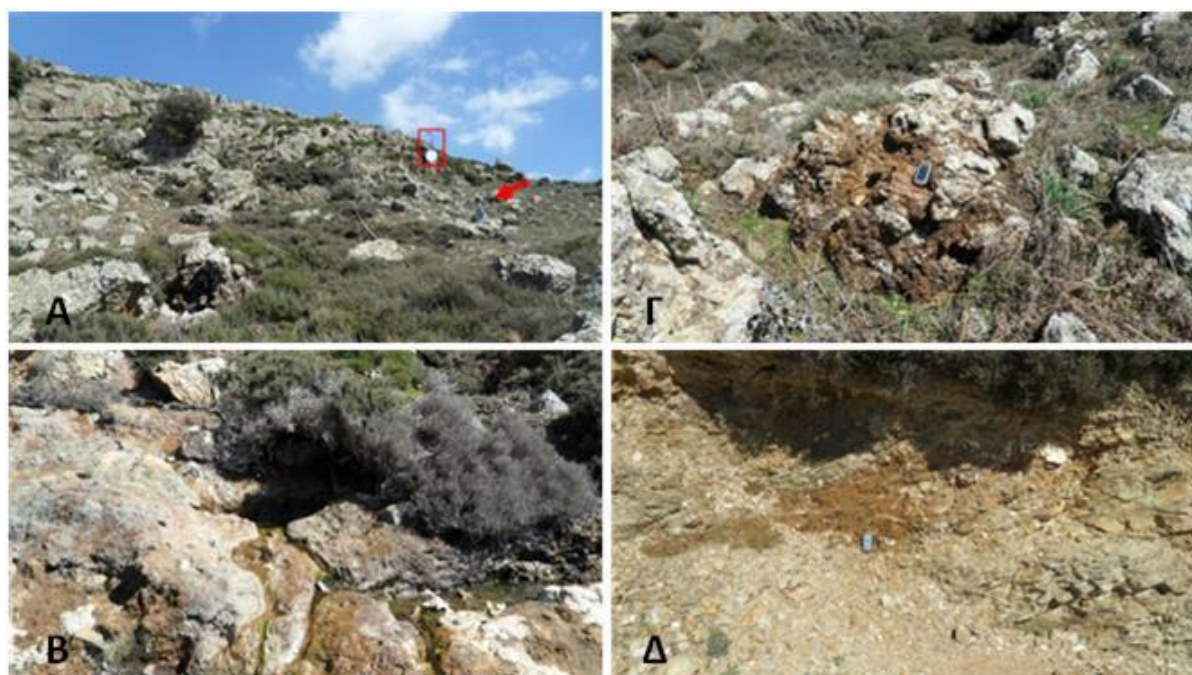
5.2 Παρουσίαση διαθέσιμων δεδομένων

Τα δεδομένα προέρχονται από δύο περιόδους, έτσι ώστε φαινόμενα όπως π.χ. ανάμειξης με νερά άλλων ταμειωτήρων να κατανοηθούν καλύτερα.

Πίνακας 5.1: Συντεταγμένες και Ημερομηνίες

Δείγμα	X (m)	Y (m)	Z (m)	Ημερομηνία Δειγματοληψίας
Ksinonero-3	524612	3899851	850	03/03/2018
Ksinonero-6	524612	3899851	850	29/06/2020
Anisaraki-krini-1	477964	3909520	545	16/03/2019
Anisaraki-krini-3	477964	3909520	545	20/06/2020
Arelia Pigi-3	465598	3907946	556	14/04/2019
Arelia Pigi-4	465598	3907946	556	18/07/2020
Arolithi-1	529052	3901741	551	27/02/2018
Arolithi-2	529052	3901741	551	08/09/2018
Kapediana-1	545043	3908678	357	19/09/2017
Kapediana-2	545043	3908678	357	07/09/2018
Moustakos Krini-3	465754	3908624	537	14/04/2019
Moustakos Krini-4	465754	3908624	537	18/07/2020
Moustakos- Maragiana-1	465795	3908242	570	14/04/2019
Moustakos- Maragiana-2	465795	3908242	570	18/07/2020

Strovles Krini-3	469498	3912924	495	14/04/2019
Strovles Krini-5	469498	3912924	495	18/07/2020
Temenia1-5	477638	3905521	732	16/3/2019
Temenia1-6	477638	3905521	732	7/5/2020
Temenia2-5	477491	3905232	714	16/3/2019
Temenia2-6	477491	3905232	714	7/5/2020



Εικόνα 5.1: Θέση της πηγής Ξινόνερο (Α) εντός της Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής Σειράς, το βέλος δείχνει άνθρωπο που χρησιμοποιείται ως κλίμακα. (Β) Κύρια θέση εκφόρτισης της πηγής. (Γ) Σιδηρούχες αποθέσεις εμπρός από το σημείο εκφόρτισης της πηγής. (Δ) λειμωνιτικές εμφανίσεις εντός κατακερματισμένων φυλλιτών (από Μανούτσογλου 2018).

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία η θερμοκρασία (T), το pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.), των δειγμάτων νερού μετρήθηκαν επί τόπου με φορητά όργανα. Τα δείγματα φιλτραρίστηκαν με πορώδη φίλτρα 0.45 μm, αποθηκεύτηκαν σε μπουκάλια πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (HDPE) και συντηρήθηκαν με οξύνιση (HNO₃ 2%). Η ανάλυση των κύριων κατιόντων (K, Mg, Ca) και των ιχνοστοιχείων (Ti, V, Mn κτλ) πραγματοποιήθηκε με φασματοσκοπία ατομικών μαζών επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-MS 7500cx, Agilent Technologies), ενώ των ανιόντων με φασματοφωτομετρία (Hach DR2800).

Στους πίνακες που ακολουθούν δίνονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων.

Πίνακας 5.2: Φυσικοχημικές παράμετροι

Δείγμα	T (°C)	pH (field)	Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (μS/cm)	TDS (mg/L)	Eh (mV)	Σκληρότητα (mg/L)
Ksinonero-3	16,9	2,8	1120	550	152	0,1
Ksinonero-6	17	3,2	190	190	415	0,0005
Anisarakri-krini-1	14,8	6,5	120	50	207	1,7
Anisarakri-krini-3	28,6	6,5	170	80	141	2,9
Arelio Pigi-3	14,8	6,6	110	50	277	1,2
Arelio Pigi-4	17,8	6,6	130	60	147	2,1
Arolithi-1	14,3	7	140	60	168	1,7
Arolithi-2	17,6	6	243	103	167	1,9
Kapediana-1	18,2	5,5	280	130	44	4,5
Kapediana-2	18,1	5,8	339	155	173	10
Moustakos Krini-3	14,8	6	120	50	283	0,7
Moustakos Krini-4	27,2	5,8	170	80	199	1,3
Moustakos-Maragiana-1	15	5,9	100	40	276	0,7
Moustakos-Maragiana-2	30	6	160	80	179	2,7
Strovles Krini-3	16,5	5,6	120	50	293	1,0
Strovles Krini-5	15,9	5	100	50	194	2,0
Temenia1-5	15,8	6,2	110	45	217	1,5
Temenia1-6	18,3	5,8	250	120	165	4,4
Temenia2-5	15,8	6,3	230	110	220	2,1
Temenia2-6	17,3	5,7	120	50	142	3,0

Πίνακας 5.3: Συγκεντρώσεις κύριων ιόντων στο νερό

Δείγμα	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	F (mg/L)
Ksinonero-3	2,60	3,64	5,96	1,18	273,04	1,50	17,2	0,26
Ksinonero-6	1,38	2,52	10,41	20,46	75,90	0,01	15,7	0,11
Anisaraki-krini- 1	10,09	3,21	11,33	4,30	19,54	21,00	21	0,05
Anisaraki-krini- 3	14,59	5,30	15,88	3,72	8,50	35,92	23,5	0,11
Arelia Pigi-3	1,57	2,66	15,26	1,07	8,68	14,29	8,6	0,00
Arelia Pigi-4	2,52	1,77	10,76	0,39	5,40	25,19	23,7	<DL
Arolithi-1	5,46	4,44	8,24	0,85	8,14	20,58	23,1	0,10
Arolithi-2	3,78	4,56	10,66	0,24	34,09	24,26	18,2	0,09
Kapediana-1	5,89	12,44	31,49	0,81	36,86	55,60	44,5	0,08
Kapediana-2	5,78	6,89	20,86	0,83	30,65	121,99	39,5	0,16
Moustakos Krini-3	2,12	3,78	16,97	0,60	23,96	8,81	33,7	0,07
Moustakos Krini-4	3,11	2,38	11,65	0,52	13,80	15,60	30,7	0,12
Moustakos- Maragiana-1	1,41	2,78	17,02	1,01	8,44	8,94	33,3	0,07
Moustakos- Maragiana-2	2,44	1,91	11,82	3,15	8,30	32,5	29,5	0,09
Strovles Krini-3	1,47	2,57	15,41	0,72	13,99	12,21	37,6	0,09
Strovles Krini-5	2,35	1,66	10,54	1,01	6,40	24,53	25,0	0,10
Temenia1-5	3,29	3,33	13,54	2,09	1,61	18,08	31,5	0,06
Temenia1-6	12,33	7,55	29,72	1,04	9,50	53,95	44,5	<DL
Temenia2-5	18,67	7,91	22,02	1,35	25,01	25,53	55,3	0,08
Temenia2-6	6,10	4,00	20,59	0,45	2,50	37,04	28,1	0,08

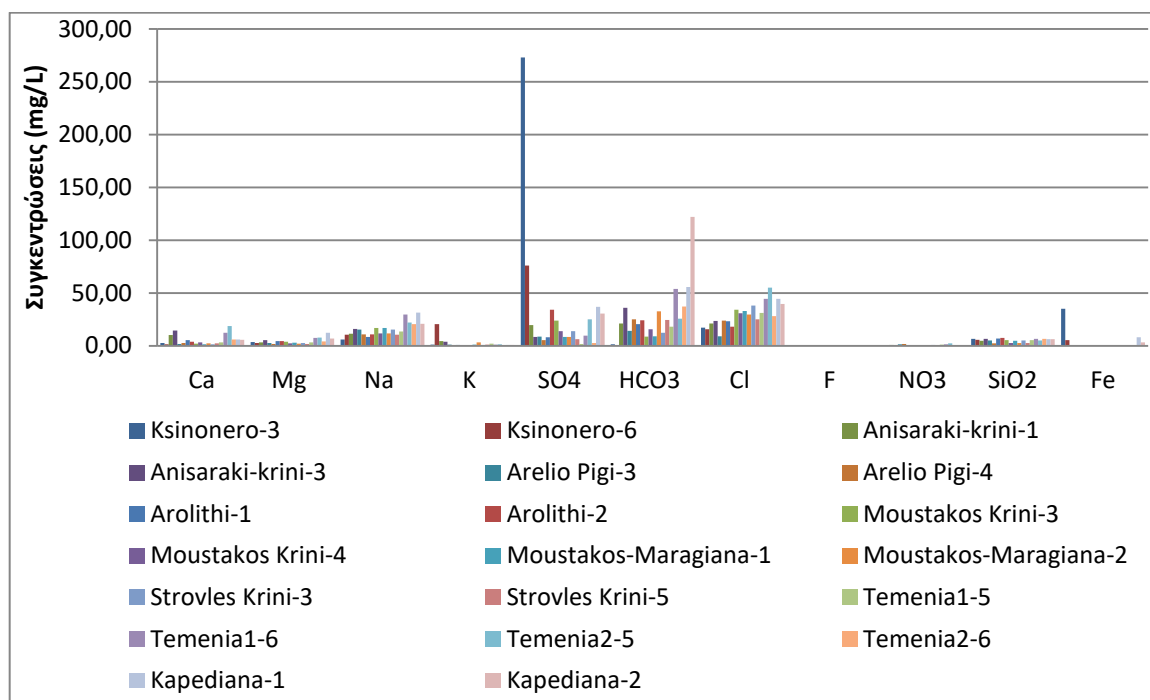
*DL=Detection Limit (Όριο ανιχνευσιμότητας)

Πίνακας 5.4: Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στο νερό

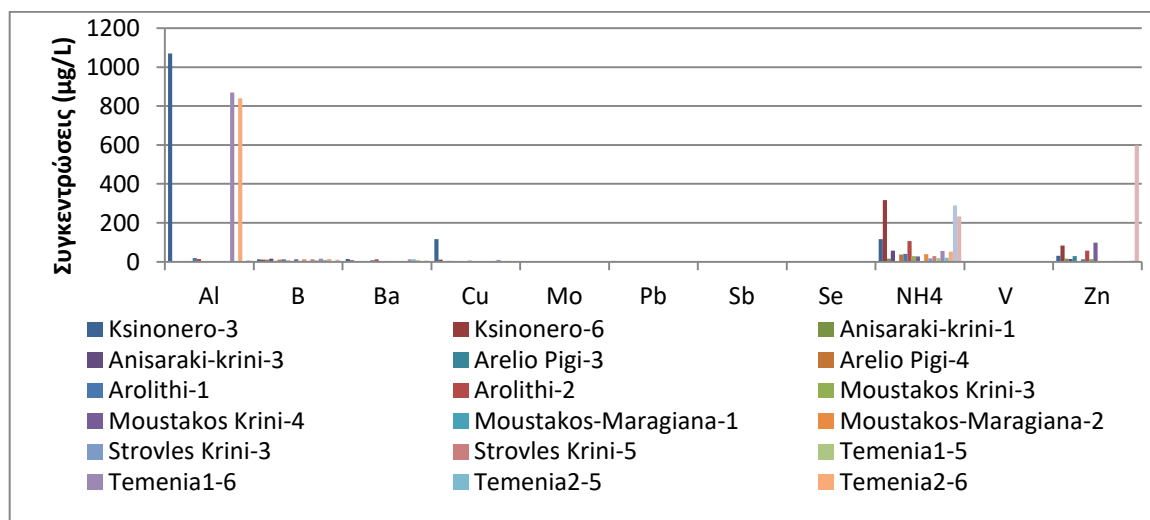
Δείγμα	NO ₃ (mg/L)	Al (μg/L)	B (mg/L)	Ba (mg/L)	Cu (μg/L)	Fe (mg/L)	Li (mg/L)	Mn (mg/L)	Mo (μg/L)	NH ₄ (mg/L)	Pb (μg/L)	Sb (μg/L)	Se (μg/L)	Si (mg/L)	Sr (mg/L)	U (μg/L)	Zn (μg/L)
Ksinonero-3	0,16	1070,00	0,012	0,014	116,30	34,91	0,0007	0,004	<DL	0,12	4,50	1,89	0,17	6,59	0,02	<DL	30,96
Ksinonero-6	0,30	<DL	0,011	0,008	11,78	5,50	0,0031	7,643	1,48	0,32	<DL	1,02	<DL	5,56	0,03	<DL	84,29
Anisaraki-krini-1	0,87	<DL	0,011	0,003	2,90	0,002	<DL	<DL	0,33	0,02	<DL	<DL	<DL	4,66	0,05	<DL	15,36
Anisaraki-krini-3	0,62	<DL	0,016	0,003	4,29	0,00004	0,0013	0,280	1,84	0,06	<DL	1,24	<DL	6,70	0,06	<DL	14,78
Arelia Pigi-3	1,41	<DL	0,005	0,002	<DL	0,02	<DL	<DL	0,29	0,002	<DL	1,48	1,83	4,96	0,03	<DL	28,77
Arelia Pigi-4	1,76	<DL	0,011	<DL	<DL	0,02	<DL	0,801	0,29	0,04	<DL	<DL	<DL	2,31	0,02	<DL	<DL
Arolithi-1	<DL	20,00	0,012	0,008	1,38	0,04	0,0013	0,001	<DL	0,04	0,55	1,61	0,09	6,97	0,04	<DL	12,37
Arolithi-2	0,436	15,04	0,007	0,012	2,03	0,34	0,0022	<DL	0,68	0,11	0,75	<DL	<DL	7,40	0,03	0,2	57,18
Kapediana-1	0,095	<DL	0,0014	<DL	<DL	7,98	0,00035	0,133	<DL	0,29	<DL	<DL	<DL	6,23	0,02	<DL	6,63
Kapediana-2	0,173	7,20	0,0113	0,006	1,78	3,11	0,0041	0,093	0,29	0,23	0,3	<DL	<DL	6,29	0,02	0,1	598,2
Moustakos Krini-3	0,20	<DL	0,005	0,002	6,42	0,03	<DL	<DL	0,25	0,03	<DL	0,93	1,42	5,22	0,03	<DL	14,24
Moustakos	0,51	<DL	0,012	<DL	2,82	0,02	<DL	1,670	0,30	0,03	<DL	<DL	<DL	2,50	0,02	<DL	98,41

Krini-4																	
Moustakos- Maragiana- 1	0,29	<DL	0,004	0,003	1,91	0,07	<DL	<DL	0,23	0,002	<DL	0,57	1,14	4,68	0,03	<DL	0,55
Moustakos- Maragiana- 2	0,52	<DL	0,012	<DL	<DL	0,01	0,00029	0,87	0,28	0,04	<DL	<DL	<DL	2,52	0,02	<DL	1,99
Strovles Krini-3	0,67	<DL	0,004	0,003	<DL	0,01	<DL	<DL	0,21	0,02	<DL	0,33	0,88	4,92	0,02	<DL	<DL
Strovles Krini-5	0,39	<DL	0,013	<DL	<DL	0,02	0,0002	1,772	0,31	0,03	<DL	<DL	<DL	2,55	0,01	<DL	1,86
Temenia1- 5	1,13	<DL	0,008	0,002	4,48	0,03	<DL	0,001	0,23	0,02	<DL	<DL	<DL	5,45	0,03	<DL	4,08
Temenia1- 6	1,43	870,00	0,016	0,012	10,28	0,11	0,0021	3,413	0,99	0,06	1,31	0,06	<DL	6,50	0,09	0,47	<DL
Temenia2- 5	2,39	<DL	0,009	0,012	1,85	0,01	<DL	0,004	0,21	0,02	<DL	<DL	<DL	5,05	0,07	<DL	<DL
Temenia2- 6	0,54	840,00	0,015	0,008	4,22	0,04	0,0020	14,226	1,02	0,05	1,11	<DL	<DL	6,42	0,04	0,43	<DL

*DL=Detection Limit (Όριο ανιχνευσιμότητας)

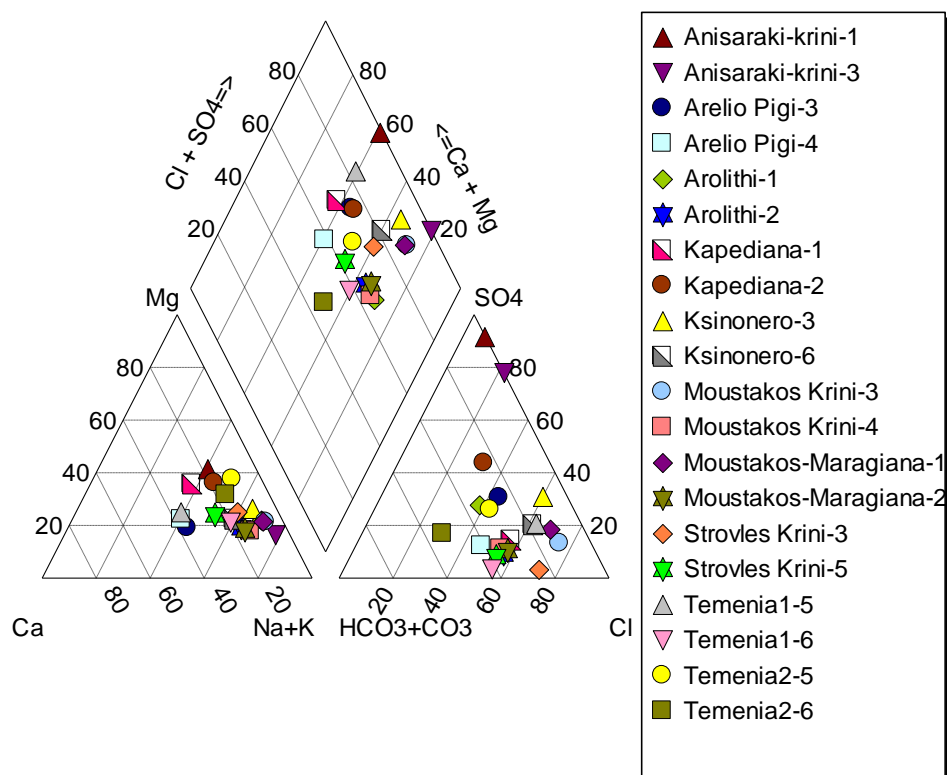


Εικόνα 5.2: Συγκεντρώσεις κύριων ιόντων



Εικόνα 5.3: Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων

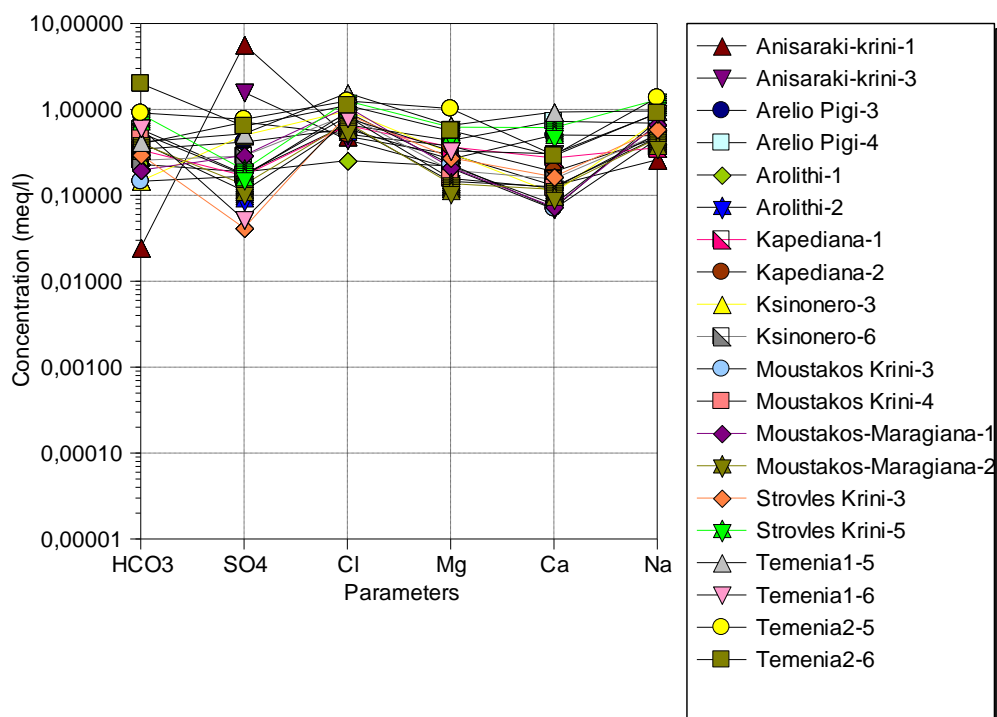
Στη συνέχεια κατασκευάστηκε και παρουσιάζεται το διάγραμμα *river* όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των ως άνω μετρήσεων, για το σύνολο των πηγών. Με το διάγραμμα *river* μπορούν να προκύψουν τέσσερα βασικά συμπεράσματα σχετικά με το νερό. Αυτά αφορούν τους τύπους νερών, την διάλυση, την ανάμειξη και την ιοντοανταλλαγή. Το διάγραμμα κατασκευάστηκε με το λογισμικό AquaChem.



Εικόνα 5.4: Διάγραμμα Piper

Σύμφωνα με το διάγραμμα Piper (Εικόνα 5.4 **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) προκύπτει ότι τα δείγματα είναι παραπλήσιας χημικής σύστασης, οπότε ως προς τα κατιόντα χαρακτηρίζονται ως καλιονατριούχα, ως προς τα ανιόντα είναι χλωριούχα, εκτός την πηγή Ανισαράκι που είναι θειούχα. Ο τύπος του νερού είναι κάλιο-νατριούχο-χλώριο-θειικό.

Για την καλύτερη επίβλεψη και κατανόηση των δεδομένων του Πίνακας 5.4 κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα Schoeller, όπου στον κατακόρυφο άξονα, οι συγκεντρώσεις αναγράφονται σε meq/L σε λογαριθμική κλίμακα.



Εικόνα 5.5: Διάγραμμα Schoeller για όλες τις πηγές.

5.3 Δείγματα από πηγές του νομού Χανίων

5.3.1 Δείγματα από την πηγή Ξινόνερο

Το νερό της πηγής Ξινόνερο κατά την πρώτη δειγματοληψία στις 3/3/2018 είναι τύπου SO_4 με pH ίσο με 2,8 και θερμοκρασία 16,9°C. Έχει TDS ίσο με 550 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 1120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Πίνακας 5.2). Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 0,1 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 2,60 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 3,64 mg/L, του νατρίου (Na) 5,96 mg/L, του καλίου (K) 1,18 mg/L, του χλωρίου (Cl) 17,20 mg/L, των θειικών (SO_4) 273,04 mg/L, των ανθρακικών (HCO_3) 1,50 mg/L του φθορίου (F) 0,26 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO_3) 0,16 mg/L, του βορίου (B) 0,01 mg/L, του βαρίου (Ba) 0,014 mg/L, του σιδήρου (Fe) 34,91 mg/L, του πυριτίου (Si) 6,59 mg/L, του στροντίου (Sr) 0,02 mg/L, του χαλκού (Cu) 116,30 mg/L και του ψευδαργύρου (Zn) 30,96 $\mu\text{g}/\text{L}$.

Κατά τη δεύτερη δειγματοληψία στις 29/6/2020 παρατηρείται ότι είναι τύπου K-Na- SO_4 -Cl με pH ίσο με 3,2 και θερμοκρασία 17°C. Έχει TDS ίσο με 190 mg/L και ηλεκτρική

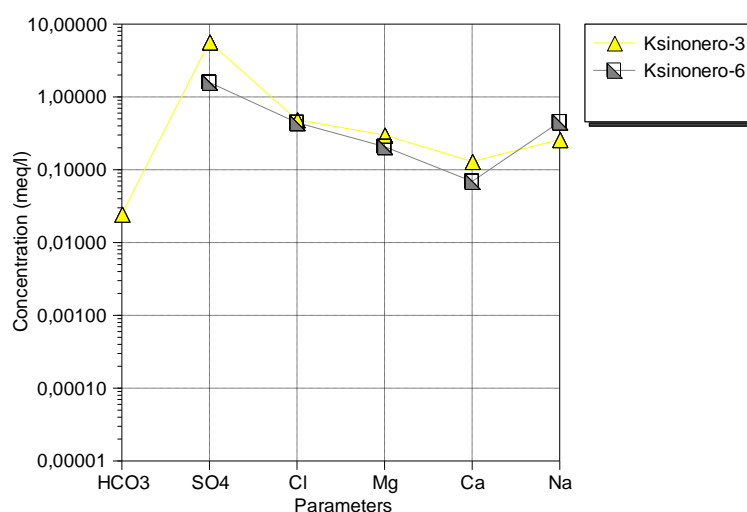
αγωγιμότητα ίση με 190 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 0,0005 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 1,38 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 2,52 mg/L, του νατρίου (Na) 10,41 mg/L, του καλίου (K) 20,46 mg/L, του χλωρίου (Cl) 15,7 mg/L, των θειικών (SO_4) 75,90 mg/L, των ανθρακικών (HCO_3) 0,01 mg/L και του φθορίου (F) 0,11 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO_3) 0,30 mg/L, του βορίου (B) 0,01 mg/L, του βαρίου (Ba) 0,008 mg/L, του σιδήρου (Fe) 5,50 mg/L, του μολυβδαίνιου (Mo) 1,48 mg/L, του πυριτίου (Si) 5,56 mg/L, του στρόντιου (Sr) 0,03 mg/L, του χαλκού (Cu) 11,78 mg/L και του ψευδαργύρου (Zn) 84,29 $\mu\text{g}/\text{L}$.

Λαμβάνοντας υπόψη την πολύ μικρή περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα νατρίου και χλωρίου και το λόγο $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Cl})=0,35$ προκύπτει ότι το νερό αυτό έχει μετεωρική προέλευση. Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις σε μαγνήσιο και ασβέστιο ($\text{Mg}/(\text{Ca}+\text{Mg})=0,7$) παρατηρείται ότι το μαγνήσιο έχει πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση σε μαγνήσιο το οποίο σημαίνει ότι το νερό εξαλλοίωσε δολομιτικά ή/και σιδηρομαγνησιούχα πετρώματα. Παρατηρώντας ταυτόχρονα, τη μικρή περιεκτικότητα σε ιόντα ασβεστίου σε σχέση με τις θεικές ρίζες ($\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{SO}_4) = 0,03$) συμπεραίνεται ότι πιθανώς το όξινο νερό που έχει εξαλλοιώσει σιδηροπυρίτη έρχεται σε επαφή με τα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής και εξουδετερώνεται μερικώς και οπότε αφήνει επικαθίσεις αλάτων ασβεστίου ενώ το μαγνήσιο παραμένει στο διάλυμα.

Από το διάγραμμα Schoeller για την πηγή Ξινόνερο (Εικόνα 5.6), παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση των θεϊκών ανιόντων είναι αρκετά υψηλή. Υψηλή περιεκτικότητα παρατηρείται ακόμα σε Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- . Τέλος, μέτρια συγκέντρωση παρατηρείται σε HCO_3^{3-} .

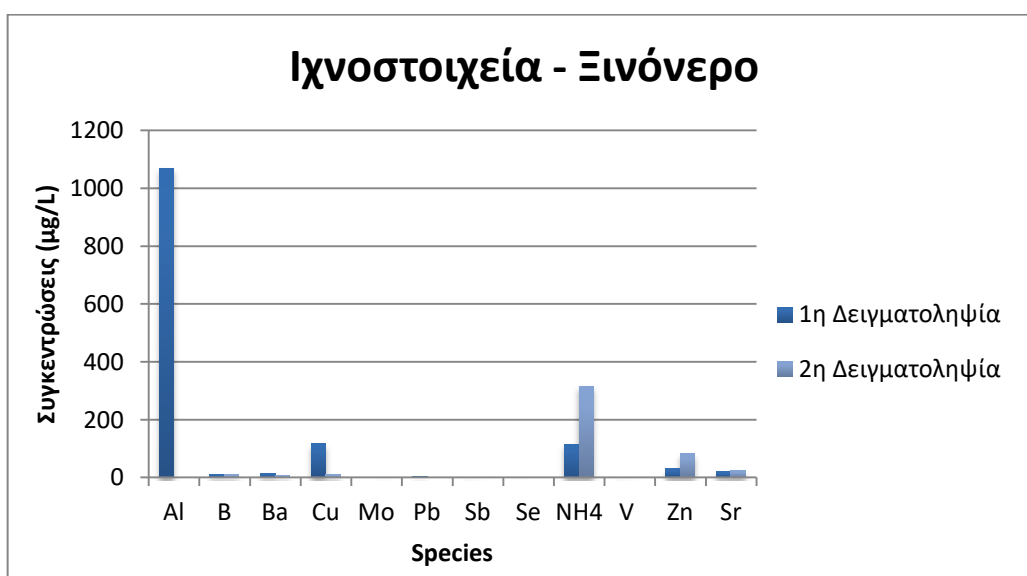


Εικόνα 5.6: Διάγραμμα Schoeller για την πηγή Ξινόνερο

Σύμφωνα με τους Πίνακες 5.3, Πίνακας 5.4, τις συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων στις πηγές προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 5.7: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την πηγή Ξινόνερο



Εικόνα 5.8: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την πηγή Ξινόνερο

Στο διάγραμμα των κύριων στοιχείων παρατηρείται υψηλό ποσοστό σε SO₄ συγκριτικά με τα υπόλοιπα κύρια στοιχεία, αυτό σημαίνει ότι τα θειικά προήλθαν από τη διαλυτοποίηση των μεικτών θειούχων. Η αναγωγή των μεικτών θειούχων είναι η αιτία που το νερό της πηγής Ξινόνερο είναι όξινο. Επίσης, εξαιτίας του χαμηλού pH, το αργίλιο επικάθεται με τη μορφή θειούχου υδροξειδίου του αργίλου. Παρατηρείται ακόμα, υψηλή συγκέντρωση

σιδήρου που οφείλεται στην αναγωγή των μεικτών θειούχων, όπου ο δισθενής σίδηρος (Fe^{2+}) μετατρέπεται σε τρισθενή (Fe^{3+}) και αποτίθεται, με αποτέλεσμα τη δημιουργία σιδηρούχων αποθέσεων στην περιοχή.

5.3.2 Δείγματα από την πηγή Τεμένια1

Το νερό από την πηγή Τεμένια1 κατά την δειγματοληψία στις 16/3/2019 είναι τύπου Na-Mg-Cl- HCO_3 με pH ίσο με 6,2 και θερμοκρασία 15,8°C. Έχει TDS ίσο με 45 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 1,5 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 3,29 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 3,33 mg/L, του νατρίου (Na) 13,54 mg/L , του καλίου (K) 2,09 mg/L, του χλωρίου (Cl) 31,5 mg/L, των θειικών (SO_4) 1,61 mg/L , των ανθρακικών (HCO_3) 18,08 mg/L και του φθορίου (F) 0,06 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO_3) 1,13 mg/L, του βορίου (B) 0,008 mg/L, του βαρίου (Ba) 0,002 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0,03 mg/L, του μολυβδαίνιου (Mo) 0,23 mg/L, του πυριτίου (Si) 5,45 mg/L, του στροντίου (Sr) 0,03 mg/L, του χαλκού (Cu) 4,48 mg/L και του ψευδαργύρου (Zn) 4,08 $\mu\text{g}/\text{L}$.

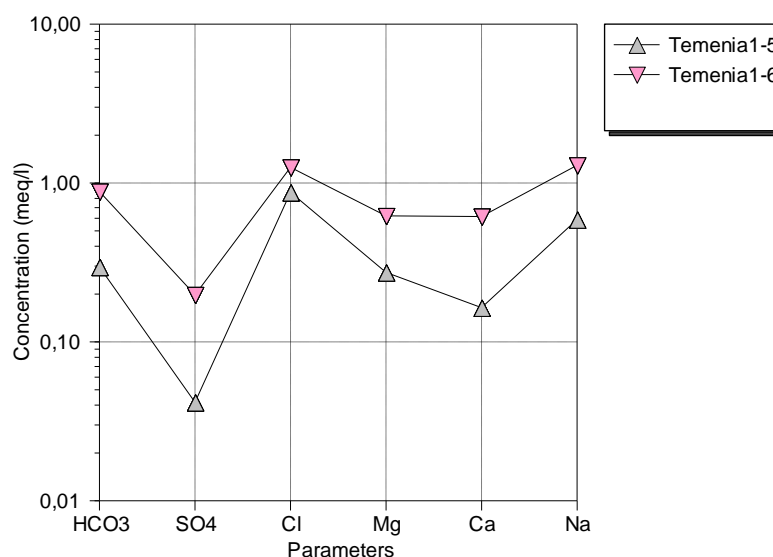
Κατά τη δεύτερη δειγματοληψία στις 7/5/2020 παρατηρείται ότι είναι τύπου Na-Mg-Ca-Cl- HCO_3 με pH ίσο με 5,8 και θερμοκρασία 18,3°C. Έχει TDS ίσο με 120 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 4,4 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 12,33 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 7,55 mg/L, του νατρίου (Na) 29,72 mg/L , του καλίου (K) 1,04 mg/L, του χλωρίου (Cl) 44,52 mg/L, των θειικών (SO_4) 9,50 mg/L , των ανθρακικών (HCO_3) 53,95 mg/L και του φθορίου (F) 0,08 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO_3) 1,43 mg/L, του βορίου (B) 0,016 mg/L, του βαρίου (Ba) 0,012 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0,011 mg/L, του μολυβδαίνιου (Mo) 0,23 mg/L, του πυριτίου (Si) 6,50 mg/L, του στροντίου (Sr) 0,09 mg/L, του ουρανίου (U) 0,47 $\mu\text{g}/\text{L}$ και του χαλκού (Cu) 10,28 mg/L.

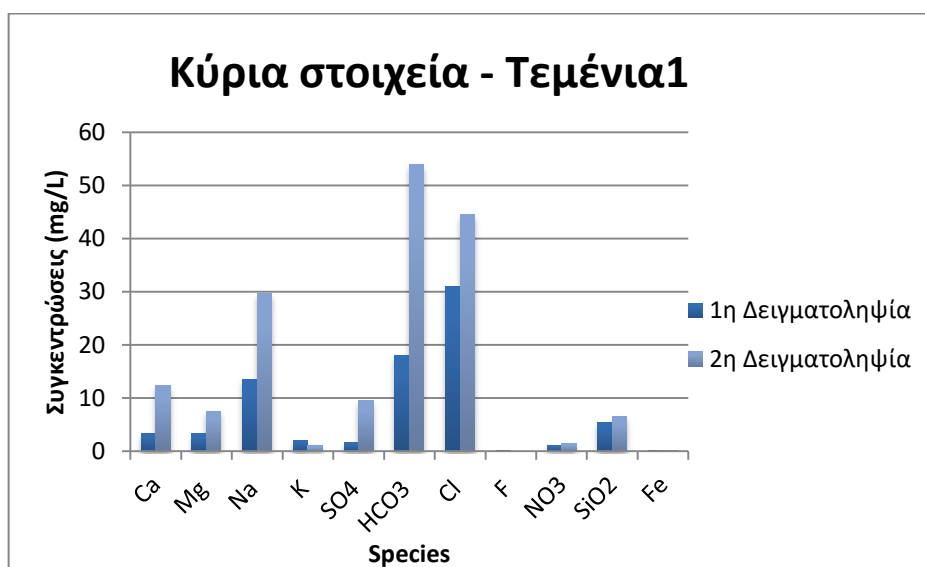
Λαμβάνοντας υπόψη την πολύ μικρή περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα νατρίου και χλωρίου και το λόγο $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Cl})=0,45$ προκύπτει ότι το νερό αυτό έχει μετεωρική προέλευση. Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις σε μαγνήσιο και ασβέστιο ($\text{Mg}/(\text{Ca}+\text{Mg})=0,57$) παρατηρείται ότι το μαγνήσιο έχει πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση σε μαγνήσιο το οποίο σημαίνει ότι το νερό εξαλλοίωσε δολομιτικά πετρώματα. Παρατηρώντας ταυτόχρονα, τη μικρή περιεκτικότητα σε ιόντα ασβεστίου σε σχέση με τις θειικές ρίζες ($\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{SO}_4)=0,78$) συμπεραίνεται ότι η πηγή ασβεστίου δεν προέρχεται από γύψο, ανθρακικά ή πυριτικά άλατα.

Από το διάγραμμα Schoeller για την πηγή Τεμένια-1 (Εικόνα 5.9 **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**), παρατηρούμε υψηλή συγκέντρωση σε HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , Mg^{2+} ενώ χαμηλή συγκέντρωση παρατηρείται σε SO_4^{2-} . Επειδή η γραμμή μετακινείται κάθετα χωρίς να αλλάζει ιδιαίτερα το σχήμα της, προκύπτει το συμπέρασμα ότι πιθανώς υπάρχει ανάμιξη του νερού με το νερό της βροχής, δηλαδή υπάρχει αραίωση ή συμπύκνωση του νερού.

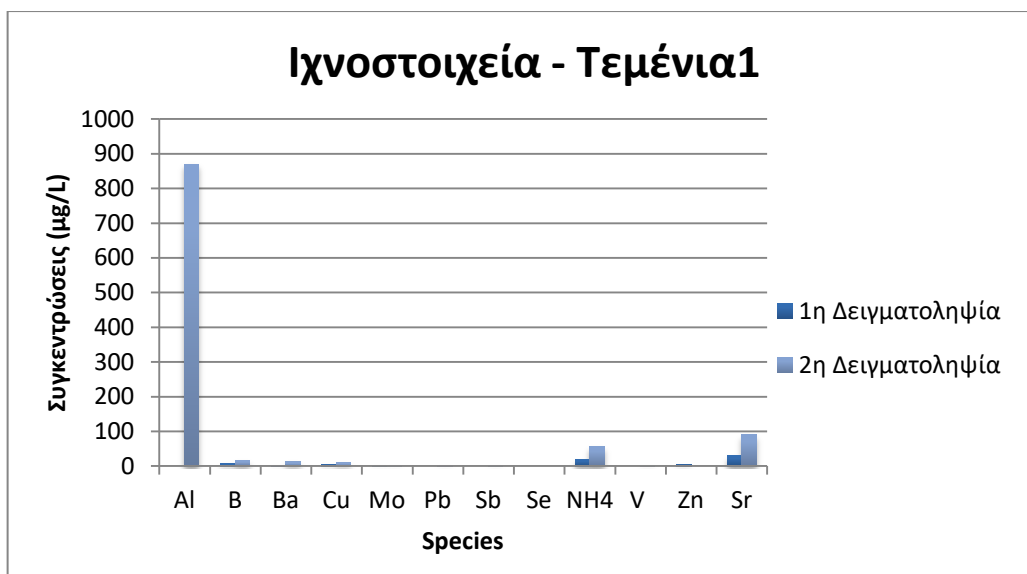


Εικόνα 5.9: Διάγραμμα Schoeller για την πηγή Τεμένια-1

Σύμφωνα με τους Πίνακες 5.3, Πίνακας 5.4, τις συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων στις πηγές προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 5.10: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την πηγή Τεμένια1



Εικόνα 5.11: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την πηγή Τεμένια1

Παρατηρείται υψηλό ποσοστό σε HCO_3^- , Na και Cl. Τα στοιχεία αυτά προέρχονται από τους γειτονικούς εβαπορίτες. Επίσης, σχετικά αυξημένη εντοπίζεται η αμμωνία (NH_4), η οποία μπορεί να είναι δείκτης βιολογικής ρύπανσης, λυματολάσπη ή ζωικά απόβλητα.

5.3.3 Δείγματα από την πηγή Τεμένια2

Το νερό από την πηγή Τεμένια2 κατά τη δειγματοληψία στις 16/3/2019 παρατηρείται ότι είναι τύπου Na-Ca-Mg-Cl- SO_4 με pH ίσο με 6,3 και θερμοκρασία 15,8°C. Έχει TDS ίσο με 110 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 230 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 2,1 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 18,67 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 7,91 mg/L, του νατρίου (Na) 22,02 mg/L, του καλίου (K) 1,35 mg/L, του χλωρίου (Cl) 55,3 mg/L, των θεικών (SO_4) 25,01 mg/L, των ανθρακικών (HCO_3^-) 25,53 mg/L και του φθορίου (F) 0,08 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO_3^-) 2,39 mg/L, του βορίου (B) 0,009 mg/L, του βαρίου (Ba) 0,012 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0,01 mg/L, του μολυβδαίνιου (Mo) 0,21 mg/L, του πυριτίου (Si) 5,05 mg/L, του στροντίου (Sr) 0,07 mg/L και του χαλκού (Cu) 1,85 mg/L.

Κατά τη δεύτερη δειγματοληψία στις 7/5/2020 παρατηρείται ότι είναι τύπου Na-Mn-Cl- HCO_3^- με pH ίσο με 5,7 και θερμοκρασία 17,3°C. Έχει TDS ίσο με 50 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 3,0 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

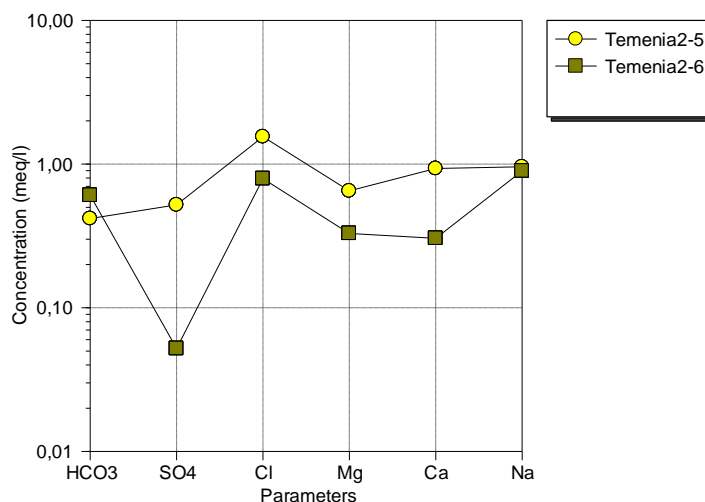
Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 6,1 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 4,0 mg/L, του νατρίου (Na) 20,59 mg/L, του καλίου (K) 0,45 mg/L,

του χλωρίου (Cl) 28,1 mg/L, των θειικών (SO₄) 2,50 mg/L, των ανθρακικών (HCO₃) 37,04 mg/L και του φθορίου (F) 0,08 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 0,54 mg/L, του βορίου (B) 0,015 mg/L, του βαρίου (Ba) 0,008 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0,04 mg/L, του μολυβδαίνιου (Mo) 1,02 mg/L, του πυριτίου (Si) 6,42 mg/L, του στροντίου (Sr) 0,04 mg/L, του ουρανίου (U) 0,43 μg/L και του χαλκού (Cu) 4,22 mg/L.

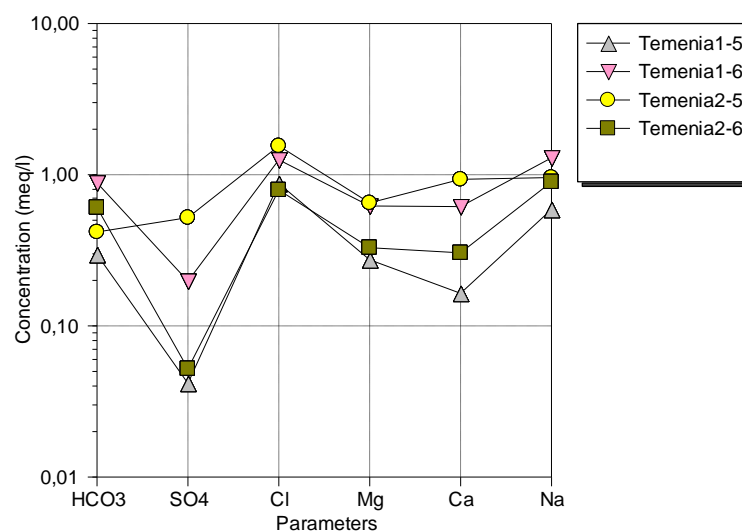
Λαμβάνοντας υπόψη την πολύ μικρή περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα νατρίου και χλωρίου και το λόγο $Na/(Na+Cl)=0,45$ προκύπτει ότι το νερό αυτό έχει μετεωρική προέλευση. Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις σε μαγνήσιο και ασβέστιο ($Mg/(Ca+Mg)=0,45$) παρατηρείται ότι το μαγνήσιο έχει πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση σε μαγνήσιο το οποίο σημαίνει ότι το νερό εξαλλοίωσε δολομιτικά ή/και σιδηρομαγνησιούχα πετρώματα. Παρατηρώντας ταυτόχρονα, τη μικρή περιεκτικότητα σε ιόντα ασβεστίου σε σχέση με τις θειικές ρίζες ($Ca/(Ca+SO_4)=0,74$) συμπεραίνεται ότι η πηγή ασβεστίου δεν προέρχεται από γύψο, ανθρακικά ή πυριτικά άλατα.

Από το διάγραμμα Schoeller για την πηγή Τεμένια-2 (Εικόνα 5.12), παρατηρούμε σε όλα τα στοιχεία (HCO₃⁻, Mg²⁺, Na⁺, SO₄ και Ca²⁺) υψηλή περιεκτικότητα. Μόνο η συγκέντρωση των SO₄ είναι χαμηλή κατά τη δεύτερη δειγματοληψία. Επειδή η γραμμή μετακινείται κάθετα χωρίς να αλλάζει ιδιαίτερα το σχήμα της, προκύπτει το συμπέρασμα ότι πιθανώς υπάρχει ανάμιξη του νερού με το νερό της βροχής, δηλαδή υπάρχει αραίωση ή συμπύκνωση του νερού.



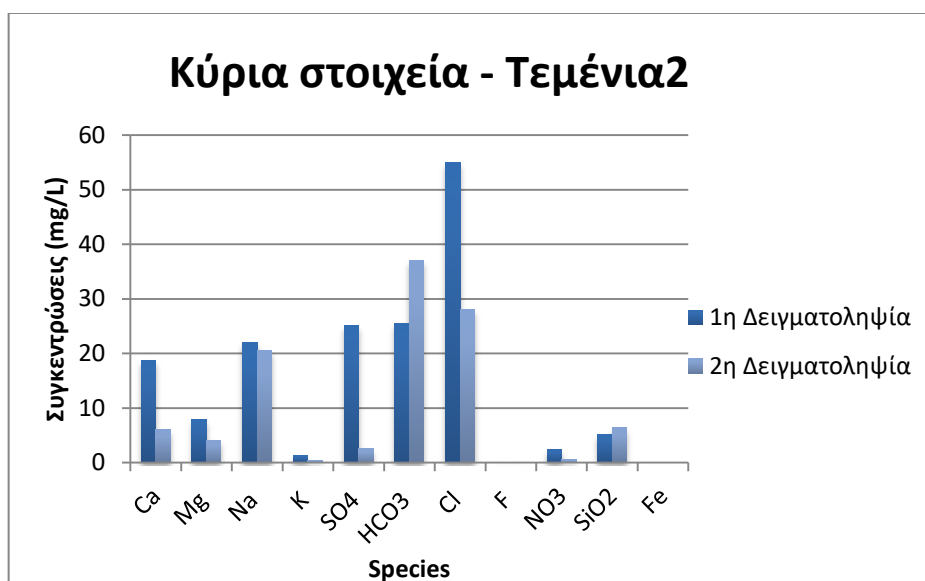
Εικόνα 5.12: Διάγραμμα Schoeller για την πηγή Τεμένια-2

Για λόγους σύγκρισης στο διάγραμμα Schoeller της Εικόνα 5.13 παρατίθενται τα δεδομένα των δυο πηγών (Τεμένια 1 & 2) και για τις δυο δειγματοληψίες.

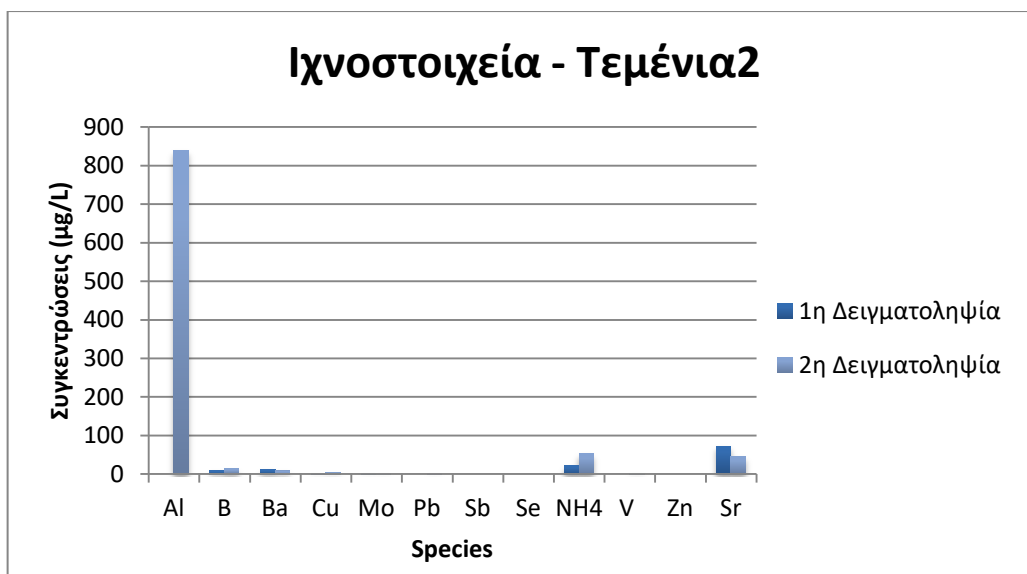


Εικόνα 5.13: Διάγραμμα Schoeller για τις πηγές Τεμένια-1 και Τεμένια-2.

Σύμφωνα με τους Πίνακες 5.3, Πίνακας 5.4, τις συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων στις πηγές προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 5.14: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την πηγή Τεμένια2



Εικόνα 5.15: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την πηγή Τεμένια2

Παρατηρείται υψηλό ποσοστό σε HCO_3^- , Na και Cl. Τα στοιχεία αυτά προέρχονται από τους γειτονικούς εβαπορίτες. Επίσης, σχετικά αυξημένη εντοπίζεται η αμμωνία (NH_4), η οποία μπορεί να είναι δείκτης βιολογικής ρύπανσης, λυματολάσπη ή ζωικά απόβλητα.

5.3.4 Δείγματα από την κρίνη Στροβλές

Το νερό από την κρίνη Στροβλές κατά την δειγματοληψία στις 14/4/2019 είναι τύπου Na-Cl- SO_4 με pH ίσο με 5,6 και θερμοκρασία 16,5°C. Έχει TDS ίσο με 50 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 1,0 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 1,47 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 2,57 mg/L, του νατρίου (Na) 15,41 mg/L, του καλίου (K) 0,72 mg/L, του χλωρίου (Cl) 37,6 mg/L, των θειικών (SO_4) 13,99 mg/L, των ανθρακικών (HCO_3) 12,21 mg/L και του φθορίου (F) 0,09 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO_3) 0,67 mg/L, του βορίου (B) 0,004 mg/L, του βαρίου (Ba) 0,003 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0,01 mg/L, του μολυβδαίνιου (Mo) 0,21 mg/L, του πυριτίου (Si) 4,92 mg/L και του στροντίου (Sr) 0,02 mg/L.

Κατά τη δεύτερη δειγματοληψία στις 18/7/2020 παρατηρείται ότι είναι τύπου Na-Cl- HCO_3 με pH ίσο με 5 και θερμοκρασία 15,9°C. Έχει TDS ίσο με 50 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 2,0 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

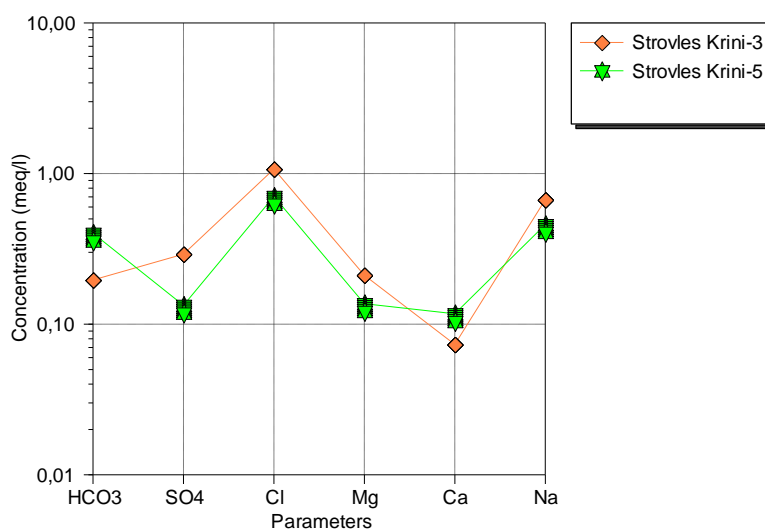
Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 2,35 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 1,66 mg/L, του νατρίου (Na) 10,54 mg/L, του καλίου (K) 1,01

mg/L, του χλωρίου (Cl) 25,0 mg/L, των θειικών (SO₄) 6,40 mg/L, των ανθρακικών (HCO₃) 24,53 mg/L και του φθορίου (F) 0,1 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 0,39 mg/L, του βορίου (B) 0,01 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0,02 mg/L, του μολυβδαίνιου (Mo) 0,31 mg/L, του πυριτίου (Si) 2,55 mg/L, του στροντίου (Sr) 0,01 mg/L, και του ψευδαργύρου (Zn) 1,86 μg/L.

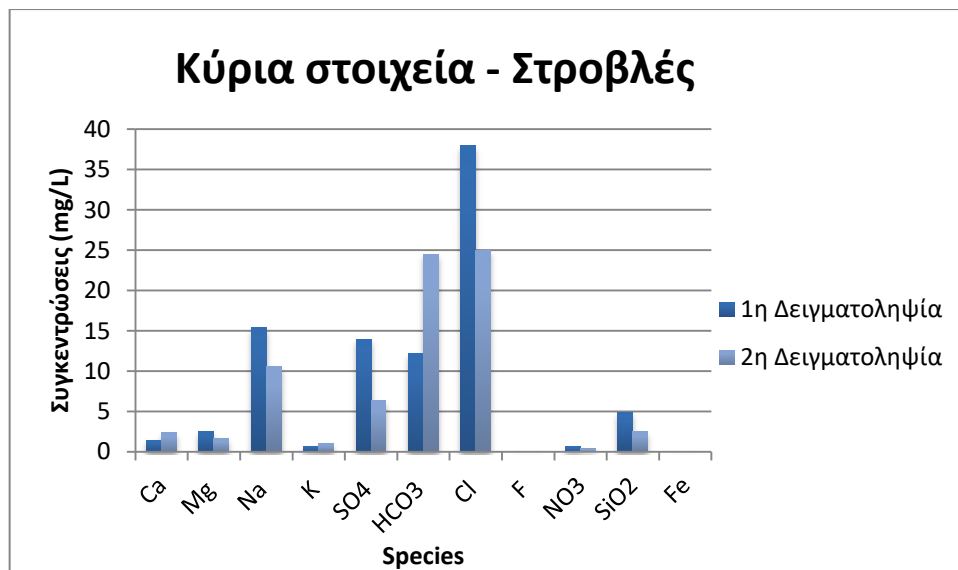
Λαμβάνοντας υπόψη την πολύ μικρή περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα νατρίου και χλωρίου και το λόγο $Na/(Na+Cl)=0,39$ προκύπτει ότι το νερό αυτό έχει μετεωρική προέλευση. Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις σε μαγνήσιο και ασβέστιο ($Mg/(Ca+Mg)=0,64$) παρατηρείται ότι το μαγνήσιο έχει πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση σε μαγνήσιο το οποίο σημαίνει ότι το νερό εξαλλοίωσε δολομιτικά πετρώματα. Παρατηρώντας ταυτόχρονα, τη μικρή περιεκτικότητα σε ιόντα ασβεστίου σε σχέση με τις θεικές ρίζες ($Ca/(Ca+SO_4) = 0,3$) συμπεραίνεται ότι πιθανώς υπάρχει απομάκρυνση ασβεστίου καθώς επίσης ανταλλαγή ιόντων ή καθίζηση ασβεστίτη.

Από το διάγραμμα Schoeller για την κρίνη Στροβλές (Εικόνα 5.16), παρατηρούμε υψηλή περιεκτικότητα σε HCO₃⁻, Cl⁻, Na⁺, ενώ μέτρια συγκέντρωση παρατηρείται σε Mg²⁺, SO₄²⁻ και Ca²⁺. Επειδή η γραμμή μετακινείται κάθετα χωρίς να αλλάζει ιδιαίτερα το σχήμα της, προκύπτει το συμπέρασμα ότι πιθανώς υπάρχει ανάμιξη του νερού με το νερό της βροχής, δηλαδή υπάρχει αραίωση ή συμπύκνωση του νερού.

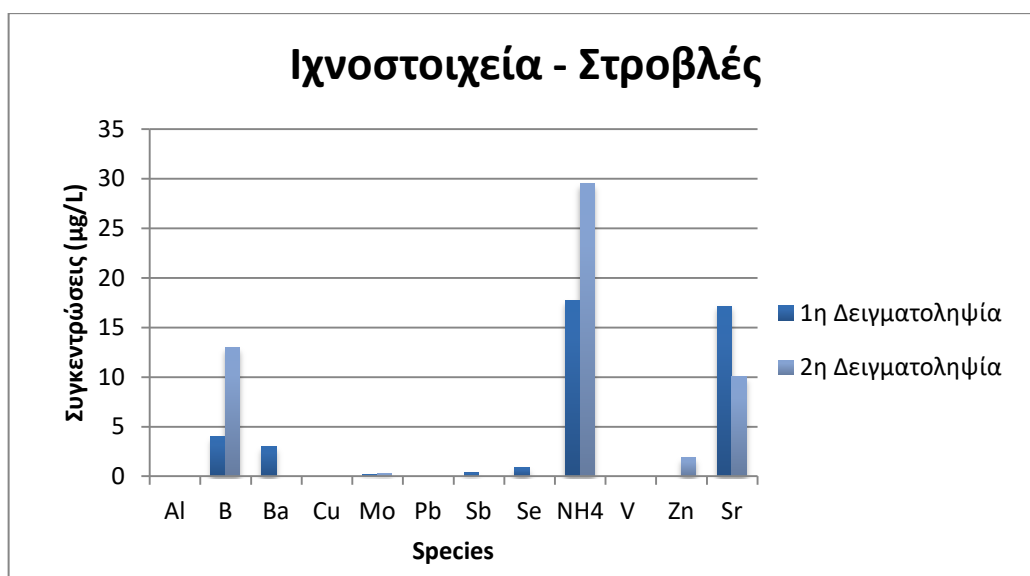


Εικόνα 5.16: Διάγραμμα Schoeller για την κρίνη Στροβλές

Σύμφωνα με τους Πίνακες 5.3, Πίνακας 5.4, τις συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων στις πηγές προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 5.17: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την πηγή Στροβλές



Εικόνα 5.18: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την πηγή Στροβλές

Παρατηρείται σχετικά αυξημένη περιεκτικότητα σε Zn και Sr τα ιχνοστοιχεία αυτά αποτελούν ενδεικτικά στοιχεία μεικτών θειούχων. Επίσης, σχετικά αυξημένη εντοπίζεται η αμμωνία (NH_4), η οποία μπορεί να είναι δείκτης βιολογικής ρύπανσης, λυματολάσπη ή ζωικά απόβλητα.

5.3.5 Δείγματα από την πηγή Ανισαράκι

Το νερό από την κρίνη Ανισαράκι κατά τη δειγματοληψία στις 16/3/2019 είναι τύπου Ca-Na-Cl-SO₄-HCO₃ με pH ίσο 6,5 με και θερμοκρασία 14,8°C. Έχει TDS ίσο με 50 mg/L και

ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 1,7 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 10,09 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 3,21 mg/L, του νατρίου (Na) 11,33 mg/L, του καλίου (K) 4,30 mg/L, του χλωρίου (Cl) 21,2 mg/L, των θειικών (SO_4) 19,54 mg/L, των ανθρακικών (HCO_3) 21,0 mg/L και του φθορίου (F) 0,05 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO_3) 0,87 mg/L, του βορίου (B) 0,01 mg/L, του βαρίου (Ba) 0,003 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0,002 mg/L, του μολυβδαίνιου (Mo) 0,33 mg/L, του πυριτίου (Si) 4,66 mg/L, του στροντίου (Sr) 0,05 mg/L, του χαλκού (Cu) 2,90 mg/L και του ψευδαργύρου (Zn) 15,36 $\mu\text{g}/\text{L}$.

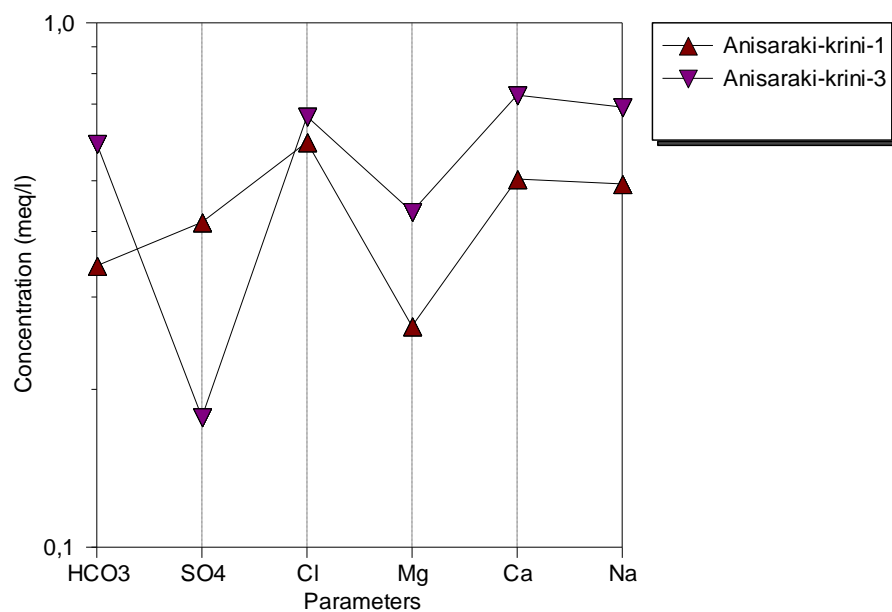
Κατά τη δεύτερη δειγματοληψία στις 20/6/2020 παρατηρείται ότι είναι τύπου Ca-Na-Mg-Cl- HCO_3 με pH ίσο με 6,5 και θερμοκρασία 28,6°C. Έχει TDS ίσο με 80 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 170 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 1,9 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 14,59 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 5,30 mg/L, του νατρίου (Na) 15,88 mg/L, του καλίου (K) 3,72 mg/L, του χλωρίου (Cl) 23,50 mg/L, των θειικών (SO_4) 8,50 mg/L, των ανθρακικών (HCO_3) 35,92 mg/L και του φθορίου (F) 0,11 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO_3) 0,62 mg/L, του βορίου (B) 0,01 mg/L, του βαρίου (Ba) 0,003 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0,00004 mg/L, του μολυβδαίνιου (Mo) 1,84 mg/L, του πυριτίου (Si) 6,70 mg/L, του στροντίου (Sr) 0,06 mg/L, του χαλκού (Cu) 4,29 mg/L και του ψευδαργύρου (Zn) 14,78 $\mu\text{g}/\text{L}$.

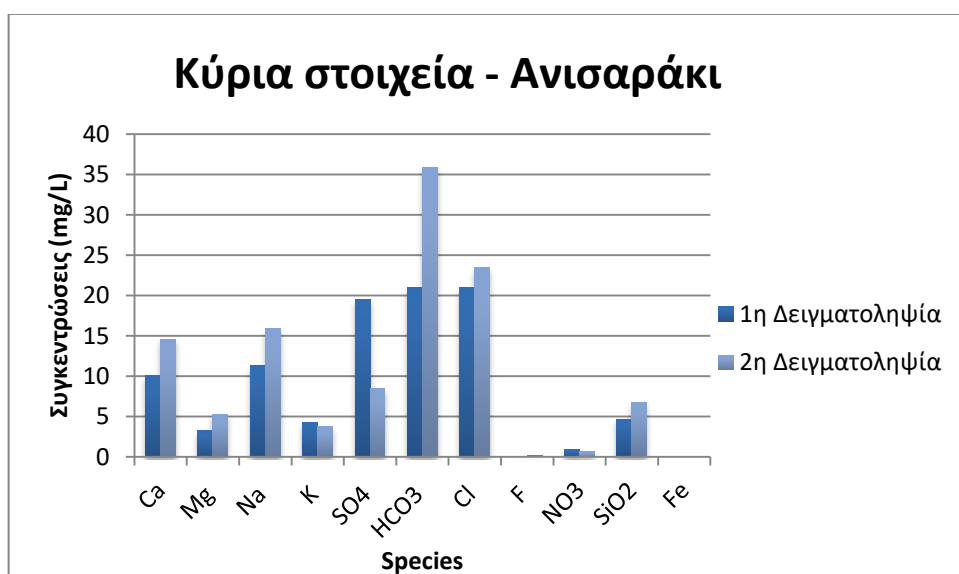
Λαμβάνοντας υπόψη την πολύ μικρή περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα νατρίου και χλωρίου και το λόγο $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Cl})=0,45$ προκύπτει ότι το νερό αυτό έχει μετεωρική προέλευση. Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις σε μαγνήσιο και ασβέστιο ($\text{Mg}/(\text{Ca}+\text{Mg})=0,34$) παρατηρείται ότι το μαγνήσιο έχει πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση σε μαγνήσιο το οποίο σημαίνει ότι το νερό εξαλλοίωσε δολομιτικά πετρώματα. Παρατηρώντας ταυτόχρονα, τη μικρή περιεκτικότητα σε ιόντα ασβεστίου σε σχέση με τις θειικές ρίζες ($\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{SO}_4)=0,65$) συμπεραίνεται ότι η πηγή ασβεστίου δεν προέρχεται από γύψο, ανθρακικά ή πυριτικά άλατα.

Από το διάγραμμα Schoeller για την πηγή Ανισαράκι (Εικόνα 5.19), παρατηρούμε σε όλα τα στοιχεία (HCO_3^- , Mg^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} και Ca^{2+}) υψηλή περιεκτικότητα. Επειδή η γραμμή μετακινείται κάθετα χωρίς να αλλάζει ιδιαίτερα το σχήμα της, προκύπτει το συμπέρασμα ότι πιθανώς υπάρχει ανάμιξη του νερού με το νερό της βροχής, δηλαδή υπάρχει αραίωση ή συμπύκνωση του νερού.

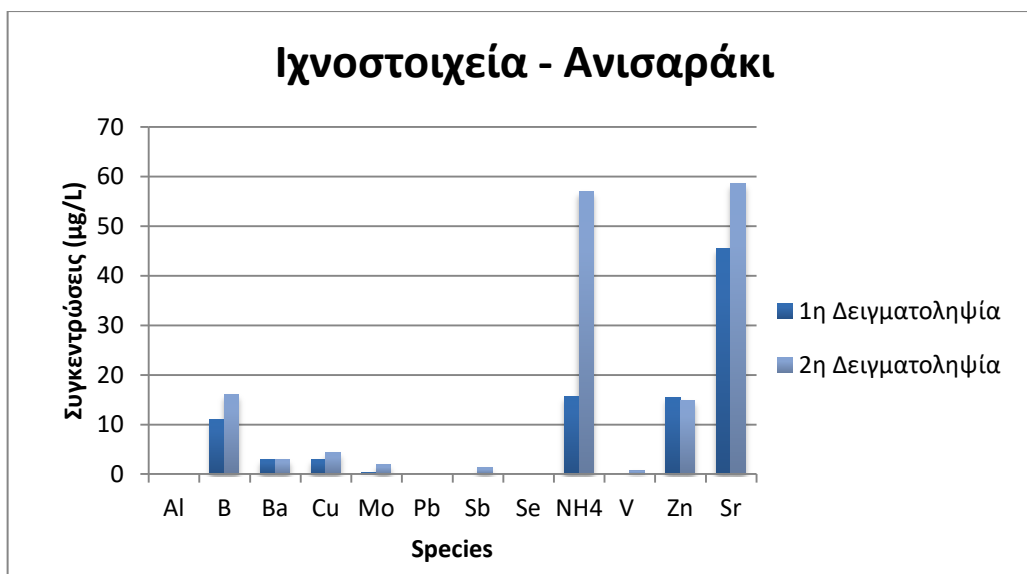


Εικόνα 5.19: Διάγραμμα Schoeller για την πηγή Ανισαράκι.

Σύμφωνα με τους Πίνακες 5.3, Πίνακας 5.4, τις συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων στις πηγές προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 5.20: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την πηγή Ανισαράκι



Εικόνα 5.21: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την πηγή Ανισαράκι

Παρατηρείται αυξημένη περιεκτικότητα σε Cu, Zn, τα ιχνοστοιχεία αυτά αποτελούν ενδεικτικά στοιχεία μεικτών θειούχων. Επίσης, σχετικά αυξημένη εντοπίζεται η αμμωνία (NH₄), η οποία μπορεί να είναι δείκτης βιολογικής ρύπανσης, λυματολάσπη ή ζωικά απόβλητα.

5.3.6 Δείγματα από την πηγή Αρελιό

Το νερό της πηγής Αρελιό κατά την δειγματοληψία στις 14/4/2019 είναι τύπου Na-Mg-Cl-HCO₃ με pH ίσο με 6,6 και θερμοκρασία 14,8°C. Έχει TDS ίσο με 50 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 110 µS/cm. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 1,2 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 1,57 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 2,66 mg/L, του νατρίου (Na) 15,26 mg/L , του καλίου (K) 1,07 mg/L, του χλωρίου (Cl) 8,64 mg/L, των θειικών (SO₄) 8,68 mg/L , των ανθρακικών (HCO₃) 14,29 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 1,41 mg/L, του βορίου (B) 0,005 mg/L, του βαρίου (Ba) 0,002 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0,02 mg/L, του μολυβδαίνιου (Mo) 0,29 mg/L, του πυριτίου (Si) 4,96 mg/L, του στροντίου (Sr) 0,03 mg/L, και του ψευδαργύρου (Zn) 28,77 µg/L.

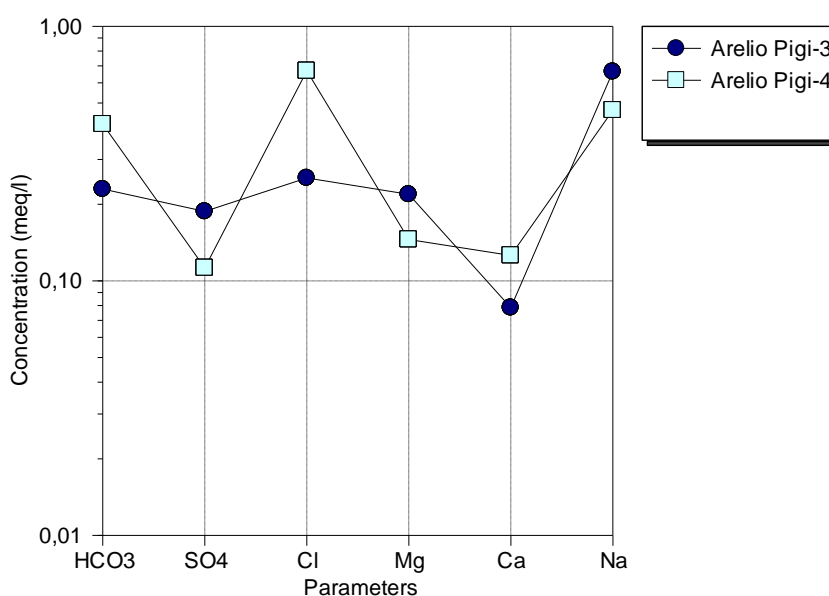
Κατά τη δεύτερη δειγματοληψία στις 18/7/2020 παρατηρείται ότι είναι τύπου Na-Cl-HCO₃-SO₄ με pH ίσο με 6,6 και θερμοκρασία 17,8°C. Έχει TDS ίσο με 60 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 130 µS/cm. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 2,1 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 2,52 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 1,77 mg/L, του νατρίου (Na) 10,76 mg/L , του καλίου (K) 0,39 mg/L, του χλωρίου (Cl) 23,70 mg/L, των θεικών (SO₄) 5,40 mg/L , των ανθρακικών (HCO₃) 25,19 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 1,76 mg/L, του βορίου (B) 0,01 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0,02 mg/L, του μολυβδαίνιου (Mo) 0,29 mg/L, του πυριτίου (Si) 2,31 mg/L και του στροντίου (Sr) 0,02 mg/L.

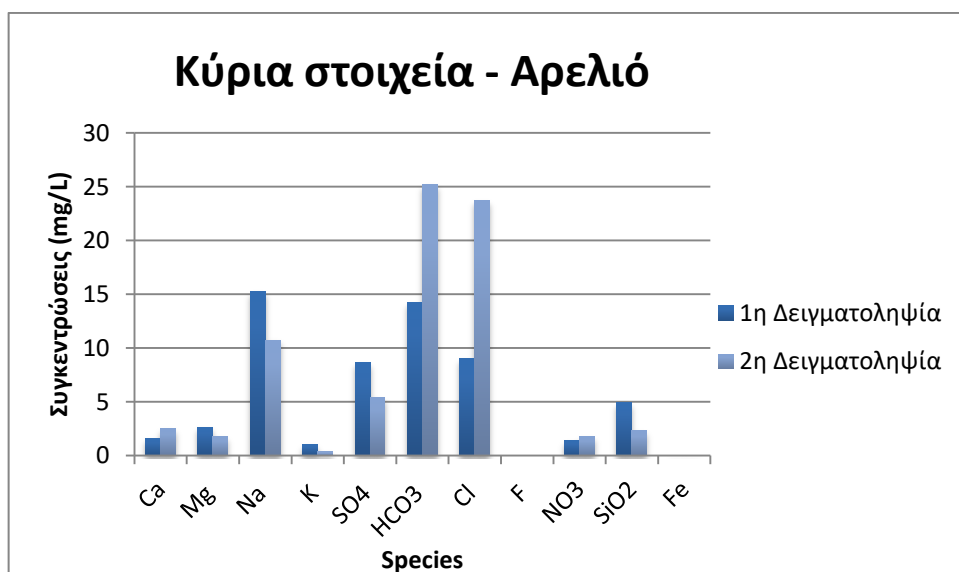
Λαμβάνοντας υπόψη την πολύ μικρή περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα νατρίου και χλωρίου και το λόγο $Na/(Na+Cl)=0,72$ προκύπτει ότι το νερό αυτό έχει μετεωρική προέλευση. Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις σε μαγνήσιο και ασβέστιο ($Mg/(Ca+Mg)=0,64$) παρατηρείται ότι το μαγνήσιο έχει πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση σε μαγνήσιο το οποίο σημαίνει ότι το νερό εξαλλοίωσε δολομιτικά πετρώματα. Παρατηρώντας ταυτόχρονα, τη μικρή περιεκτικότητα σε ιόντα ασβεστίου σε σχέση με τις θεικές ρίζες ($Ca/(Ca+SO_4) =0,4$) συμπεραίνεται ότι πιθανώς υπάρχει απομάκρυνση ασβεστίου καθώς επίσης ανταλλαγή ιόντων ή καθίζηση ασβεστίτη.

Από το διάγραμμα Schoeller για την πηγή Αρέλιο (Εικόνα 5.22), παρατηρούμε υψηλή περιεκτικότητα σε HCO₃³⁻, Na⁺,Cl⁻ ενώ μέτρια συγκέντρωση παρατηρείται σε SO₄²⁻, Mg²⁺ και Ca²⁺. Επειδή η γραμμή μετακινείται κάθετα χωρίς να αλλάζει ιδιαίτερα το σχήμα της, προκύπτει το συμπέρασμα ότι πιθανώς υπάρχει ανάμιξη του νερού με το νερό της βροχής, δηλαδή υπάρχει αραίωση ή συμπύκνωση του νερού.

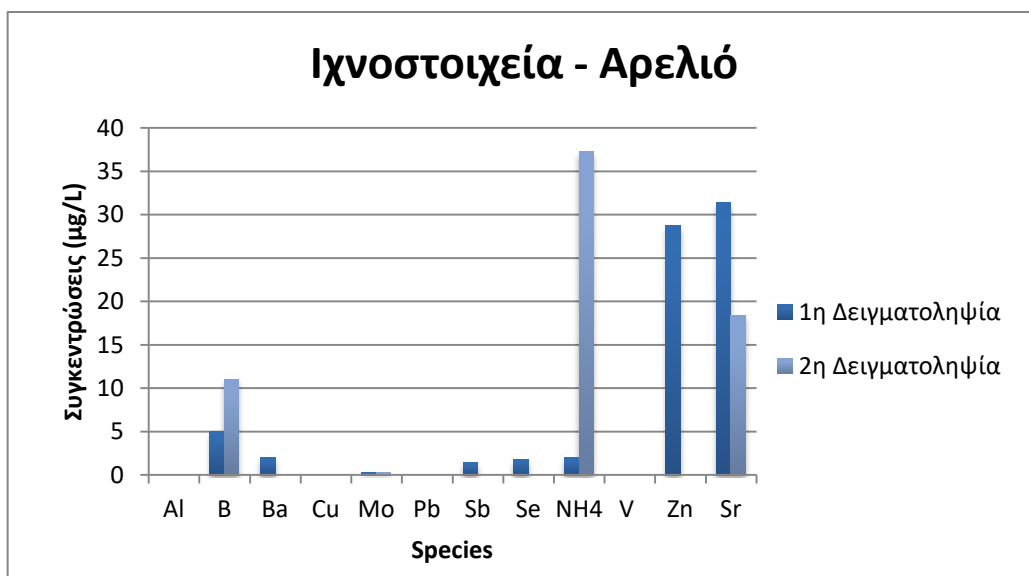


Εικόνα 5.22: Διάγραμμα Schoeller για την πηγή Αρέλιο

Σύμφωνα με τους Πίνακες 5.3, Πίνακας 5.4, τις συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων στις πηγές προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 5.23: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την πηγή Αρελιό



Εικόνα 5.24: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την πηγή Αρελιό

Παρατηρείται αυξημένη περιεκτικότητα σε Zn, Sb και Sr τα ιχνοστοιχεία αυτά αποτελούν ενδεικτικά στοιχεία μεικτών θειούχων. Επίσης, σχετικά αυξημένη εντοπίζεται η αμμωνία (NH₄), η οποία μπορεί να είναι δείκτης βιολογικής ρύπανσης, λυματολάσπη ή ζωικά απόβλητα.

5.3.7 Δείγματα από την κρίνη Μουστάκος

Το νερό από την κρίνη Μουστάκος κατά την δειγματοληψία στις 14/4/2019 είναι τύπου Na-Mg-Cl-SO₄ με pH ίσο με 6 και θερμοκρασία 14,8°C. Έχει TDS ίσο με 50 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 120 μS/cm.

Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 0,7 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 2,12 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 3,78 mg/L, του νατρίου (Na) 16,97 mg/L, του καλίου (K) 0,60 mg/L, του χλωρίου (Cl) 33,66 mg/L, των θειικών (SO₄) 23,96 mg/L, των ανθρακικών (HCO₃) 8,81 mg/L και του φθορίου (F) 0,07 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 0,20 mg/L, του βορίου (B) 0,005 mg/L, του βαρίου (Ba) 0,002 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0,03 mg/L, του μολυβδαίνιου (Mo) 0,25 mg/L, του πυριτίου (Si) 5,22 mg/L, του στροντίου (Sr) 0,03 mg/L, του χαλκού (Cu) 6,42 mg/L και του ψευδαργύρου (Zn) 14,24 μg/L.

Κατά τη δεύτερη δειγματοληψία στις 18/7/2020 παρατηρείται ότι είναι τύπου Na-Cl- SO₄-HCO₃ με pH ίσο με 5,8 και θερμοκρασία 27,2°C. Έχει TDS ίσο με 80 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 170 μS/cm.

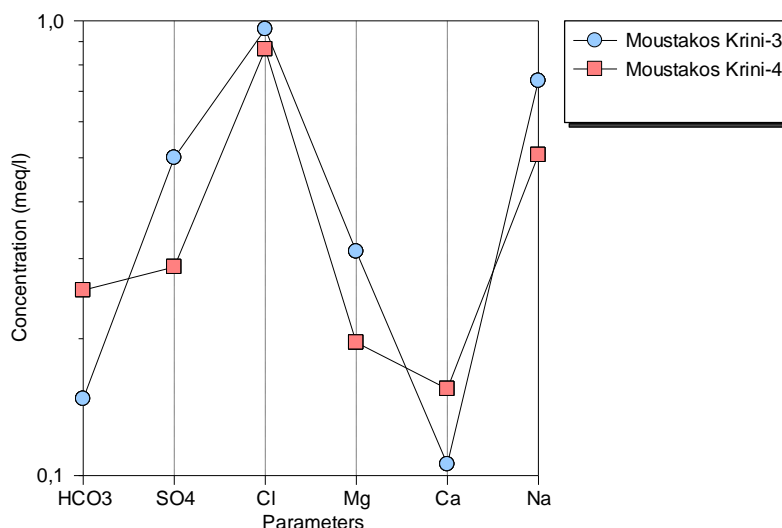
Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 1,3 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 3,11 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 2,38 mg/L, του νατρίου (Na) 11,65 mg/L, του καλίου (K) 0,52 mg/L, του χλωρίου (Cl) 30,7 mg/L, των θειικών (SO₄) 13,80 mg/L, των ανθρακικών (HCO₃) 15,60 mg/L και του φθορίου (F) 0,12 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 0,51 mg/L, του βορίου (B) 0,01 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0,02 mg/L, του μολυβδαίνιου (Mo) 0,30 mg/L, του πυριτίου (Si) 2,50 mg/L, του στροντίου (Sr) 0,02 mg/L, του χαλκού (Cu) 2,82 mg/L και του ψευδαργύρου (Zn) 98,41 μg/L.

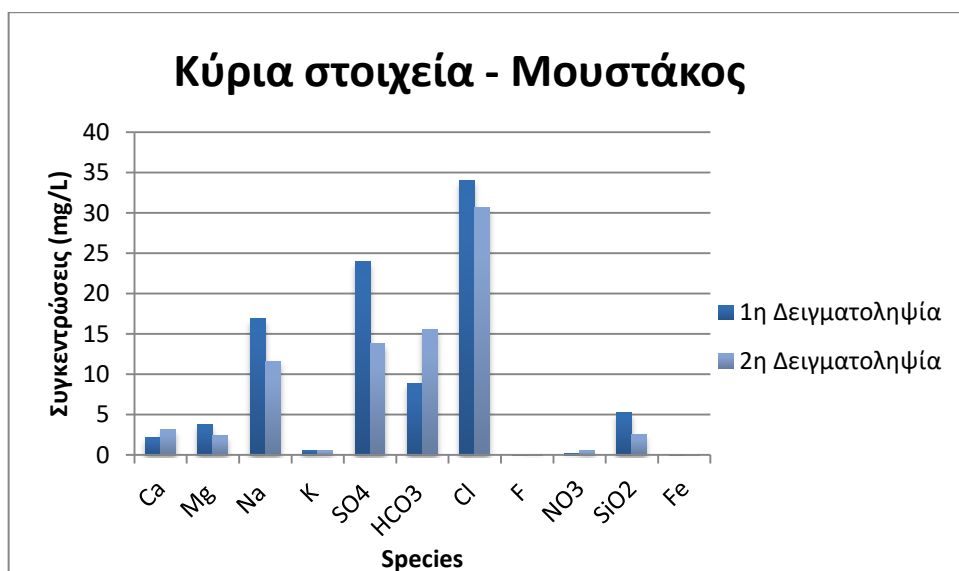
Λαμβάνοντας υπόψη την πολύ μικρή περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα νατρίου και χλωρίου και το λόγο $Na/(Na+Cl)=0,4$ προκύπτει ότι το νερό αυτό έχει μετεωρική προέλευση. Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις σε μαγνήσιο και ασβέστιο ($Mg/(Ca+Mg)=0,6$) παρατηρείται ότι το μαγνήσιο έχει πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση σε μαγνήσιο το οποίο σημαίνει ότι το νερό εξαλλοίωσε δολομιτικά πετρώματα. Παρατηρώντας ταυτόχρονα, τη μικρή περιεκτικότητα σε ιόντα ασβεστίου σε σχέση με τις θεικές ρίζες ($Ca/(Ca+SO_4)=0,25$) συμπεραίνεται ότι πιθανώς υπάρχει απομάκρυνση ασβεστίου καθώς επίσης ανταλλαγή ιόντων ή καθίζηση ασβεστίτη.

Από το διάγραμμα Schoeller για την κρίνη Μουστάκος (Εικόνα 5.25), παρατηρούμε υψηλή συγκέντρωση σε Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , ενώ μέτρια συγκέντρωση παρατηρείται σε Mg^{2+} , HCO_3^- και Ca^{2+} . Επειδή η γραμμή μετακινείται κάθετα χωρίς να αλλάζει ιδιαίτερα το σχήμα της, προκύπτει το συμπέρασμα ότι πιθανώς υπάρχει ανάμιξη του νερού με το νερό της βροχής, δηλαδή υπάρχει αραίωση ή συμπύκνωση του νερού.

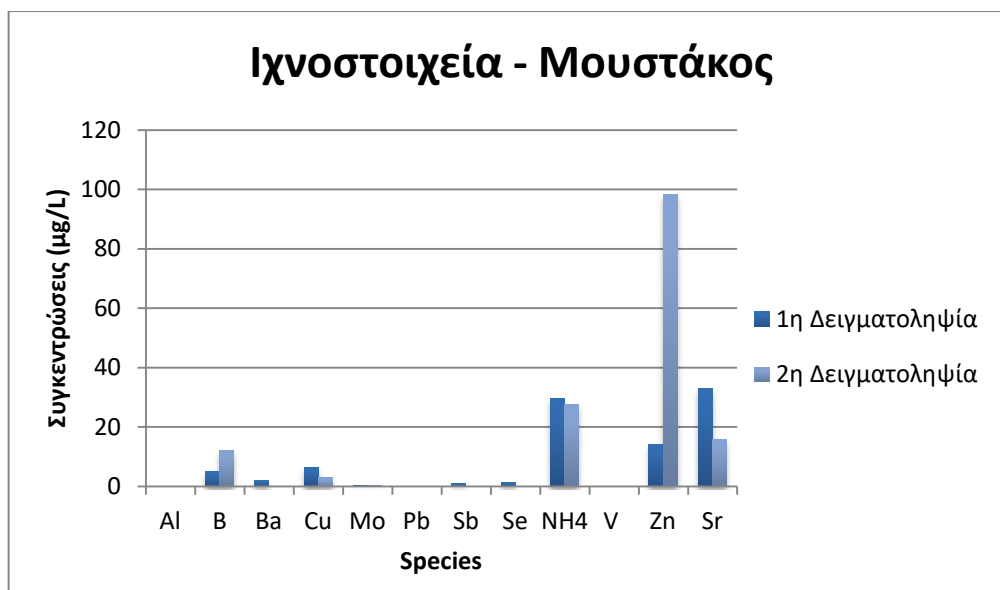


Εικόνα 5.25: Διάγραμμα Schoeller για την κρίνη Μουστάκος

Σύμφωνα με τους Πίνακες 5.3, Πίνακας 5.4, τις συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων στις πηγές προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 5.26: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την κρίνη Μουστάκος



Εικόνα 5.27: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την κρίνη Μουστάκος

Παρατηρείται αυξημένη περιεκτικότητα σε Zn και Sr τα ιχνοστοιχεία αυτά αποτελούν ενδεικτικά στοιχεία μεικτών θειούχων. Επίσης, σχετικά αυξημένη εντοπίζεται η αμμωνία (NH₄), η οποία μπορεί να είναι δείκτης βιολογικής ρύπανσης, λυματολάσπη ή ζωικά απόβλητα.

5.3.8 Δείγματα από την πηγή Μουστάκος-Μαραγιανά

Το νερό από την πηγή Μουστάκος-Μαραγιανά κατά την δειγματοληψία στις 14/4/2019 είναι τύπου Na-Cl με pH ίσο με 5,9 και θερμοκρασία 15°C. Έχει TDS ίσο με 40 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 100 µS/cm. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 0,7 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 1,41 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 2,78 mg/L, του νατρίου (Na) 17,02 mg/L, του καλίου (K) 1,01mg/L, του χλωρίου (Cl) 33,28 mg/L, των θειικών (SO₄) 8,44 mg/L, των ανθρακικών (HCO₃) 8,94 mg/L και του φθορίου (F) 0,07 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 0,29 mg/L, του βορίου (B) 0,004 mg/L, του βαρίου (Ba) 0,003 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0,07 mg/L, του μολυβδαίνιου (Mo) 0,23 mg/L, του πυριτίου (Si) 4,68 mg/L, του στροντίου (Sr) 0,03 mg/L, του χαλκού (Cu) 1,91 mg/L και του ψευδαργύρου (Zn) 0,55 µg/L.

Κατά τη δεύτερη δειγματοληψία στις 18/7/2020 παρατηρείται ότι είναι τύπου Na-Cl-HCO₃ με pH ίσο με 6 και θερμοκρασία 30°C. Έχει TDS ίσο με 80 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 160 µS/cm.

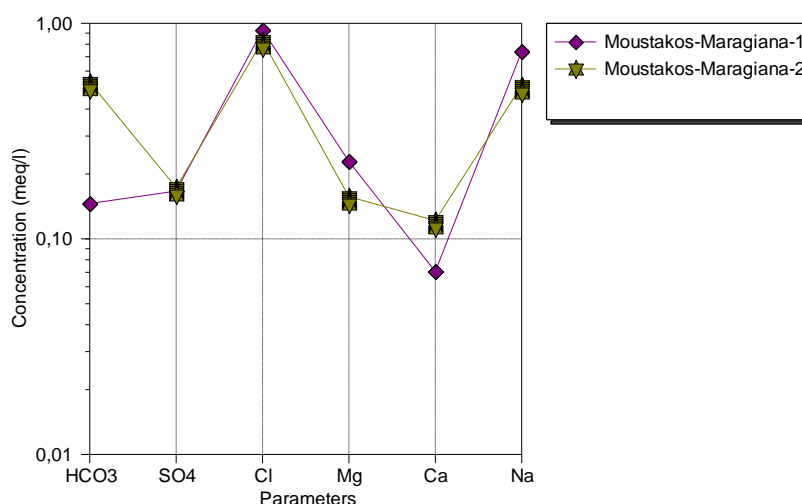
Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 2,7 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 2,44 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 1,91 mg/L, του νατρίου (Na) 11,82 mg/L, του καλίου (K) 3,15 mg/L, του χλωρίου (Cl) 29,5 mg/L, των θειικών (SO₄) 8,30 mg/L, των ανθρακικών (HCO₃) 32,5 mg/L και του φθορίου (F) 0,09 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 0,52 mg/L, του βορίου (B) 0,01 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0,01 mg/L, του μολυβδαίνιου (Mo) 0,28 mg/L, του πυριτίου (Si) 2,52 mg/L, του στροντίου (Sr) 0,02 mg/L και του ψευδαργύρου (Zn) 1,99 μg/L.

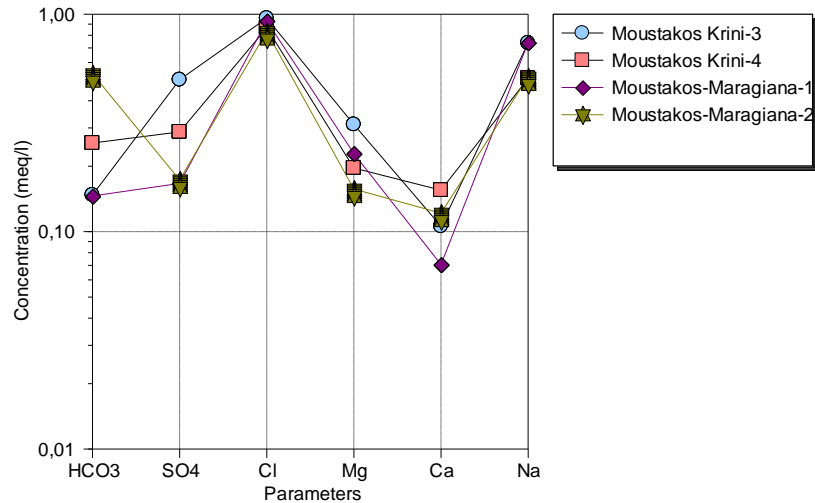
Λαμβάνοντας υπόψη την πολύ μικρή περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα νατρίου και χλωρίου και το λόγο $Na/(Na+Cl)=0,42$ προκύπτει ότι το νερό αυτό έχει μετεωρική προέλευση. Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις σε μαγνήσιο και ασβέστιο ($Mg/(Ca+Mg)=0,66$) παρατηρείται ότι το μαγνήσιο έχει πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση σε μαγνήσιο το οποίο σημαίνει ότι το νερό εξαλλοίωσε δολομικά πετρώματα. Παρατηρώντας ταυτόχρονα, τη μικρή περιεκτικότητα σε ιόντα ασβεστίου σε σχέση με τις θειικές ρίζες ($Ca/(Ca+SO_4)=0,35$) συμπεραίνεται ότι πιθανώς υπάρχει απομάκρυνση ασβεστίου καθώς επίσης ανταλλαγή ιόντων ή καθίζηση ασβεστίτη.

Από το διάγραμμα Schoeller για την πηγή Μουστάκος-Μαραγιανά (Εικόνα 5.28), παρατηρούμε υψηλή συγκέντρωση σε HCO₃⁻, Na⁺, SO₄²⁻, Cl⁻, ενώ μέτρια συγκέντρωση παρατηρείται σε Mg²⁺, και Ca²⁺. Επειδή η γραμμή μετακινείται κάθετα χωρίς να αλλάζει ιδιαίτερα το σχήμα της, προκύπτει το συμπέρασμα ότι πιθανώς υπάρχει ανάμιξη του νερού με το νερό της βροχής, δηλαδή υπάρχει αραίωση ή συμπύκνωση του νερού.



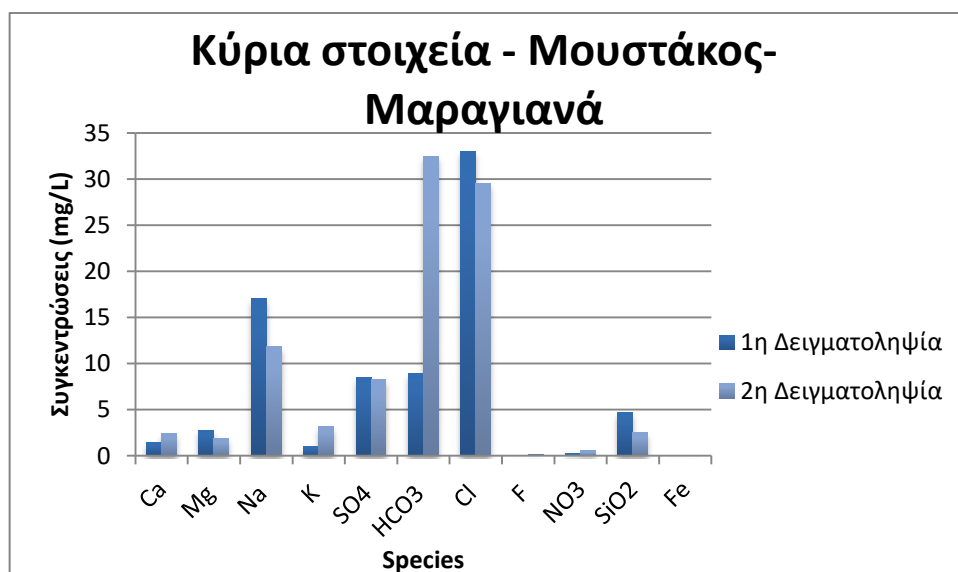
Εικόνα 5.28: Διάγραμμα Schoeller για την πηγή Μουστάκος-Μαραγιανά

Για λόγους σύγκρισης στο διάγραμμα Schoeller της Εικόνα 5.29 παρατίθενται τα δεδομένα των δυο πηγών (Μουστάκος και Μουστάκος-Μαραγιαννά) και για τις δυο δειγματοληψίες.

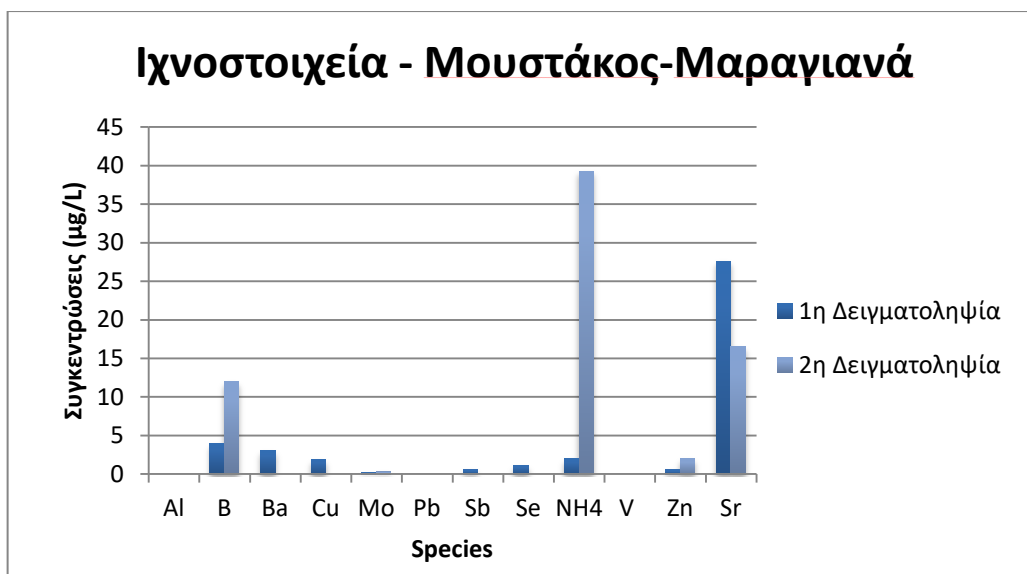


Εικόνα 5.29: Διάγραμμα Schoeller για την πηγή Μουστάκος-Μαραγιανά και την κρήνη Μουστάκος

Σύμφωνα με τους Πίνακες 5.3, Πίνακας 5.4, τις συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων στις πηγές προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 5.30: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την πηγή Μουστάκος-Μαραγιανά



Εικόνα 5.31: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την πηγή Μουστάκος-Μαραγιανά

Παρατηρείται αυξημένη περιεκτικότητα σε Cu, Zn και Sr τα ιχνοστοιχεία αυτά αποτελούν ενδεικτικά στοιχεία μεικτών θειούχων. Επίσης, σχετικά αυξημένη εντοπίζεται η αμμωνία (NH₄), η οποία μπορεί να είναι δείκτης βιολογικής ρύπανσης, λυματολάσπη ή ζωικά απόβλητα.

5.4 Δείγματα από πηγές του νομού Ρεθύμνης

5.4.1 Δείγματα από την πηγή Αρολίθι

Το νερό της πηγής Αρολίθι κατά την δειγματοληψία στις 27/2/2018 είναι τύπου Mg-Na-Ca-Cl-HCO₃ με pH ίσο με 7 και θερμοκρασία 14,3°C. Έχει TDS ίσο με 60 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 120 µS/cm. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 1,7 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 5,46 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 4,44 mg/L, του νατρίου (Na) 8,24 mg/L, του καλίου (K) 0,85 mg/L, του χλωρίου (Cl) 23,1 mg/L, των θειικών (SO₄) 8,68 mg/L και των ανθρακικών (HCO₃) 20,58 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση του βορίου (B) 0,012 mg/L, του βαρίου (Ba) 0,008 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0,04 mg/L, του πυριτίου (Si) 6,97 mg/L, του στρόντιου (Sr) 0,04 mg/L, του χαλκού (Cu) 1,38 mg/L και του ψευδαργύρου (Zn) 12,37 µg/L.

Κατά τη δεύτερη δειγματοληψία στις 8/9/2018 παρατηρείται ότι είναι τύπου Na-Mg-SO₄-Cl-HCO₃ με pH ίσο με 6 και θερμοκρασία 17,6°C. Έχει TDS ίσο με 103 mg/L και ηλεκτρική

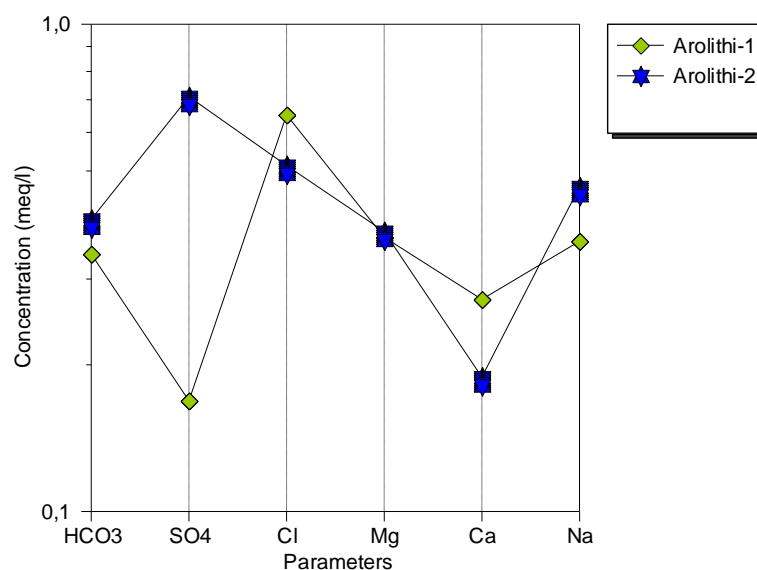
αγωγιμότητα ίση με 243 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 1,9 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 3,78 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 4,56 mg/L, του νατρίου (Na) 10,66 mg/L , του καλίου (K) 0,24 mg/L, του χλωρίου (Cl) 18,2 mg/L, των θειικών (SO_4) 34,09 mg/L και των ανθρακικών (HCO_3) 24,26 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO_3) 0,44 mg/L, του βορίου (B) 0,007 mg/L, του βαρίου (Ba) 0,012 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0,34 mg/L, του πυριτίου (Si) 7,40 mg/L, του στροντίου (Sr) 0,03 mg/L, του χαλκού (Cu) 2,03 mg/L, του ουρανίου (U) 0,20 $\mu\text{g}/\text{L}$ και του ψευδαργύρου (Zn) 57,18 $\mu\text{g}/\text{L}$.

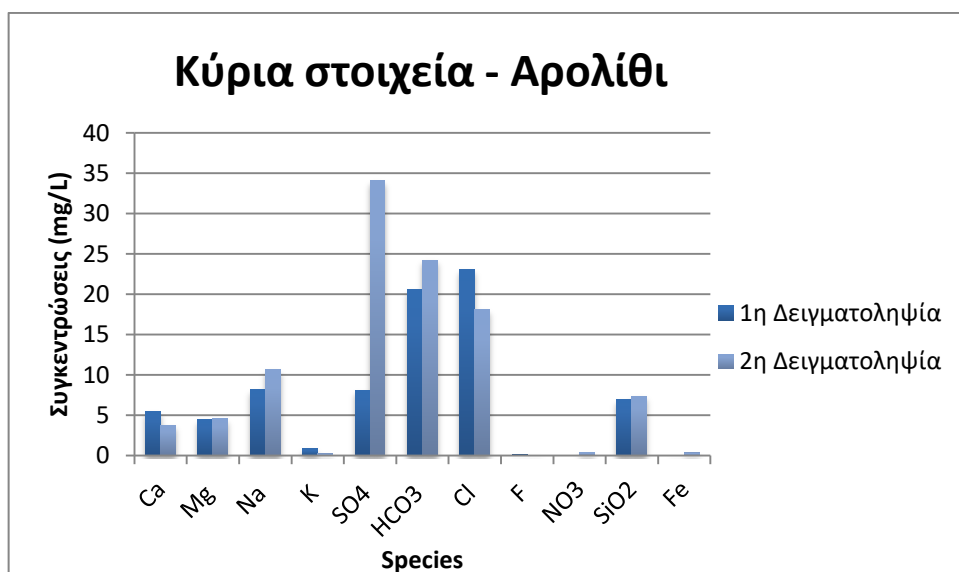
Λαμβάνοντας υπόψη την πολύ μικρή περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα νατρίου και χλωρίου και το λόγο $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Cl})=0,4$ προκύπτει ότι το νερό αυτό έχει μετεωρική προέλευση. Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις σε μαγνήσιο και ασβέστιο ($\text{Mg}/(\text{Ca}+\text{Mg})=0,6$) παρατηρείται ότι το μαγνήσιο έχει πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση σε μαγνήσιο το οποίο σημαίνει ότι το νερό εξαλλοίωσε δολομιτικά πετρώματα. Παρατηρώντας ταυτόχρονα, τη μικρή περιεκτικότητα σε ιόντα ασβεστίου σε σχέση με τις θεικές ρίζες ($\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{SO}_4) =0,62$) συμπεραίνεται ότι η πηγή ασβεστίου δεν προέρχεται από γύψο, ανθρακικά ή πυριτικά άλατα.

Από το διάγραμμα Schoeller για την πηγή Αρολίθι (Εικόνα 5.32), παρατηρούμε υψηλή περιεκτικότητα σε SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+} ενώ μέτρια συγκέντρωση παρατηρείται σε HCO_3^- , Na^+ , και Ca^{2+} . Επειδή η γραμμή μετακινείται κάθετα χωρίς να αλλάζει ιδιαίτερα το σχήμα της, προκύπτει το συμπέρασμα ότι πιθανώς υπάρχει ανάμιξη του νερού με το νερό της βροχής, δηλαδή υπάρχει αραίωση ή συμπύκνωση του νερού.

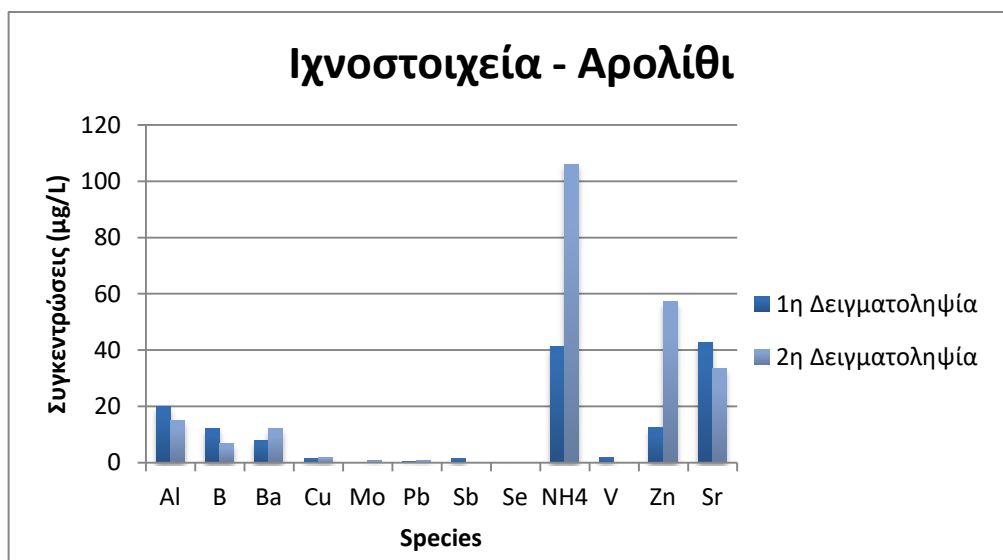


Εικόνα 5.32: Διάγραμμα Schoeller για την πηγή Αρολίθι

Σύμφωνα με τους Πίνακες 5.3, Πίνακας 5.4, τις συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων στις πηγές προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 5.33: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την πηγή Αρολίθι



Εικόνα 5.34: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την πηγή Αρολίθι

Παρατηρείται υψηλό ποσοστό σε HCO₃, Na και Cl. Τα στοιχεία αυτά προέρχονται από τους γειτονικούς εβαπορίτες. Επίσης, σχετικά αυξημένη εντοπίζεται η αμμωνία (NH₄), η οποία μπορεί να είναι δείκτης βιολογικής ρύπανσης, λυματολάσπη ή ζωικά απόβλητα.

5.4.2 Δείγματα από την πηγή Καπεδιανά

Το νερό της πηγής Καπεδιανά κατά την δειγματοληψία στις 19/9/2017 είναι τύπου Na-Mg-Cl-HCO₃-SO₄ με pH ίσο με 5,5 και θερμοκρασία 18,2°C. Έχει TDS ίσο με 130 mg/L και

ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 280 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 4,5 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 5,89 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 12,44 mg/L, του νατρίου (Na) 31,49 mg/L, του καλίου (K) 0,81 mg/L, του χλωρίου (Cl) 18,2 mg/L, των θειικών (SO_4) 36,86 mg/L, των ανθρακικών (HCO_3) 55,60 mg/L και του φθορίου (F) 0,08 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO_3) 0,095 mg/L, του βορίου (B) 0,0014 mg/L, του σιδήρου (Fe) 7,98 mg/L, του πυριτίου (Si) 6,23 mg/L, του στροντίου (Sr) 0,02 mg/L και του ψευδαργύρου (Zn) 6,63 $\mu\text{g}/\text{L}$.

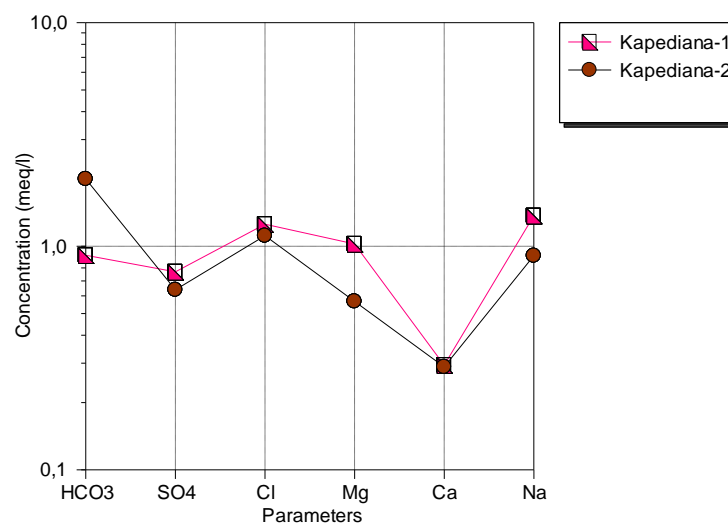
Κατά τη δεύτερη δειγματοληψία στις 7/9/2018 παρατηρείται ότι είναι τύπου Na-Mg- HCO_3 -Cl- SO_4 με pH ίσο με 5,8 και θερμοκρασία 18,1°C. Έχει TDS ίσο με 155 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 339 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 10 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 5,78 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 6,89 mg/L, του νατρίου (Na) 20,86 mg/L, του καλίου (K) 0,83 mg/L, του χλωρίου (Cl) 39,5 mg/L, των θειικών (SO_4) 30,65 mg/L, των ανθρακικών (HCO_3) 121,99 mg/L και του φθορίου (F) 0,16 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO_3) 0,17 mg/L, του βορίου (B) 0,011 mg/L, του βαρίου (Ba) 0,006 mg/L, του σιδήρου (Fe) 3,11 mg/L, του πυριτίου (Si) 6,29 mg/L, του στροντίου (Sr) 0,02 mg/L, του χαλκού (Cu) 1,78 mg/L, του ουρανίου (U) 0,1 $\mu\text{g}/\text{L}$ και του ψευδαργύρου (Zn) 598,2 $\mu\text{g}/\text{L}$.

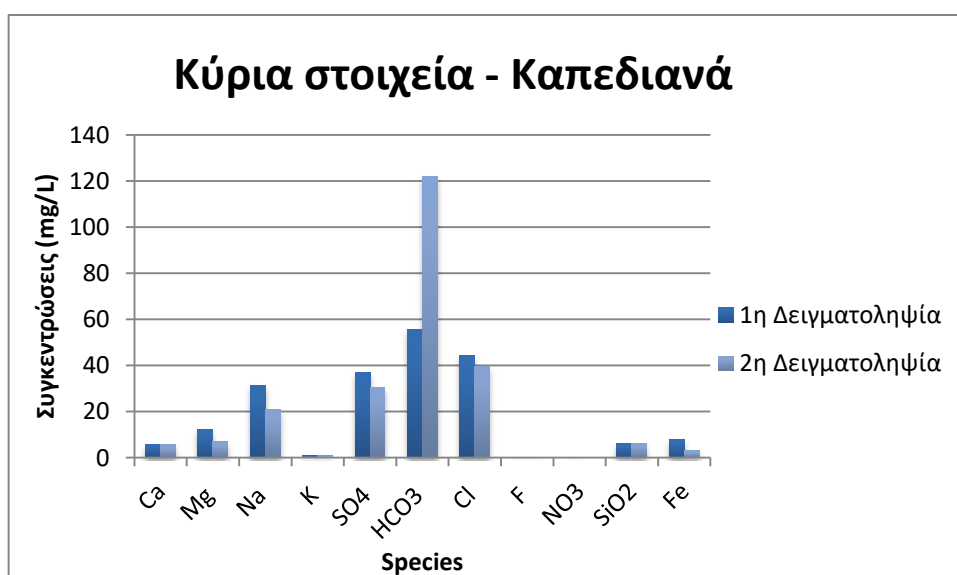
Λαμβάνοντας υπόψη την πολύ μικρή περιεκτικότητα του νερού σε ιόντα νατρίου και χλωρίου και το λόγο $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Cl})=0,5$ προκύπτει ότι το νερό αυτό έχει μετεωρική προέλευση. Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις σε μαγνήσιο και ασβέστιο ($\text{Mg}/(\text{Ca}+\text{Mg})=0,7$) παρατηρείται ότι το μαγνήσιο έχει πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση σε μαγνήσιο το οποίο σημαίνει ότι το νερό εξαλλοίωσε δολομιτικά πετρώματα. Παρατηρώντας ταυτόχρονα, τη μικρή περιεκτικότητα σε ιόντα ασβεστίου σε σχέση με τις θεικές ρίζες ($\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{SO}_4) =0,3$) συμπεραίνεται ότι πιθανώς υπάρχει απομάκρυνση ασβεστίου καθώς επίσης ανταλλαγή ιόντων ή καθίζηση ασβεστίτη.

Από το διάγραμμα Schoeller για την πηγή Καπεδιανά (Εικόνα 5.35), παρατηρούμε χαμηλή περιεκτικότητα σε Ca^{2+} , ενώ μέτρια συγκέντρωση παρατηρείται σε Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , Na^+ . Επειδή η γραμμή μετακινείται κάθετα χωρίς να αλλάζει ιδιαίτερα το σχήμα της, προκύπτει το συμπέρασμα ότι πιθανώς υπάρχει ανάμιξη του νερού με το νερό της βροχής, δηλαδή υπάρχει αραίωση ή συμπύκνωση του νερού.

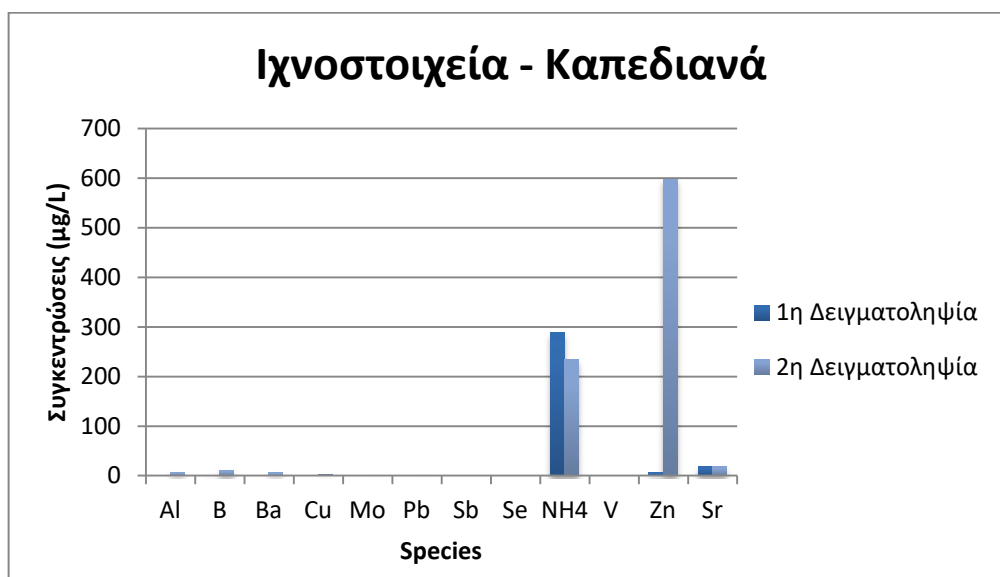


Εικόνα 5.35: Διάγραμμα Schoeller για την πηγή Καπεδιανά

Σύμφωνα με τους Πίνακες 5.3, Πίνακας 5.4, τις συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων στις πηγές προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 5.36: Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων για την πηγή



Εικόνα 5.37: Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων για την πηγή Καπεδιανά

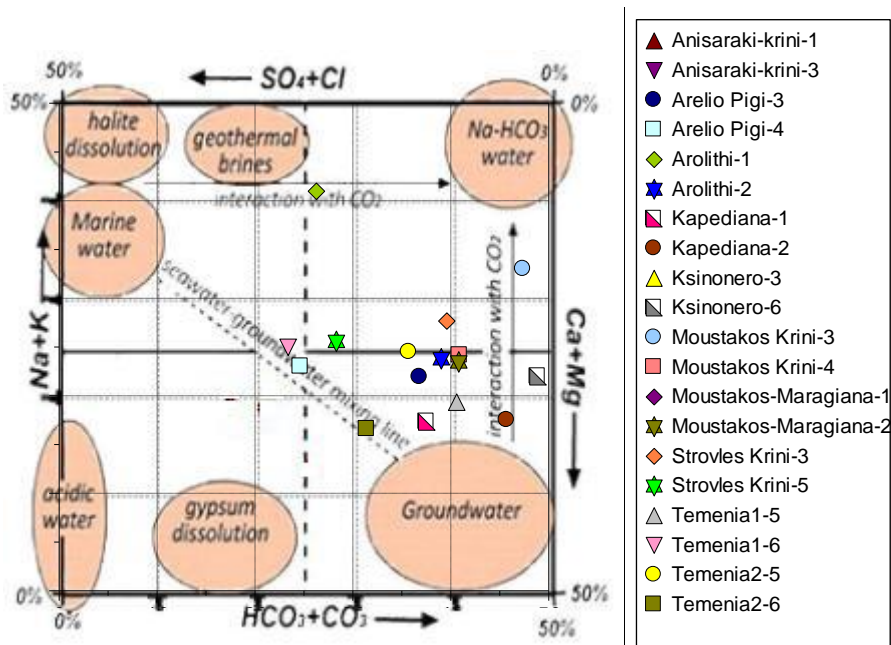
Παρατηρείται υψηλό ποσοστό σε HCO_3 , Na και Cl. Τα στοιχεία αυτά προέρχονται από τους γειτονικούς εβαπορίτες. Επίσης, σχετικά αυξημένη εντοπίζεται η αμμωνία (NH_4), η οποία μπορεί να είναι δείκτης βιολογικής ρύπανσης, λυματολάσπη ή ζωικά απόβλητα.

Παρατηρείται ότι ο τύπος του νερού διαφοροποιείται κατά τις διαφορετικές εποχές δειγματοληψίας. Επίσης, όλες οι πηγές έχουν χαμηλές τιμές ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) που επιτρέπουν τον χαρακτηρισμό ως ολιγομεταλλικά (TDS από 40 έως 155 mg/L), εξαίρεση αποτελεί η πηγή Ξινόνερο με TDS από 190 έως 550 mg/L.

5.4.3 Υδροχημικά διάγραμματα.



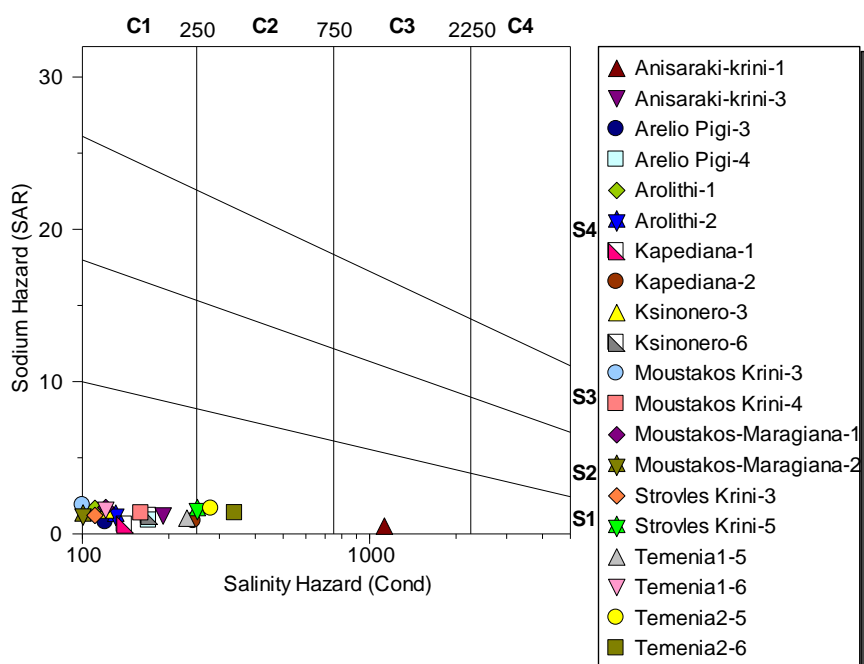
Εικόνα 5.38) η πηγή Αρέλιο κατά την πρώτη δειγματοληψία, τα νερά της τείνουν προς τη ζώνη διαλυτοποίησης γύψου, ενώ τα νερά των πηγών Τεμένια1 κατά την πρώτη δειγματοληψία, Τεμένια2 κατά την δεύτερη δειγματοληψία, και Ανισαράκι κατά τη δεύτερη δειγματοληψία βρίσκονται στην περιοχή ανάμιξης υπόγειου και θαλασσινού νερού. Τέλος, τα νερά όλων των υπόλοιπων πηγών τείνουν στη περιοχή αλληλεπίδρασης με το CO₂.



Εικόνα 5.38: Διάγραμμα Ludwig-Langelier με ζώνες κατηγοριοποίησης νερών

Το διάγραμμα Wilcox χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού σε σχέση με τη φύση και τις ιδιότητες των καλλιεργούμενων εδαφών. Χρησιμοποιεί το

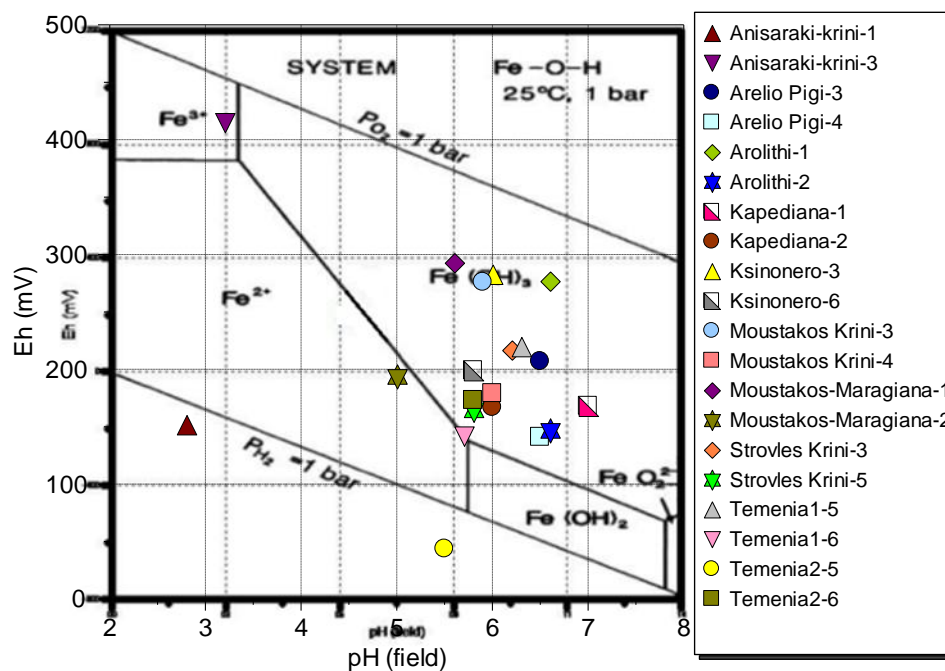
δείκτη S.A.R. και την ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C. Σύμφωνα με το διάγραμμα αυτό (Εικόνα 5.39) τα νερά των περισσότερων πηγών βρίσκονται στην κατηγορία C1-S1, επομένως έχουν καλή ποιότητα, ενώ τα νερά της πηγής Τεμένια-2 βρίσκονται στην κατηγορία C2-S1, και χαρακτηρίζονται από καλή έως μέτρια ποιότητα. Τα νερά της πηγής Ανισαράκι κατά την πρώτη δειγματοληψία βρίσκονται στην κατηγορία C3-S1 και χαρακτηρίζονται από μέτρια ποιότητα έως πολύ μέτρια ποιότητα.



Εικόνα 5.39: Διάγραμμα Wilcox

Σύμφωνα με το διάγραμμα Eh-pH (

Εικόνα 5.40) τα νερά όλων των πηγών ανήκουν στη ζώνη ισορροπίας. Εξαίρεση αποτελούν τα νερά της πηγής Ανισαράκι κατά την δεύτερη δειγματοληψία στη ζώνη του τρισθενή σιδήρου ενώ κατά την πρώτη δειγματοληψία βρίσκεται κάτω από τη γραμμή αναγωγής, όπως και το νερό της πηγής Τεμένια-2 κατά την πρώτη δειγματοληψία.



Εικόνα 5.40: Διάγραμμα Eh-pH

5.5 Ιοντικοί Λόγοι

Στα υδατικά οικοσυστήματα, αναπτύσσονται συσχετίσεις μεταξύ των ιόντων των υπογείων νερών (Βουδούρης, 2009).

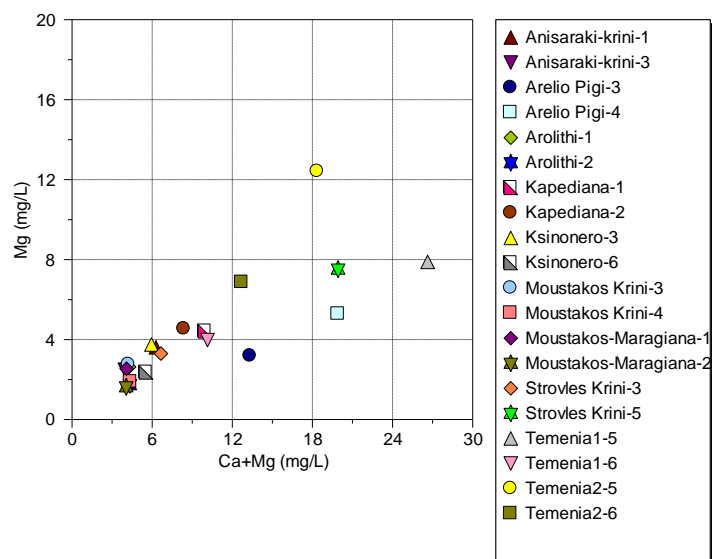
Ως ιοντικοί λόγοι θεωρούνται οι λόγοι X / Ψ , όπου X και Ψ είναι οι συγκεντρώσεις ή το άθροισμα των συγκεντρώσεων δύο ή περισσότερων ιόντων στα υπόγεια νερά εκφρασμένες σε meq/L. Οι ιοντικοί λόγοι είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι για τη σύγκριση της χημικής σύστασης των υπόγειων νερών, την εκτίμηση της προέλευσης τους και τη διερεύνηση των διεργασιών που συμβαίνουν κατά την κίνηση των νερών στον υδροφόρο. (Βουτσά, 1993).

Πίνακας 5.5: Τιμές των ιοντικών λόγων στα νερά των υπό μελέτη πηγών.

ΠΗΓΕΣ	Mg/Ca	Na/Cl	Na/K	Ca+Mg/Na+K	HCO ₃ /Cl	SO ₄ /HCO ₃	SO ₄ /Cl
Ksinonero-3	1,40	0,35	5,03	0,87	0,09	182,46	15,87
Ksinonero-6	1,82	0,66	0,51	0,13	0,0004	12315,66	4,83
Anisaraki-krini-1	0,32	0,53	2,63	0,85	0,99	0,93	0,92
Anisaraki-krini-3	0,36	0,68	4,27	1,02	1,53	0,24	0,36
Arelia Pigi-3	1,69	1,77	14,25	0,26	1,65	0,61	1,01
Arelia Pigi-4	0,70	0,45	27,46	0,38	1,06	0,21	0,23
Arolithi-1	0,81	0,36	9,69	1,09	0,89	0,40	0,35
Arolithi-2	1,21	0,59	44,88	0,77	1,33	1,40	1,87
Kapediana-1	2,11	0,71	38,88	0,57	1,25	0,66	0,83
Kapediana-2	1,19	0,53	25,02	0,58	3,09	0,25	0,78
Moustakos Krini-3	1,78	0,50	28,41	0,34	0,26	2,72	0,71
Moustakos Krini-4	0,77	0,38	22,37	0,45	0,51	0,88	0,45

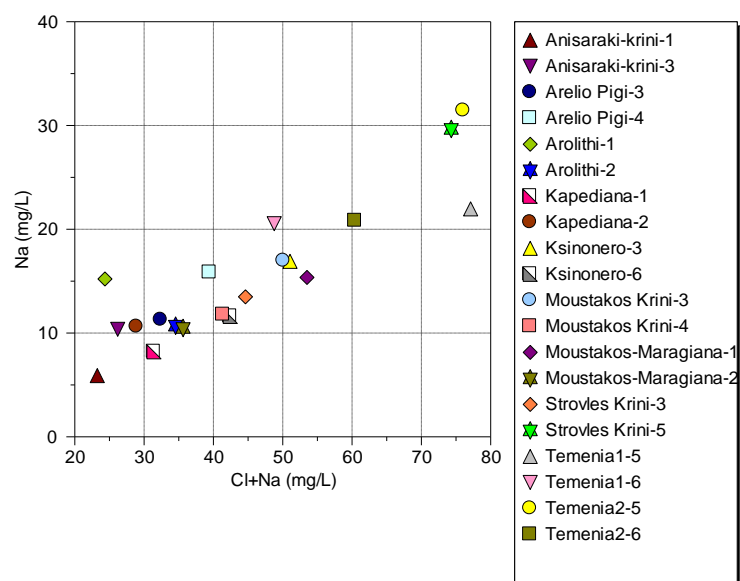
Moustakos-Maragiana-1	1,97	0,51	16,80	0,23	0,27	0,94	0,25
Moustakos-Maragiana-2	0,78	0,40	3,75	0,29	1,10	0,26	0,28
Strovles Krini-3	1,75	0,41	21,38	0,25	0,32	1,15	0,37
Strovles Krini-5	0,71	0,42	10,40	0,35	0,98	0,26	0,26
Temenia1-5	1,01	0,43	6,47	0,42	0,57	0,09	0,05
Temenia1-6	0,61	0,67	28,45	0,65	1,21	0,18	0,21
Temenia2-5	0,42	0,40	16,35	1,14	0,46	0,98	0,45
Temenia2-6	0,66	0,73	46,19	0,48	1,32	0,07	0,09

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα οι τιμές του λόγου Mg/Ca κυμαίνεται από 0,32-2,11, επομένως τα νερά των πηγών χαρακτηρίζονται ως γλυκά (0,2-1,5).



Εικόνα 5.41: Διάγραμμα Διασποράς Mg/(Ca+Mg)

Οι τιμές του λόγου Na/Cl είναι μικρότερες της μονάδας (<1), μια πιθανή εξήγηση αυτού είναι το αποτέλεσμα της ιοντο-ανταλλαγής Na στο έδαφος και τις αργίλους. Εξαίρεση αποτελεί η πηγή Αρέλιο κατά την πρώτη δειγματοληψία, αυτό υποδηλώνει ότι το μετεωρικό NaCl δεν είναι μόνο η κύρια πηγή προέλευσης νατρίου και πιθανά συνδέεται με την αποσάθρωση Na-αστρίων.



Εικόνα 5.42: Διάγραμμα διασποράς $Na/(Cl+Na)$

Ο λόγος Na/K σε περιοχές εμπλουτισμού παίρνει τιμές 15-25 (Καπεδιανά-2, Μουστάκος-Μαραγιανά-1, Στροβλές-1 και Τεμένια2-5), ενώ σε περιοχές εκφόρτισης 45-70 (Τεμένια2-6).

Με βάση τις τιμές του λόγου $(Ca+Mg)/(Na+K)$ όλες οι πηγές ανήκουν σε περιοχές εκφόρτισης εκτός τις πηγές Ανισαράκι κρίνη-3, Αρολίθι-1 και Τεμένια2-5.

Σύμφωνα με τις τιμές του λόγου SO_4/Cl τα νερά χαρακτηρίζονται ως χλωροθειούχα (0,2-1).

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Σύμφωνα με το ιστορικό βιβλίο του Ν. Λέκκα (1938) «750 μεταλλικαί πηγαί τις Ελλάδας», οι 101 βρίσκονται στη Κρήτη, οι 38 εκ των οποίων βρίσκονται στο νομό Χανίων και οι 15 στο νομό Ρεθύμνης. Λόγω διάφορων οικονομικό-πολιτικών γεγονότων, της ανάπτυξης των υποδομών της υπαίθρου, της αύξησης του τουρισμού και διάφορων άλλων παραγόντων η προσοχή της πολιτείας στράφηκε κυρίως στην παροχή νερού για κάθε χωριό του νησιού καθώς και στις τουριστικές υποδομές. Έτσι, λοιπόν οι πηγές αυτές και τα οφέλη από τη χρήση του νερού τους, πέρασαν στη λήθη.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μελετήθηκαν 8 πηγές του νομού Χανίων, δυο από τις οποίες (Τεμένια, Αρελιό, Μουστάκος) αναφέρονται και από τον Λέκκα (1938). Επίσης, μελετήθηκαν δυο πηγές του νομού Ρεθύμνης, από τις οποίες η πηγή Καπεδιανά αναφέρεται από τον Λέκκα (1938).

Σύμφωνα με τον Λέκκα (1938) ο οποίος αναφέρεται στις πηγές Τεμένια, Αρελιό, Μουστάκος και Καπεδιανά αντίστοιχα, *εις το Μέσα Χωριό (Λιμπιναρέ), υπάρχει πηγή ιαματική πόσιμος, διουρητική. Ύδατα σιδηρούχα, εις πολλά σημεία. Το σπουδαιότερον είναι το εις θέσιν Αρελιό του χωριού Μουστάκου, ρέον εις αρκετήν ποσότητα. Τούτο επί Τουρκοκρατίας το μετέφερον οι μπέηδες εις Χανιά εντός υαλίνων δοχείων προς χρήσιν των. Πλησίον του χωριού Καπεδιανά και της κοινότητος Χρωμαναστηρίου αναβλύζει πηγή σιδηρούχος, ποσότητος 2 εκ. μ. της οποίας το ύδωρ πίνουν και ποτίζουν τους κήπους.*

Σύμφωνα με επιτόπιες μετρήσεις βρέθηκε ότι η θερμοκρασία όλων των πηγών κυμαίνεται από 14,3°C ως 30°C, ανεξάρτητα από την περίοδο δειγματοληψίας (υγρή-ξηρή). Αξιολογώντας τις πηγές σύμφωνα με τη μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα της περιοχής μελέτης ως ψυχρές για θερμοκρασίες κάτω των 18°C και υπόθερμες για θερμοκρασίες άνω των 18°C. Αναλυτικότερα, τα νερά των πηγών Ξινόνερο, Ανισαράκι-1, Αρελιό, Αρολίθι, Μουστάκος-3, Μουστάκος-Μαραγιαννά-1, Στροβλές, Τεμένια 1-5 και Τεμένια-2 χαρακτηρίζονται ως ψυχρά ενώ τα νερά των πηγών Ανισαράκι-3, Μουστάκος-4, Μουστάκος-Μαραγιαννά-2, Τεμένια 1-6 και Καπεδιανά χαρακτηρίζονται έως υπόθερμα.

Το pH των πηγών κυμαίνεται από όξινο έως βασικό με τιμές από 2,8 ως 7, ανεξάρτητα από την περίοδο δειγματοληψίας (υγρή-ξηρή), οι χαμηλές τιμές εντοπίζονται στην πηγή Ξινόνερο. Ακόμα, οι πηγές περιέχουν ελάχιστα θειικά, 0,01 mg/L έως 121,99 mg/L, καθώς επίσης χαρακτηρίζονται ως ολιγομεταλλικές με εύρος τιμών TDS από 40 mg/L έως 550 mg/L. Οι χαμηλές τιμές των θειικών και των TDS μπορεί να θεωρηθεί ότι οφείλεται στο δυσδιάλυτο χαρακτηριστικό της Φυλλιακής Χαλαζιακής Σειράς.

Έχουν μικρές περιεκτικότητες σε κύρια ανιόντα και κατιόντα. Για παράδειγμα η συγκέντρωση του ασβεστίου (Ca) κυμαίνεται από 1,38-18,67 mg/L, του μαγνησίου (Mg) από 1,66-12,44 mg/L, του νατρίου (Na) μεταξύ 5,96-31,49 mg/L, του φθορίου (F) από τιμές

κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας ως 0,26 mg/L, του καλίου (K) από 0,24-20,46 mg/L, των ανθρακικών (HCO_3) μεταξύ 0,0062-55,6 mg/L, του χλωρίου (Cl) από 15,7-55,33 mg/L, των πυριτικών (SiO_2) από 2,31-6,97 mg/L και των θειικών (SO_4) μεταξύ 1,61-273,04 mg/L.

Όσον αφορά τα ιχνοστοιχεία, σχεδόν όλες οι πηγές περιέχουν NO_3 που κυμαίνεται από 0,16-2,39 mg/L. Επιπλέον, 6 από τις 20 δειγματοληψίες περιέχουν Al που κυμαίνεται από 7,20-1070,0 mg/L. Όλες οι δειγματοληψίες περιέχουν B και Ba εκτός από την πηγή Καπεδιανά-1 που δεν περιέχει Ba, το B κυμαίνεται από 0,0014-0,16 mg/L ενώ το Ba από 0,002-0,014 mg/L. Ακόμα, 14 από τις 20 πηγές περιέχουν Cu που κυμαίνεται από 1,38-116,30 mg/L. Επίσης, Li περιέχουν 11 από τις 20 πηγές που μελετήθηκαν και κυμαίνεται από 0,0002-0,004 mg/L. Όλες οι πηγές περιέχουν Fe, η τιμή του κυμαίνεται από 0,01-34,91 mg/L. Επιπροσθέτως, 14 από τις 20 πηγές περιέχουν Mn που κυμαίνεται από 0,001-14,226 mg/L. Με εξαίρεση 3 πηγές οι υπόλοιπες περιέχουν Mo που κυμαίνεται 0,21-1,84 mg/L. Όλες οι πηγές περιέχουν NH_4 που κυμαίνεται από 0,002- 0,316 mg/L. Μόνο 6 πηγές περιέχουν Pb που κυμαίνεται από 0,3-4,5 mg/L. Ακόμη, 9 δειγματοληψίες περιέχουν Sb που κυμαίνεται από 0,06-1,89 mg/L, ενώ 6 πηγές περιέχουν Se που κυμαίνεται από 0,09-1,83 mg/L. Όλες οι πηγές περιέχουν Si και Sr που κυμαίνονται από 2,3-7,4 mg/L και 0,01-0,09 mg/L αντίστοιχα. Μόνο 4 πηγές περιέχουν U που κυμαίνεται από 0,1-0,47 mg/L. Τέλος, με εξαίρεση δυο πηγές οι υπόλοιπες πηγές που μελετήθηκαν περιέχουν Zn, ο οποίος κυμαίνεται από 0,55-598,20 mg/L.

Σχετικά αυξημένη τιμή αμμωνίας (NH_4) εντοπίζεται σε όλες τις πηγές, μπορεί να είναι δείκτης βιολογικής ρύπανσης, λυματολάσπη ή ζωικά απόβλητα. Παρόλα αυτά όμως οι τιμές της είναι εντός ορίων <0,5 mg /L.

Σύμφωνα με το διάγραμμα Piper (Εικόνα 5.4) προκύπτει ότι τα δείγματα ως προς τα κατιόντα είναι καλιονατριούχα, ως προς τα ανιόντα είναι χλωριούχα, εκτός την πηγή Ανισαράκι που είναι θειούχα. Ο τύπος του νερού είναι κάλιο-νατριούχο-χλώριο-θειικό.

Από το διάγραμμα Wilcox (Εικόνα 5.39) προκύπτει ότι το νερό των πηγών είναι κατάλληλο για άρδευση. Συγκεκριμένα, τα νερά των περισσότερων πηγών έχουν καλή ποιότητα, τα νερά της πηγής Τεμένια-2 χαρακτηρίζονται από καλή έως μέτρια ποιότητα, ενώ τα νερά της πηγής Ανισαράκι κατά την πρώτη δειγματοληψία χαρακτηρίζονται από μέτρια ποιότητα έως πολύ μέτρια ποιότητα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση με περιορισμούς.

Οι πηγές μπορούν να χωριστούν σε δυο κατηγορίες. η πρώτη κατηγορία αφορά τις πηγές Τεμένια, Αρολίθι και Καπεδιανά, στις οποίες εντοπίζονται αυξημένες τιμές των Cl, Na και SO_4 που οφείλεται στη διάλυση των γειτονικών εβαποριτών.

Ενώ στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι πηγές Ξινόνερο, Στροβλές, Ανισαράκι, Αρελιό και Μουστάκος, στις οποίες εντοπίζονται αυξημένα ιχνοστοιχεία Cu, Zn, Mo, Sb που αποτελούν ενδεικτικά στοιχεία για ύπαρξη μεικτών θειούχων.

Τα δυο ακραία χαρακτηριστικά των νερών που εκρέουν από συγκεκριμένες πηγές στο Φυλλιτικό κάλυμμα είναι η χαμηλή τιμή των TDS ($\leq 200\text{mg/L}$), επομένως χαρακτηρίζονται ως oligομεταλλικές και το όξινο pH της πηγής Ξινόνερο. Η υψηλή τιμή των SO_4 στην πηγή Ξινόνερο σημαίνει ότι τα θειικά προήλθαν από τη διαλυτοποίηση των μεικτών θειούχων. Η αναγωγή των μεικτών θειούχων είναι η αιτία που το νερό της πηγής Ξινόνερο είναι όξινο. Απ' την αναγωγή αυτή ο δισθενής σίδηρος (Fe^{2+}) μετατρέπεται σε τρισθενή (Fe^{3+}) και αποτίθεται, με αποτέλεσμα τη δημιουργία σιδηρούχων αποθέσεων στην περιοχή.

Κεφάλαιο 7: Βιβλιογραφία

7.1 Διεθνής

Akcil, A., and Koldas, S. (2006) *Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies*, Journal of Cleaner Production, 14, pp. 1139-145

Altherr, R. & Seidel, E. (1979). *Speculations on the geodynamic evolution of the Attic-Cycladic Crystalline Complex during alpidic times*, Proceed. 6th Colloq. Geol. Aegean Region Athens 1977, 1: pp. 347 - 352, Athens

Altherr, R., Harre, W., Kreuzer, H., Okrusch, M., Seidel, E. (1977a). *On the age of the high-pressure metamorphism on Sifnos (Greece)*, Preliminary report. In: International Symposium Structure Hist. Medit. Bas. Split (Biju-Duval and Montadert, eds.), 1976, pp. 315–316

Angelier J., Lyberis N., Pichon X., Barrier E., Huchon P. (1982). *The tectonic development of the hellenic arc and the sea of crete a synthesis*, Tectonophysics, 86 (1982) 159- 196

Astel, A. (2016). *Mineral Water: Types of Mineral Water*, Encyclopedia of Food and Health, Academic Press, pp. 763-766

Baumann A., Best G., Gwosdz W., Wachendorf H. (1976). *The nappe pile of eastern Crete*, Tectonophysics, Volume 30, Issues 3–4, February 1976, Pages T33-T40

Bidari, E., & Aghazadeh, V. (2018). *Pyrite oxidation in the presence of calcite and dolomite: Alkaline leaching, chemical modeling and surface characterization*, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 28(7), 1433–1443

Bonneau, M. (1973). *Les différentes séries ophiolitiques de la Crète: Une mise au point* C.R. Acad. Sci. Paris, 276 (1973), pp. 1249-1252

Brown, S. Sander, D. Craw *, K. Hunter, (2005). *Measurement of labile metals in acid rock drainage springs, New Zealand: Field application of anodic stripping voltammetry*, Applied Geochemistry, Volume 20, Issue 8, August 2005, Pages 1533-1545

Bryson, L. J., & Crundwell, F. K. (2014). *The anodic dissolution of pyrite (FeS₂) in hydrochloric acid solutions*, Hydrometallurgy, 143, 42–53

Castany, (1963): *Prospection et Exploitation des eaux souterraines*, Volume 1, Issue 2, Pages 99-182, Dunod, Paris

Creutzburg N., Drooger C.W., Meulenkamp J.E., Papastamatiou J., Seidel E. and Tataris A., (1977). *Geological map of Crete (1:200.000)*, IGME, Athens

Creutzburg N. & Seidel, E. (1975). *Zum Stand der Geologie des Praneogens auf Kreta*, N. Jb. Geol. Palaont. Abh., 149 (3), pp. 363—383, Stuttgart

Davis, G. H. & Hardy, J. J. (1981). *The Eagle Pass detachment, southeastern Arizona: product of mid-Miocene listric normal faulting in the southern Basin and Range*, Bull. geol. Soc. Am. 92, pp. 749-762

Deere, D.U., and F.D. Patton. (1971). *Slope Stability in Residual Soils*. In Proc., Fourth Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Juan Puerto Rico, American Society of Civil Engineers, New York, Vol. 1, pp 87-170

Donald J. Rimstidt and David J. Vaughan (2003). *Pyrite oxidation: A state-of-the-art assessment of the reaction mechanism*, Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 67, No. 5, pp. 873–880

Dornsiepen U.F., Manutsoglu E., Mertmann D. (2001). *Permian – Triassic palaeogeography of the external Hellenides*, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 172

Dornsiepen & Manutsoglu (1994). *Zur gliederung der phyllit-decke kretas und des peloponnes*, Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, pp. 286-304

Dos Santos, E.C., de Mendonça Silva, J.C., Duarte, H.A. (2016). *Pyrite Oxidation Mechanism by Oxygen in Aqueous Medium*, J. Phys. Chem. C 120, pp. 2760–2768

Dreverl. J. (2005). *Surface and Ground Water, Weathering, and Soils*, Treatise on Geochemistry, Second Edition, Volume 5

Eggleston, C.M., Ehrhardt, J.-J., Stumm, W., (1996). *Surface structural controls on pyrite oxidation kinetics: An XPS-UPS, STM, and modeling study*, Am. Mineral. 81, pp. 1036–1056

Evangelou V. P. (1995). *Pyrite oxidation and its control*, CRC Press, ISBN 0-8493-4732-7

Evans, A.M. (1992). *Erzlagerstättenkunde*, Übers. von Udo Neumann und Gerburg Larsen. Enke, Stuttgart

Fassoulas C. (1998). *The structural evolution of central Crete: insight into the tectonic evolution of the south Aegean (Greece)*, Journal of Geodynamics, Volume 27, Issue 1, 15 November 1998, Pages 23-43

Fassoulas, C., Kiliyas, A., and Mountrakis, D., (1994). *Postnappe stacking extension and exhumation of high-pressure/low temperature rocks in the island of Crete, Greece*, Tectonics, v. 13, pp. 127–138

Fournier O. Robert and Rowe J. Jack (1977). *The solubility of amorphous silica in water at high temperatures and high pressure*, American Mineralogist, Volume 62, pp. 1052-105

Gale, J.E. (1982). *Assessing the Permeability Characteristics of Fractured Rock*, Geol. Soc. Amer. Spec. Paper 189, pp. 163–181

Gob S., Loges A., Nolde N., Bau M., Jacob E. D., Markl G. (2013). *Major and trace element compositions (including REE) of mineral, thermal, mine and surface waters in SW Germany and implications for water–rock interaction*, Applied Geochemistry 33, pp. 127–152

Greiling R. (1982). *The metamorphic and structural evolution of the Phyllite-Quartzite Nappe of western Crete*, Journal of Structural Geology, Volume 4, Issue 3, 1982, pp. 291-297

Greiling, R. & Skala, W. (1979). *The petrofabrics of the Phyllite Quartzite Series of western Crete as an example for the pre-Neogenian structures of the Cretan Arc*, Proc. 6th. Coll. Geol. Aegean Region 1, pp. 97-102

Henderson, P. (1982). *Inorganic geochemistry*, Pergamon, Oxford

Jacobshagen, V., Durr, S., Kockel, F., Kopp, K. O., & Kowalczyk, S., with contrib. of Berckheimer, H., & Buttner, D. (1978): *Structure and geodynamic evolution of the Aegean region*, — In: Closs, H., Roeder, D., και Schmidt, K. (eds.), Alps, Apennines, Hellenides, Inter-Union Commission on Geodynamics Sci. Report No. 38, 537—564, Stuttgart

Jacobshagen, V. (1977). *Structure and geotectonic evolution of the Hellenides*, VI Coll. Geol. Aeg. Region, Athens 1977, Proceedings V.3, pp. 1355-1367

Jolivet L., Goff B., Moni P., Truffert-Luxey C., Patriat M., Bonneau M. (1996). *Miocene detachment in Crete and exhumation P-T-t paths of high-pressure metamorphic rocks*, Tectonics, vol. 15, No. 6, Pages 1129-1153

Jolivet, L., E. Lecomte, B. Huet, Y. Denèle, O. Lacombe, L. Labrousse, L. Le Pourhiet, and C. Mehl (2010). *The North Cycladic Detachment System*, Earth Planet. Sci. Lett., 289, pp. 87– 104

Karakitsios V. (1987). *Sur la signification de la "série de Trypali" dans la région de Sellia en Crète occidentale (Grèce)* - C. R. Acad. Sc., Paris, t. 304, serie II, n. 3, pp. 123-128

Kilias A., Fassoulas C., Mountrakis D. (1994). *Tertiary extension of continental crust and uplift of Psiloritis metamorphic core complex in the central part of the Hellenic Arc (Crete, Greece)*, GeolRundsch 83, pp. 417-430

Kokkalas, S., Doutsos, T. (2004). *Kinematics and strain partitioning in the southeast Hellenides (Greece)*, Geological Journal 39, 121e140

Kopp, K-O. & Ott, E. (1977). *Spezialkartierungen im Umkreis neuer Fossilfunde in Trypali- und Tripolitzakalken Westkretas*, Neues Jb. Geol. Paläont. Mh. 1977(4), 217-238

Krahl J. Foerster O., Eickhoff J., Eberle P. (1981). *Biostratigraphical Investigations in the Phyllite-Quartzite Group on Crete Island, Greece*, International Symposium on the Hellenic Arc and Trench (H.E.A.T.). Athens

Krasny, J. (1996). *Hydrogeological Environment in Hard Rocks: An Attempt at its schematizing and terminological consideration*, Acta Universitatis Carolinae Geologica, 40, pp.115-122

Kresic Neven & Stevanovic Zoran, (2009). *Groundwater Hydrology of Springs-Engineering, Theory, Management and Sustainability*, Ashburn, Virginia, pp. 255-257

Krieger and G. E. Hendrickson (1960). *Effects of Greensburg Oilfield Brines on the Streams, Wells, and Springs of the Upper Green River Basin, Kentucky R. A.*, U. S. Geological Survey ser. 10, Rept. Inv. 2, p. 36

Kirby, C. S., & Cravotta, C. A. (2005). *Net alkalinity and net acidity 1: Theoretical considerations*, Applied Geochemistry, 20(10), pp. 1920–1940.

Lottermoser B. (2017). *Environmental Indicators in Metal Mining*, Springer International Publishing, pp. 15-31

Mason, B. (1966). *Principles of Geochemistry*, 3rd Edition, Wiley, New York, London, pp. 329

Ma, L., Huang, C., Liu, Z.-S., Morin, K. A., Aziz, M., & Meints, C. (2018). *Prediction of acid rock drainage in waste rock piles Part 1: Water film model for geochemical reactions and application to a full-scale case study*, Journal of Contaminant Hydrology 220

Migaszewski, Z. M., & Gałuszka, A. (2019). *The origin of pyrite mineralization: Implications for late Cambrian geology of the Holy Cross Mountains (south-Central Poland)*, Sedimentary Geology, Volume 390, 15 July 2019, pp. 45-61

Morse, J., Millero, F., Cornwell, J., & Rickard, D. (1987). *The chemistry of the hydrogen sulfide and iron sulfide systems in natural waters*, Earth-Science Reviews, 24(1), pp. 1–42

Nordstrom and Southam (1997). *Geomicrobiology of sulfide mineral oxidation*, Geomicrobiology: Interactions Between Microbes and Minerals, pp. 361-390

Nordstrom, D. K. (2009). *Acid rock drainage and climate change*, Journal of Geochemical Exploration, 100(2-3), pp. 97–104

Nordstrom, D. K. (2011). *Sulfide Mineral Oxidation*, *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, pp. 856–858

Ogbughalu, O. T., Vasileiadis, S., Schumann, R. C., Gerson, A. R., Li, J., Smart, R. S. C., & Short, M. D. (2020). *Role of microbial diversity for sustainable pyrite oxidation control in acid and metalliferous drainage prevention*, Journal of Hazardous Materials, Volume 393, 5 July 2020, 122338

Olías M., Canovas C.R., Basallote M.D, Macías F., Perez-Lopez R., Moreno R.Gonzalez, Millan-Becerro R., Nieto J.M, (2019). *Causes and impacts of a mine water spill from an acidic pit lake (Iberian Pyrite Belt)*, Environmental Pollution, Volume 250, July 2019, pp. 127-136

Ottaway, B.S. (1994). *Prähistorische Archäometallurgie*, Verlag Marie L. Leidorf, Espelkamp

Panagos, A. G., Pe-Piper, G. G., Piper, D. J. W. & Kotopouli, C. N. (1979). *Age and stratigraphic subdivision of the Phyllite series Krokee region Peloponnese, Greece*, Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte, 1979, pp. 181–190

Papadopoulos, N. and Scanvic, J.Y. (1968). *Esqutsse gtologique de l'île de Crete (Grece). Rapport cooperation culturelle et technique*, Rep. Frangaise, Serv. Ameliorations Fon@res et Roy. Grece. Minis&e de l'Agriculture. Maps 1 : 50,000, pp. 78

Papastamatiou, J., and Reichel, M. (1956). *Sur Fage des Phyllades de File de Crete*, Ecl. Geol. Helv., 49, 147—149, Basel

Parbhakar-Fox, A., & Lottermoser, B. G. (2015). *A critical review of acid rock drainage prediction methods and practices*. Minerals Engineering, 82, pp. 107–124

Parbhakar-Fox και Lottermoser. (2016). *Principles of Sulfide Oxidation and Acid Rock Drainage*. Environmental Indicators in Metal Mining, pp. 15–34

Peterek A., Schwarze J. (2004): *Architecture and Late Pliocene to recent evolution of outer-arc basins of the Hellenic subduction zone (south-central Crete, Greece)*, Journal of Geodynamics, Volume 38, pp. 19–55

Petraccia L., Liberati G., Giuseppe Masciullo S., Grassi M., Fraioli A. (2005). *Water, mineral waters and health*, Clinical Nutrition, 25, pp. 377–385

Plaza Fernando, Wen Yipei, Perone Hanna, Xu Yi, Liang Xu, (2017). *Acid rock drainage passive remediation: Potential use of alkaline clay, optimal mixing ratio and long-term impacts*, Science of The Total Environment, Volume 576, 15 January 2017, pp. 572-585

Porowski A., Rman N., Forizs I., LaMoreaux J. (2019). *Introductory Editorial Thematic Issue: "Mineral and thermal waters"*, Environmental Earth Sciences 78:527

Rahl M.Jeffrey, Anderson M. Kristin, Brandon T. Mark, Fassoulas Charalambos, (2005). *Raman spectroscopic carbonaceous material thermometry of low-grade metamorphic rocks: Calibration and application to tectonic exhumation in Crete, Greece*, Earth and Planetary Science Letters, Volume 240, Issue 2, 1 December 2005, pp. 339-354

Ramasamy Murugan, Power Christopher, Mkandawire Martin, (2018). *Numerical prediction of the long-term evolution of acid mine drainage at a waste rock pile site remediated with a HDPE-lined cover system*, Journal of Contaminant Hydrology, Volume 216, September 2018, pp. 10-26

Rauli V. (1869). *Description physique de lile de Crete*, 2 Bd. mit 1078 S., 21 Taf. und geol. Karte, Paris

Razowska-Jaworek Lidia (2014). *Calcium and Magnesium in Groundwater_ Occurrence and Significance for Human Health*, Polish Geological Institute-NRI, Sosnowiec, Poland, pp. 147

Renz C.(1940). *Die Tektonik der griechischen Gebirge*, Verh. Athen. Akad., 8, pp.1-171

Rickard D. T. (1969). *The microbiological formation of iron sulfides*, Stockholm Contrib. Geol. 20, pp. 49-66.

Rickard, D. (2012). *Sulfidic Sediments and Sedimentary Rocks*, 1st Editio. ed. Elsevier

Rimstidt D. and Vaughan D.J. (2003). *Pyrite oxidation: A state-of-the-art assessment of the reaction mechanism*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 67, No. 5, pp. 873–880

Sanada Tetsuya, Takamatsu Nobuki, Yoshiike Yuzo, (2006). *Geochemical interpretation of long-term variations in rare earth element concentrations in acidic hot spring waters from the Tamagawa geothermal area, Japan*. *Geothermics*, Volume 35, Issue 2, April 2006, pp. 141-155

Sand W, Gehrke T, Jozsa PG, Schippers A. (2001). *(Bio)chemistry of bacterial leaching— direct vs. indirect bioleaching*, *Hydrometallurgy* 59: pp. 159–175

Schoeller (1983). *Energy expenditure from doubly labeled water: some fundamental considerations in humans*, *Am. J. Clin. Nutr.* **38**, pp. 999–1005

Schoeller, J. (1964). *Recherches descriptives et experimentales sur la cephalogenese de Calliphora erythrocephala (Meigen)*, au tours des developpements embryonnaire et postembryonnaire. *Arch Zool. Exp. Gen.* 103, pp. 1-216

Schoonen (1989). *Mechanism of pyrite and marcasite formation from solution between 25 and 300°C*, PhD thesis, University Park, Pennsylvania State University, pp. 215

Schubert, W., Seidel, E. (1972). *Glaukophangesteine aus dem Metamorphikum West-Kretas*, *Z. Deut. Geol. Ges.* 123, pp. 371–384

Seidel, E., Kreuzer, H., Harre, W. (1982). *A late Oligocene/Early Miocene high pressure belt in the External Hellenides*, *Geologisches Jahrbuch*, E23, pp. 165-206

Seidel E. (1978). *Zur Petrologie der Phyllit-Quarzit-Serie Kretas*, Habil. thesis, Techn. Univ. of Braunschweig, pp. 145

Seidel M. (2003). *Tectono-sedimentary evolution of middle Miocene supra-detachment basins (western Crete, Greece)*, PhD thesis, Universität zu Köln

Seidel M., Pack A., Sharp Z., Seidel E. (2005). *The Kakopetros and Ravdoucha iron-oxide deposits, Western Crete, Greece: fluid transport and mineralization within a detachment zone*, *Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology*, v. 100, pp. 165–174

Seidel, M., Seidel, E., & Stöckhert, B. (2007). *Tectono-sedimentary evolution of lower to middle Miocene half-graben basins related to an extensional detachment fault (western Crete, Greece)*, *Terra Nova*, 19(1), pp. 39–47.

Seidel, E., Kreuzer, H. & Harre, W. (1982): *A Late Oligocene/Early Miocene high pressure belt in the External Hellenides*, *Geol. Jb.*, 23: pp. 165-206

Shand Paul, Gotch Travis, Love Andrew, Raven Mark, Priestley Stacey, Grocke Sonia , (2016). *Extreme environments in the critical zone: Linking acidification hazard of acid sulfate soils in mound spring discharge zones to groundwater evolution and mantle degassing*, *Science of The Total Environment*, Volume 568, 15 October 2016, pp. 1238-1252

Singhal B.B.S Gupta R.P. (1999). *Applied hydrogeology of fractured rocks*, Kluwier Academic Publishers

Skourtsos, E., Pope, R. and Triantaphyllou, M.V. (2007). *Tectono-sedimentary evolution and rates of tectonic uplift of the Sfakia coastal zone, Southwestern Crete*, Bulletin of the Geological Society of Greece, vol XXXX: pp. 475-487

Sracek, O., Choquette, M., Gélinas, P., Lefebvre, R., & Nicholson, R. (2004). *Geochemical characterization of acid mine drainage from a waste rock pile*, Mine Doyon, Québec, Canada. Journal of Contaminant Hydrology, 69(1-2), pp. 45–71

Stockhert B., Brix M. R., Kleinschrodt R., Hurford A. J. & Wirth R. (1998). *Thermochronometry and microstructures of quartz - a comparison with experimental flow laws and predictions on the temperature of the brittle-plastic transition*, Journal of Structural Geology, 21, pp.351-369

Stumm W., Morgan J. (1995). *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*, 3rd Edition

Thomson, S. N., Stöckhert, B. & Brix, M. R. (1998). *Thermochronology of the high-pressure metamorphic rocks of Crete, Greece*, implications for the speed of tectonic processes. Geology, 26, pp. 259–262

Turner, A. (1967). *Hydrogeologie*, Mit 187 Abb. Wien, New York: Springer Verlag

US EPA (1989). *Summary review of health effects associated with ammonia*, (EPA/600/8-89/052F), US Environmental Protection Agency, Washington, DC

Theye T. (1988). *Aufsteigende Hochdruckmetamorphose in Sedimenten der Phyllit-Quartzit-Einheit, Kretas und des Peloponnes*, Dissertation, TU Braunschweig: 224S

Theye T., Seidel E, Vidal O. (1992). *Carpholite, sudoite and chloritoid in low high-pressure metapelites from Crete and the Peloponneses, Greece*, Eur J Mineral 4: pp. 487–507

Tribitsch H. (2001). *Direct versus indirect bioleaching*, Hydrometallurgy, 59, pp. 177-185

Vaughan D., Craig R. (1978). *Mineral Chemistry of Metal Sulfides*, Cambridge University Press

Vriens, B., Plante, B., Seigneur, N., & Jamieson, H. (2020). *Mine Waste Rock: Insights for Sustainable Hydrogeochemical Management*, Minerals, 10(9), pp. 728

Wachendorf H., Baumann A., Gwosdz W., Scheider W. (1974). *Die Phyllite-Serie Ostkretas - eine Melange*, Zeitschrift der Deutscher Geologischer Gesellschaft 25, pp. 237-251

Wachendorf H., Best G. Gwosdz W. (1975). *Geodynamische Interpretation Ostkretas*, Geologische Rundschau 64, pp. 728-750

WHO (1996a). *Trace elements in human nutrition and health*, WHO, Geneva

Wojtaszek T. (2006). *Mineral waters are healthy*, Agro Przemysł, Nr specjalny

Wolkersdorfer C. (2008). *Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines_ Fundamentals*, Tracer Tests, Modelling, Water Treatment-Springer-Verl., Springer

Worrall F. and. Pearson D. G (2001). *Water-rock interaction in an acidic mine discharge as indicated by rare earth element patterns*, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65(18): pp. 3027-3040

Wray, R. A. L., & Sauro, F. (2017). *An updated global review of solutional weathering processes and forms in quartz sandstones and quartzites*, *Earth-Science Reviews*, 171, pp. 520–557

Xypolias, P., Doutsos, T. (2000). *Kinematics of rock flow in a crustal-scale shear zone: implication for the orogenic evolution of the southwestern Hellenides*, *Geological Magazine* 137, 81e96

Zauyah, S., Schaefer, C., & Simas, F. (2010). *Saprolites*, Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths, pp. 49–68

Zhang, X., Guo, J., Hu, Q., Gao, X., Li, C., Luo, M., & Wang, Y. (2020). *Effects of Fe-rich acid mine drainage on percolation features and pore structure in carbonate rocks*, *Journal of Hydrology*. *Journal of Hydrology*, Volume 591, December 2020, 125571

7.2 Ελληνική

Αθανασούλης Κ., Βακαλόπουλος Π., Ξενάκη Μ., Περσιανή Δ., Τακτικός ΣΤ. (2009). *Περιοδική Παρακολούθηση Ιαματικών Πηγών Ελλάδας*, Ι.Γ.Μ.Ε.

Αλεξόπουλος Απ. (1990). *Γεωλογικές και Υδρογεωλογικές Συνθήκες της Περιοχής Του Τοπογραφικού Φύλλου "Μοχός" (Κεντροανατολική Κρήτη)*, Διδακτορική διατριβή, Γεωλογικό τμήμα, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης, Διαθέσιμο στη σελίδα: [http:// www.apdkritis.gov.gr](http://www.apdkritis.gov.gr)

Βέκιος Π., Ευθυμιόπουλος Θ., Φαναρά Ε. (2010). *Ολοκληρωμένη ποσοτική και ποιοτική μελέτη θερμομεταλλικών υδάτων Δυτ. Ελλάδας*, Ι.Γ.Μ.Ε.

Βουδούρης Κ., (2009). *Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος, υπόγεια νερά & περιβάλλον*, Εκδόσεις Τζιόλα

Βουδούρης Κ., (2015). *Εκμετάλλευση & Διαχείριση Υπόγειου Νερού*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σελ. 54-55

Βουτσά Δ. (1993). *Μελέτη και Χαρακτηρισμός των Υπόγειων Νερών της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης*, Διδακτορική διατριβή Τμήμα Χημείας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Διεύθυνση Υδάτων (2017). *Σχέδιο διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης*, Τεχνική έκθεση, έκδοση 2

Ζαγγανά Ε. (2013). ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ Ενότητα 13: Γεωχημεία των υπόγειων νερών – Υδρογεωχημεία. Σημειώσεις μαθήματος. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας.

Θεοδωρίκας Σ. Στέργιος (2010). *Ορυκτολογία Πετρολογία*, Εκδόσεις Ερώδιος, 3^η έκδοση, Θεσσαλονίκη

Καλλέργης Γ. (2001). *Εφαρμοσμένη - Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία*, Έκδοση Τ.Ε.Ε., Δεύτερη Έκδοση, Αθήνα

Κατσικάτσος Χ. Γεώργιος (1992). *Γεωλογία της Ελλάδας, Πανεπιστήμιο Πάτρας, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα*

Κλειδοπούλου, Μ. (2003). Ροή υπόγειων νερών προς υδρομαστευτικά έργα (παράδειγμα: υδρομαστευτική στοά περιοχής Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης). Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

Κόλλιας Κ. (2017). *Ανάσχεση προόδου όξινης απορροής σε θειούχα ορυκτά με χρήση φωσφορικών και πυριτικών επικαλύψεων*, Διδακτορική διατριβή της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Κομνίτσας Κ., Ξενίδης Α. (2001). *Όξινη Απορροή Μεταλλείων. Δημιουργία - Επιπτώσεις και Τεχνικές Αντιμετώπισης σε Μεταλλεία Μικτών Θειούχων*, Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, V, τεύχ. 1&2, σελ. 19 - 36

Κούρτης Α. (2007). *Κατεργασία Υγρών Αποβλήτων από Μεταλλεία Μικτών Θειούχων*, Διδακτορική διατριβή της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Κοινή Υπουργική Απόφαση Γ1(δ)/ ΓΠ οικ.67322/2017 - ΦΕΚ 3282/Β/19-9-2017. "Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της 3ης Νοεμβρίου 1998 όπως τροποποιήθηκε με την Οδηγία (ΕΕ) 2015/1787 (L260, 7.10.2015)."

Λαμπράκης Ν. (2009). *Εισαγωγή στην υδροχημεία*, Σημειώσεις μαθήματος, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Πάτρα

Λέκκας Ν. (1938). *Αι επτακόσiai πενήντα μεταλλικαί πηγαί της Ελλάδος*, Αθήνα

Μανούτσογλου Ε., Σπανουδάκης Ν. και Καλλίθρακας –Κοντός Ν. (2017). *Οι Ιαματικές Πηγές της Επαρχίας Σφακίων*, Κρήτη

Μελιδώνης, Γ. Ν. (1992): *Γενική κοιτασματολογία*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Έκδοση Διδακτικών βιβλίων, Αθήνα

Μουντράκης Μ., Δημοσθένης (1985). *Γεωλογία της Ελλάδας*, University Studio Press, Θεσσαλονίκη

Μπάρτζας Γ. (2007). *Απομάκρυνση ρυπάντων από εκχυλίσματα μεταλλευτικών στερεών αποβλήτων με ενεργούς διαπερατούς φραγμούς από ερυθράς ίλυ και ιπτάμενη τέφρα*, Διδακτορική διατριβή της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Μποτσιαλάς Κ. (2007). *Ανάλυση, ερμηνεία και εκτίμηση του υδρογεωλογικού και τεχνικογεωλογικού περιβάλλοντος του μέσου ασυνεχειών: εφαρμογή στο σχιστολιθικό σύστημα της νήσου Τήνου*, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος

Μυλωνάκης, Ι. (1988). *Βασικός γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας*, φύλλο Ρέθυμνο, 1:50.000, ΙΓΜΕ, Αθήνα

ΟΔΗΓΙΑ 2009/54/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 18ης Ιουνίου 2009 σχετικά με την εκμετάλλευση και τη θέση στο εμπόριο των φυσικών μεταλλικών νερών

ΟΔΗΓΙΑ 80/777/ΕΟΚ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 15ης Ιουλίου 1980 περί προσεγγίσεως των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με την εκμετάλλευση και τη θέση στο εμπόριο των φυσικών μεταλλικών νερών

Παρτσινεβέλου Α. (2016). *Διερεύνηση και προσομοίωση της υδροφορίας ετερογενούς μέσου ασυνεχειών. Εφαρμογή στη νήσο Νάξο (Αιγαίο Πέλαγος)*, Διδακτορική διατριβή, Γεωλογικό τμήμα, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Σκληρός Β. (2013). *Διερεύνηση των συνθηκών σχηματισμού των εμφανίσεων μαγνησίτη Βάβδου και Γερακινής (Κεντρική Χαλκιδική) και μελέτη αξιοποίησης του σε περιβαλλοντικές εφαρμογές*, Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Γεωλογίας

Σούλιος Γ. (2004). *Γενική Υδρογεωλογία*, Εκδόσεις Κυριακίδη Αφοί, Θεσσαλονίκη

Τζανακάκη Κ. (2012). Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού, Διαθέσιμο στη σελίδα: <http://odysseus.culture.gr/>

Τριανταφυλλίδης Σ. (2006). *Εκτίμηση της περιβαλλοντικής ρύπανσης από μεταλλευτική δραστηριότητα και προτάσεις αποκατάστασης του περιβάλλοντος στους νομούς Έβρου και Ροδόπης*, Διδακτορική διατριβή του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος της Σχολής Θετικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Αθηνών

Τριανταφυλλίδης Σ., (2015). *Κοιτασματολογία (ore deposit geology) Μάθημα 6ο. Τύποι κοιτασμάτων συνδεδεμένοι με επιφανειακές και ιζηματογενείς διεργασίες*, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών

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*

ΦΕΚ 2997/Β/6-11-2014. *Διαδικασία αναγνώρισης ιαματικών φυσικών πόρων*

Φυτρολάκης Ν. (1980). *Η γεωλογική δομή της Κρήτης - Προβλήματα, παρατηρήσεις και συμπεράσματα*, Διατριβή υφηγεσίας. Εκδ. Έδρας Ορυκτολογίας- Πετρογραφίας- Γεωλογίας, Ε.Μ.Π., Αθήνα

Χαρμαντάς Ν. (1998). *Κρυστάλλωση Θειούχων Αλάτων του Σιδήρου (II) σε Υδατικά Διαλύματα*, Διδακτορική διατριβή τμήματος Χημικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών

Χατζηπαναγιώτου Κ. (2005). *Πετρογραφία II*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Πάτρα

7.3 Ιστοσελίδες

<http://www.geo.auth.gr/>

<https://el.wikipedia.org/>

Παραρτήματα

Παράρτημα Α:

Βροχομετρικά δεδομένα Ν. Χανίων

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας κρίνεται σκόπιμο να γίνει αναφορά στα βροχομετρικά δεδομένα του νομού Χανίων καθώς όπως φαίνεται και στους πίνακες που παρατίθενται στη συνέχεια ο νομός Χανίων δέχεται σημαντικά ύψη βροχής. Το νερό που προέρχεται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα κατεισδύει στους γεωλογικούς σχηματισμούς και μέσω του πρωτογενούς και δευτερογενούς πορώδους καταλήγει στον υπόγειο υδροφόρο. Επομένως είναι σημαντικό να γίνει αναφορά στις αξιόλογες αυτές ποσότητες.

Αναλυτικότερα, αναφέρονται στους πίνακες που ακολουθούν τα βροχομετρικά δεδομένα από τους σταθμούς Ασκύφου Χανίων, ο οποίος λειτουργεί από το 1960, Καλύβες Χανίων, ο οποίος είναι σε λειτουργία από το 1974, Μουρί Χανίων, ο οποίος λειτουργεί από το 1964, Παλαιά Ρούματα, με δεδομένα από το 1960 και στις Πρασσές από το 1990.

Στον ακόλουθο πίνακα δίνονται οι συντεταγμένες από τις θέσεις των ως άνω βροχομετρικών σταθμών.

Πίνακας 0.1: Συντεταγμένες βροχομετρικών σταθμών Χανίων (Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης).

Όνομα βροχομετρικού σταθμού	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος	Υψόμετρο (m)
Ασκύφου Χανίων	23ο 11'	35ο 18'	740
Καλύβες Χανίων	24ο 10'	35ο 27'	24
Μουρί Χανίων	24ο 17'	35ο 20'	24
Παλαιά Ρούματα	23ο 47'	35ο 24'	316
Πρασσές	24ο 51'	35ο 23'	520

Επίσης τα διαθέσιμα βροχομετρικά δεδομένα από το σταθμό των χανίων σύμφωνα με το Σχέδιο διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης, για το διάστημα από το 2006 έως το 2017, δίνονται ακολούθως.

Πίνακας 0.2: Βροχομετρικά στοιχεία Ασκύφου Χανίων (Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης).

ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΜΜ													
ΥΔΡ.ΕΤΟΣ	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΥΝ.
1960-61	153,0	0,0	169,1	420,4	357,4	835,6	259,3	28,3	17,0	0,7	0,0	0,0	2240,8
1961-62	3,4	118,0	117,3	578,7	615,1	383,5	65,5	27,3	81,0	3,0	3,7	0,0	1996,5
1962-63	129,5	513,5	165,5	491,6	341,4	282,2	372,4	124,3	68,3	27,0	0,0	0,0	2515,7
1963-64	6,3	497,4	127,7	338,4	607,9	252,8	222,5	88,0	16,0	112,4	0,0	0,0	2269,4
1964-65	18,7	46,3	154,5	880,0	502,6	373,9	383,0	222,0	26,0	30,0	0,0	0,0	2637,0
1965-66	0,0	104,5	41,0	296,5	387,0	66,0	239,0	22,5	54,0	36,0	0,0	14,0	1260,5
1966-67	188,5	48,5	116,0	549,0	176,0	257,0	466,0	90,0	51,5	45,0	0,0	0,0	1987,5
1967-68	84,0	284,0	160,5	312,5	645,5	138,0	314,0	100,0	77,0	0,0	0,0	0,0	2115,5
1968-69	21,5	489,5	577,0	378,5	565,5	41,0	307,0	151,0	35,0	6,0	5,5	0,0	2577,5
1969-70	21,0	139,0	60,5	562,5	214,0	146,6	116,7	58,5	19,3	0,0	0,0	0,0	1338,1
1970-71	29,5	277,6	227,4	275,2	599,5	610,5	192,5	74,2	6,7	0,0	7,5	44,9	2345,5
1971-72	48,0	107,6	127,8	167,0	287,2	258,7	423,8	76,6	65,5	0,0	40,2	0,0	1602,4
1972-73	3,7	482,9	136,2	328,7	725,3	342,4	77,0	101,5	15,0	0,0	0,0	12,3	2225,0
1973-74	15,0	233,8	260,9	80,5	429,3	240,7	239,1	32,4	10,0	5,2	0,0	0,0	1546,9
1974-75	30,9	48,3	110,6	241,0	572,5	462,5	155,0	16,3	29,5	0,0	0,0	0,0	1666,6
1975-76	5,0	64,5	308,5	433,1	440,4	666,5	500,3	72,0	0,0	0,0	0,7	3,5	2494,5
1976-77	4,5	351,4	200,0	334,3	141,8	60,4	116,0	105,0	9,5	5,9	0,0	0,0	1328,8
1977-78	224,5	52,2	234,0	813,4	683,8	290,2	385,6	46,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2730,2
1978-79	78,0	241,0	159,5	443,5	300,0	635,5	328,0	93,3	36,0	128,0	10,5	0,5	2453,8
1979-80	25,0	143,0	513,5	410,5	344,5	645,0	209,0	77,5	39,0	0,0	0,0	14,5	2421,5
1980-81	83,0	152,5	37,0	381,5	764,0	375,6	42,0	69,0	111,0	0,0	0,0	0,0	2015,6
1981-82	0,0	15,0	337,5	395,5	423,0	763,0	567,5	106,0	74,0	3,0	0,0	1,0	2685,5
1982-83	1,0	28,0	249,0	361,0	617,5	411,0	367,5	19,0	7,5	94,0	44,0	31,5	2231,0
1983-84	80,0	183,0	381,0	468,5	365,5	437,5	186,0	203,5	5,0	0,0	45,0	0,0	2355,0
1984-85	0,0	50,5	856,0	412,5	616,5	407,0	184,0	92,0	10,0	0,0	0,0	0,0	2628,5
1985-86	49,5	172,0	88,0	314,5	263,0	292,0	106,5	0,0	84,0	3,0	0,0	0,0	1372,5

1986-87	329,0	200,0	237,5	271,0	335,0	301,7	381,0	493,0	43,0	0,0	3,0	0,0	2594,2
1987-88	0,0	56,0	276,0	366,0	419,5	427,5	154,5	43,0	47,0	0,0	0,0	0,0	1789,5
1988-89	1,5	401,5	276,5	355,4	296,0	78,5	338,0	0,0	21,5	0,0	0,0	0,0	1768,9
1989-90	0,0	166,5	305,5	93,0	267,0	307,0	18,0	58,0	29,0	34,0	0,0	34,0	1312,0
1990-91	32,5	48,0	155,5	401,5	488,0	271,8	97,0	73,0	49,5	3,0	0,0	3,5	1623,3
1991-92	25,5	159,0	237,0	387,5	265,0	258,0	151,0	108,0	94,0	26,0	0,0	0,0	1711,0
1992-93	1,5	0,0	99,5	498,5	302,5	520,0	92,5	50,0	85,0	46,0	1,5	0,0	1697,0
1993-94	3,0	113,5	675,0	117,5	534,0	360,0	166,0	104,0	24,0	10,0	0,0	0,0	2107,0
1994-95	0,0	349,0	549,0	408,0	417,0	68,0	170,0	29,0	9,0	0,0	19,0	4,0	2022,0
1995-96	57,0	72,5	205,5	430,0	731,0	549,0	393,5	29,0	37,5	0,0	0,0	0,0	2505,0
1996-97	89,0	283,5	188,0	441,0	420,5	336,0	821,8	106,0	56,0	1,5	0,0	0,0	2743,3
1997-98	6,5	370,0	365,0	326,0	277,0	95,0	731,0	62,0	100,0	0,0	0,0	0,0	2332,5
1998-99	0,0	110,0	347,0	816,0	653,0							0,0	1926,0
1999-00	32,3	19,0	183,6	326,3	713,2	282,6	172,2	23,9	42,1	1,1	0,0	0,0	1796,3
2000-01	17,5	71,5	327,0	644,5	435,0	548,5	83,5	107,0	174,5	0,0	0,0	62,5	2471,5
2001-02	0,0	53,5	429,0	1402,0	301,0	113,0	191,0	38,5	0,0	0,0	52,5	667,0	3247,5
2002-03	108,5	184,0	601,0	613,0	708,0								2214,5
2003-04	102,8	53,0	869,5	868,5	461,5	64,0	20,7	56,0	16,0	0,0	0,0	0,0	2512,0
2004-05	0,0	0,0	249,0	366,0	434,0	324,5	215,5	1,1	175,5	0,0	11,0	0,0	1776,6
Μεγ.ύψος	329,0	513,5	869,5	1402,0	764,0	835,6	821,8	493,0	175,5	128,0	52,5	667,0	3247,5
Ελ. Ύψος	0,0	0,0	37,0	80,5	141,8	41,0	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1260,5
Μ.Ο	46,9	167,9	277,6	440,0	454,3	339,1	256,3	80,9	45,4	14,4	5,7	20,3	2115,4

Πίνακας 0.3: Βροχομετρικά στοιχεία Καλύβες Χανίων (Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης).

ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΜΜ													
ΥΔΡ.ΕΤΟΣ	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΥΝ.
1973-74					183,0	68,0	156,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1974-75	32,0	15,0	150,0	59,0	126,0	209,0	6,0	22,0	2,0	0,0	0,0	0,0	621,0
1975-76	0,0	106,0	71,0	148,0	168,2	52,0	207,0	83,0	0,0	7,0	0,0	0,0	842,2
1976-77	0,0	85,9	120,7	158,0	42,0	42,0	115,0	26,6	0,0	0,0	1,3	0,0	591,5

1977-78	42,0	54,3	20,9	191,7	159,4	67,6	123,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	660,4
1978-79	20,6	58,8	24,2	54,6	97,6	254,9	134,6	22,1	0,0	52,9	0,0	0,0	720,3
1979-80	10,4	184,8	145,0	132,8	127,0	254,9	134,6	35,4	7,2	0,0	0,0	0,0	1032,1
1980-81	0,0	95,6	0,0	115,1	487,0	122,9	27,4	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	873,0
1981-82	0,0	0,4	131,4	77,6	100,2	247,9	122,0	56,4	50,6	0,0	0,0	0,0	786,5
1982-83	0,0	0,6	73,6	131,2	104,4	87,0	58,4	8,4	5,0	50,4	0,0	13,2	532,2
1983-84	31,5	195,6	161,6	122,5	88,0	217,8	78,4	47,9	0,0	0,0	0,0	0,0	943,3
1984-85	0,0	50,4	256,4	241,8	190,5	58,6	53,4	23,0	3,2	0,0	0,0	0,0	877,3
1985-86	0,0	83,5	27,0	160,2	56,7	88,9	46,0	0,0	46,2	0,0	0,0	0,0	508,5
1986-87	131,0	70,4	98,8	169,9	94,0	59,4	110,0	186,3	2,2	0,0	0,0	0,0	922,0
1987-88	0,0	15,5	92,9	81,4	84,0	106,7	66,0	12,6	15,0	0,0	0,0	0,0	474,1
1988-89	0,0	102,4	105,6	114,2	115,2	16,7	218,4	0,0	18,8	0,0	0,0	0,0	691,3
1989-90	0,0	108,4	249,4	22,8	58,6	42,0	7,6	15,8	0,0	0,0	0,0	14,2	518,8
1990-91	20,4	24,9	68,4	70,4	119,5	78,2	44,9	45,7	17,0	0,0	0,0	8,5	497,9
1991-92	0,0	72,0	104,6	197,6	42,5	126,1	128,7	20,0	7,2	6,4	0,0	0,0	705,1
1992-93	0,0	0,0	46,7	142,3	149,9	133,4	39,8	14,7	48,2	12,0	0,0	0,0	587,0
1993-94	0,0	13,2	184,4	27,2	218,5	83,0	23,6	17,8	5,0	0,0	0,0	0,0	572,7
1994-95	0,0	146,8	150,8	74,0	67,6	28,2	68,0	18,0	3,6	0,0	3,4	0,0	560,4
1995-96	6,3	12,1	56,3	29,4	161,4	182,3	180,3	13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	641,6
1996-97	73,2	114,7	73,5	279,0	112,0	66,0	262,1	25,8	0,0	14,4	0,0	0,0	1020,7
1997-98	4,8	84,3	162,4	64,2	82,0	24,0	124,3	17,5	35,6	0,0	0,0	0,0	599,1
1998-99	0,0	44,8	88,1	260,2								0,0	
1999-00	41,7	0,0	152,0	225,8	220,5					0,0	0,0	0,0	
2000-01	0,0	11,4	103,9	150,0	336,8	144,7	4,0	79,6	22,0	0,0	0,0	0,0	852,4
2001-02	0,0	5,0	201,5	275,2	126,4	30,0	38,3	50,3	0,0	0,0	10,6	5,0	742,3
2002-03	73,3	93,5	82,0	145,0	82,0	307,0							782,8
2003-04	1,8	0,0	84,0	245,0	141,0	38,9	21,3	47,0	10,0	0,0	0,0	0,0	589,0
2004-05	0,0	1,2	145,8	90,9	82,4	52,0	32,0	40,0	14,0	0,0	0,0	0,0	458,3
Μεγ. ύψος	131,0	195,6	256,4	279,0	487,0	307,0	262,1	186,3	50,6	52,9	10,6	14,2	1032,1
Ελ. Ύψος	0,0	0,0	0,0	22,8	42,0	16,7	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	458,3
Μ.Ο	15,8	59,7	110,7	137,3	136,3	109,7	90,7	33,0	10,8	4,8	0,5	1,3	696,7

Πίνακας 0.4: Βροχομετρικά στοιχεία Μουρί Χανίων (Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης).

ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΜΜ													
ΥΔΡ.ΕΤΟΣ	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΥΝ.
1963-64				101,0	288,5	157,5	146,0	116,2	11,5	36,0	0,0	0,0	
1964-65	25,0	175,0	390,0	173,0	301,0	146,5	195,0	165,5	20,0	60,0	0,0	0,0	1651,0
1965-66	0,0	52,5	7,0	88,0	111,5	26,0	128,0	9,0	23,5	13,0	0,0	0,0	458,5
1966-67	85,0	30,0	226,0	117,4	164,3	199,5	186,0	27,5	27,0	15,5	0,0	0,0	1078,2
1967-68	0,0	211,0	134,0	163,5	298,5	266,0	41,5	18,5	2,5	17,5	0,0	9,0	1162,0
1968-69	16,0	386,0	160,0	99,0	266,0	0,0	101,0	92,5	39,0	0,0	0,0	0,0	1159,5
1969-70	26,0	126,0	63,0	327,0	211,0	176,0	10,0	29,0	13,0	0,0	0,0	0,0	981,0
1970-71	104,0	96,0	142,0	132,0	323,0	206,0	55,0	28,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1086,0
1971-72	40,0	160,0	114,0	54,0	221,7	177,6	146,7	44,0	82,0	0,0	4,4	12,5	1056,9
1972-73	11,9	366,5	52,1	174,0	462,0	132,7	31,9	19,1	4,6	0,0	4,6	0,0	1259,4
1973-74	18,7	151,6	183,3	44,0	158,1	190,7	138,6	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	890,6
1974-75	15,5	9,1	87,3	166,5	204,9	399,4	23,0	18,8	6,5	0,0	0,0	0,0	931,0
1975-76	0,0	112,0	104,4	242,4	196,1	203,1	385,3	65,1	14,1	0,0	0,0	0,0	1322,5
1976-77	37,7	236,7	102,4	131,7	71,4	24,2	155,6	89,9	0,0	35,0	0,0	0,0	884,6
1977-78	387,9	123,5	116,1	230,2	286,5	73,4	127,5	13,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1359,0
1978-79	47,2	102,9	95,4	144,5	77,2	155,1	134,9	44,6	38,2	88,9	13,6	26,0	968,5
1979-80	15,4	163,2	329,4	52,4	159,3	237,9	93,8	47,3	2,9	0,0	0,0	16,4	1118,0
1980-81	18,8	50,0	6,4	163,6	519,4	157,6	25,6	41,3	8,4	0,0	0,0	0,0	991,1
1981-82	0,0	6,0	144,7	112,4	111,8	370,5	138,0	75,4	52,0	3,6	0,0	42,5	1056,9
1982-83	0,0	5,9	201,7	153,5	183,1	157,1	96,9	4,9	6,5	21,0	9,4	0,0	840,0
1983-84	19,0	129,7	171,1	198,8	156,8	196,4	92,6	70,3	1,5	0,0	20,6	3,5	1060,3
1984-85	0,0	60,5	237,1	175,9	249,1	88,9	82,0	93,5	0,0	0,0	0,0	0,0	987,0
1985-86	0,0	100,4	40,5	231,6	93,4	177,3	84,6	0,0	108,0	0,0	0,0	0,0	835,8
1986-87	303,6	87,8	143,6	266,2	160,7	171,2	265,5	248,8	19,6	0,0	0,0	0,0	1667,0
1987-88	0,0	12,0	194,6	103,8	122,8	246,7	97,7	32,0	41,6	0,0	0,0	0,0	851,2
1988-89	0,0	174,1	183,6	211,2	139,1	20,9	215,3	0,0	17,3	0,0	0,0	0,0	961,5
1989-90	0,0	62,4	311,0	62,4	118,3	79,2	0,0	24,3	0,0	25,6	0,0	12,1	695,3
1990-91	137,9	120,0	74,8	179,9	208,6	236,0	51,9	124,1	11,7	0,0	0,0	0,0	1144,9

1991-92	0,0	183,0	254,1	563,7	59,4	170,7	73,8	51,4	28,7	59,6	0,0	0,0	1444,4
1992-93	0,0	0,0	47,3	238,8	134,9	253,0	71,0	23,7	26,4	21,0	0,0	0,0	816,1
1993-94	0,0	18,4	394,8	34,7	312,6	175,4	72,4	45,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1053,8
1994-95	0,0	216,0	174,0	213,1	121,0	64,2	96,2	25,6	14,0	0,0	0,0	0,0	924,1
1995-96	19,9	48,1	104,6	100,2	340,9	232,5	245,5	22,1	11,2	0,0	0,0	0,0	1125,0
1996-97	60,6	210,9	78,3	277,9	215,4	138,5	297,1	35,2	22,8	2,4	0,0	0,0	1339,1
1997-98	2,6	217,0	164,7	245,0	207,7	68,3	299,6	21,7	75,1	0,0	0,0	0,0	1301,7
1998-99	0,0	67,6	169,4	453,2								0,0	
1999-00	83,9	1,0	80,6	231,3	249,5	104,2	56,6	21,9	16,0	0,0	0,0	0,0	845,0
2000-01	2,1	32,7	108,3	313,0	365,9	309,4	46,0	84,0	139,8	0,0	18,0	0,0	1419,2
2001-02	0,0	33,6	193,4	467,9	313,9	66,9	59,2	32,7	2,3	0,0	15,0	7,5	1192,4
2002-03	106,8	127,5	241,4	360,4	91,6	428,8	449,5	161,5	17,3	0,0	0,0	0,0	1984,8
2003-04	32,3	3,1	75,7	392,8	253,4	142,8	78,4	56,0	21,4	1,3	0,0	4,8	1062,0
2004-05	0,0	52,6	142,4	137,1	208,3	241,0	16,3	75,5	21,0	0,0	0,0	0,0	894,2
Μεγ.ύψος	387,9	386,0	394,8	563,7	519,4	428,8	449,5	248,8	139,8	88,9	20,6	42,5	1984,8
Ελ. Ύψος	0,0	0,0	6,4	34,7	59,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	458,5
Μ.Ο	39,5	110,3	152,3	198,3	213,1	172,4	127,4	53,3	23,2	10,0	2,1	3,3	1101,7

Πίνακας 0.5: Βροχομετρικά στοιχεία Παλαιά Ρούματα Χανίων (Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης).

ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΜΜ													
ΥΔΡ.ΕΤΟΣ	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΥΝ.
1960-61	28,7	13,3	211,4	236,8	200,7	448,4	136,4	54,3	21,2	19,8	0,0	0,0	1371,0
1961-62	1,8	535,2	57,1	367,6	327,4	230,6	62,7	26,6	58,5	3,4	0,0	0,0	1670,9
1962-63	86,6	323,6	76,2	418,1	338,3	205,6	215,8	57,1	33,4	20,0	0,0	0,0	1774,7
1963-64	0,0	248,8	97,3	63,2	429,0	128,0	135,5	45,7	14,8	18,8	0,0	0,0	1181,1
1964-65	37,7	27,2	42,7	212,2	469,4	37,0	176,0	26,6	71,0	45,0	0,0	0,0	1144,8
1965-66	0,0	32,0	12,0	133,0	274,0	60,0	309,0	28,0	50,0	33,0	0,0	0,0	931,0
1966-67	136,5	66,0	194,0	490,0	288,0	171,0	380,0	100,0	20,0	8,0	0,0	0,0	1853,5
1967-68	30,0	215,0	110,0	475,0	530,0	410,0	95,0	40,0	0,0	35,0	0,0	0,0	1940,0
1968-69	0,0	370,0	350,0	355,0	615,0	80,0	240,0	120,0	70,0	0,0	0,0	0,0	2200,0

1969-70	15,0	170,0	60,0	480,0	160,0	132,0	211,0	26,0	23,0	0,0	0,0	0,0	1277,0
1970-71	48,0	178,0	175,0	131,0	485,0	448,0	108,0	50,0	10,0	1,0	4,0	5,0	1643,0
1971-72	36,0	56,0	152,0	75,6	91,5	126,0	269,8	160,9	26,7	6,0	0,7	2,5	1003,7
1972-73	5,5	277,5	54,7	242,0	476,5	254,0	28,7	97,7	0,5	0,0	0,0	0,0	1437,1
1973-74	0,0	218,5	126,7	58,8	161,9	164,7	180,0	3,1	7,4	24,0	0,0	0,0	945,1
1974-75	42,4	68,0	152,4	244,0	322,2	280,4	49,4	37,0	15,4	22,7	0,0	0,0	1233,9
1975-76	1,7	24,9	188,5	247,5	290,5	261,8	335,2	89,6	4,0	4,2	3,0	0,0	1450,9
1976-77	0,0	307,9	174,2	113,2	83,2	60,6	129,2	104,4	0,0	0,0	12,0	0,0	984,7
1977-78	140,4	24,8	150,6	598,0	411,5	179,1	186,4	55,3	3,3	0,0	0,0	0,0	1749,4
1978-79	68,6	151,9	148,8	223,7	177,0	224,6	123,0	45,1	37,2	76,3	5,9	0,0	1282,1
1979-80	11,3	80,8	350,7	345,0	254,5	329,6	104,6	44,4	7,8	1,5	0,0	7,5	1537,7
1980-81	11,5	11,5	110,6	51,7	227,2	815,8	301,2	50,4	26,3	14,5	0,0	0,0	1620,7
1981-82	0,0	8,5	287,3	342,0	167,5	467,8	303,9	70,2	65,5	0,0	1,0	8,3	1722,0
1982-83	3,3	35,3	147,7	188,4	278,4	245,7	135,7	15,5	8,6	68,7	1,0	11,0	1139,3
1983-84	91,2	130,7	180,3	259,2	157,9	351,3	99,0	90,7	2,7	0,0	1,0	0,0	1364,0
1984-85	0,0	15,3	366,7	238,5	470,7	139,4	103,1	65,2	2,3	0,0	0,0	0,0	1401,2
1985-86	6,5	145,0	92,4	278,9	138,0	175,4	79,0	0,0	63,5	13,6	0,0	1,0	993,3
1986-87	96,5	134,7	158,8	234,5	200,6	186,8	182,1	229,6	5,5	0,0	0,0	0,0	1429,1
1987-88	0,0	22,8	142,2	167,7	131,9	333,3	192,2	13,5	36,2	0,0	0,0	0,0	1039,8
1988-89	13,2	130,1	184,7	268,1	246,6	47,7	422,9	4,0	12,4	0,0	0,0	0,0	1329,7
1989-90	0,0	107,2	152,8	39,1	69,0	145,6	5,2	48,4	0,5	14,7	0,0	57,2	639,7
1990-91	16,2	28,8	39,5	188,7	267,6	145,5	54,5	51,0	33,2	2,3	0,0	0,0	827,3
1991-92	0,0	87,8	81,5	585,1	128,1	146,5	156,6	49,0	73,8	2,0	0,0	0,0	1310,4
1992-93	0,0	2,0	76,6	245,7	266,4	335,0	103,3	30,3	30,1	1,0	0,0	0,0	1090,4
1993-94	9,5	62,0	273,8	77,0	318,5	166,6	44,8	59,5	20,0	0,0	0,0	0,0	1031,7
1994-95	0,0	104,2	239,7	136,1	193,2	44,6	127,0	43,0	1,2	0,0	3,0	0,0	892,0
1995-96	69,5	66,5	165,0	127,0	243,7	308,9	258,7	13,3	43,9	0,0	0,0	0,0	1296,5
1996-97	128,6	114,3	35,8	435,1	332,2	272,3	423,4	43,5	42,0	0,0	0,0	0,0	1827,2
1997-98	7,5	61,1	195,1	252,0	238,7	31,1	317,0	75,0	54,6	0,0	0,0	0,0	1232,1
1998-99	0,0	69,7	186,1	486,2	373,3	103,0	98,6	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1334,9
1999-00	36,7	5,6	51,1	247,7	381,6	132,8	76,9	141,0	17,1	0,0	0,0	0,0	1090,5
2000-01	4,0	56,5	174,3	260,1	314,8	344,6	45,1	96,2	60,0	0,0	0,0	0,0	1355,6
2001-02	0,0	12,5	279,2	355,0	245,1	120,1	120,5	64,9	6,2	0,0	5,5	11,5	1220,5
2002-03	38,2	114,4	187,9	301,5	238,3	448,5	211,9	130,0	60,0	0,0	0,0	7,0	1737,7

Μπουτσάκης Εμ. Κωνσταντίνος	Γεωλογική και υδροχημική μελέτη των ιστορικά ιαματικών και θερμομεταλλικών πηγών του Φυλλιτικού Καλύμματος στην Κρήτη
-----------------------------	---

2003-04	2,5	2,6	219,8	305,2	321,0	142,1	33,6	30,0	3,8	0,0	0,0	0,0	1060,6
2004-05	13,0	31,0	146,8	196,0	206,2	220,8	36,3	52,7	43,2	0,0	1,2	2,0	949,2
Μεγ.ύψος	140,4	535,2	366,7	598,0	615,0	815,8	423,4	229,6	73,8	76,3	12,0	57,2	2200,0
Ελ. Ύψος	0,0	2,0	12,0	39,1	69,0	31,1	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	639,7
Μ.Ο	27,5	110,0	156,9	261,7	278,7	224,5	164,6	59,9	26,4	9,7	0,9	2,5	1323,3

Πίνακας 0.6: Βροχομετρικά στοιχεία Πρασσές Χανίων (Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης).

ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΜΜ													
ΥΔΡ.ΕΤΟΣ	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΥΝ.
1990-91				260,1	349,3	151,8	79,9	102,1	39,8	0,8	0,0	0,0	
1991-92	0,0	120,1	113,5	706,9	165,0	110,2	161,4	68,6	189,5	0,0	0,2	0,0	1635,4
1992-93	0,0	0,5	114,0	263,0	307,3	388,0	148,1	31,6	34,7	5,2	0,0	0,0	1292,4
1993-94	0,3	101,8	284,3	57,0	357,3	202,1	86,6	71,0	22,1	0,0	0,0	0,0	1182,5
1994-95	0,0	300,2	385,8	211,6	350,9	75,1	170,6	40,9	9,2	0,0	3,8	0,0	1548,1
1995-96	23,0	61,1	212,0	186,9	396,7	361,5	305,2	26,0	39,7	0,0	0,0	0,0	1612,1
1996-97	148,5	164,4	52,9	487,8	520,8	391,9	680,8	85,7	56,0	6,1	0,0	0,0	2594,9
1997-98	7,2	238,4	333,5	399,5	322,0	72,8	557,7	110,9	47,7	0,0	0,0	0,0	2089,7
1998-99	0,5	78,5	351,7	957,1	577,0	148,0	180,4	42,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2335,5
1999-00	54,4	14,1	125,4	319,0	441,9	181,4	109,9	109,9	36,4	0,0	0,0	0,0	1392,4
2000-01	5,5	82,7	375,8	346,8	480,4	486,8	55,9	147,4	118,0	0,0	0,0	21,3	2120,6
2001-02	0,0	32,7	432,9	779,3	292,7	111,2	103,0	85,4	1,1	0,0	9,0	17,9	1865,2
2002-03	94,5	105,9	340,4	432,8	387,4	639,4	531,4	218,3	97,3	0,0	0,0	8,2	2855,6
2003-04	10,5	5,4	307,6	527,3	445,3	258,3	95,9	79,0	37,5	1,1	0,0	31,4	1799,3
2004-05	40,5	76,1	224,8	252,1	317,9	280,5	41,6	107,3	70,8	0,0	0,0	5,8	1417,4
Μεγ.ύψος	148,5	300,2	432,9	957,1	577,0	639,4	680,8	218,3	189,5	6,1	9,0	31,4	2855,6
Ελ. Ύψος	0,0	0,5	52,9	57,0	165,0	72,8	41,6	26,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1182,5
Μ.Ο	27,5	98,7	261,0	412,5	380,8	257,3	220,6	88,4	53,3	0,9	0,9	5,6	1838,7

Μπουτσάκης Εμ. Κωνσταντίνος	Γεωλογική και υδροχημική μελέτη των ιστορικά ιαματικών και θερμομεταλλικών πηγών του Φυλλιτικού Καλύμματος στην Κρήτη
-----------------------------	---

Πίνακας 0.7: Βροχομετρικά στοιχεία Μετεωρολογικού Σταθμού Χανίων (Σχέδιο διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης, Σεπτέμβριος 2017).

Μέσο ύψος βροχόπτωσης περιόδου 02/2006 έως 04/2017													
Μήνας	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΥΝ.
Μέσο ύψος βροχόπτωσης (mm)	12,62	87,01	59,13	107,62	114,36	97,94	50,53	25,20	17,98	1,80	0,04	3,35	577,58

Παράρτημα Β:

ΦΕΚ 3282 / Β' / 19-09-2017



39381

ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ

ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ

19 Σεπτεμβρίου 2017

ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

Αρ. Φύλλου 3282

ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ

Αριθμ. Γ1(δ)/ ΓΠ οικ.67322

Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της 3ης Νοεμβρίου 1998 όπως τροποποιήθηκε με την Οδηγία (ΕΕ) 2015/1787 (L260, 7.10.2015).

ΟΙ ΥΠΟΥΡΓΟΙ

ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ - ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ - ΥΓΕΙΑΣ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ,

Έχοντας υπόψη :

1. Τις διατάξεις του άρθρου 1 του α.ν. 2520/1940 «Περί Υγειονομικών Διατάξεων» (ΦΕΚ 237/Α/1940), όπως ισχύει.
2. Τις διατάξεις του άρθρου 43 του ν. 4025/2011 (ΦΕΚ 228/Α/2011) όπως τροποποιήθηκαν με τις διατάξεις του άρθρου 58 (παρ. 1-4) του ν. 4075/2012 (ΦΕΚ 89/Α/2012).
3. Τις διατάξεις των ν. 3172/03 (ΦΕΚ 197/Α/2003) για την οργάνωση και εκσυγχρονισμό των Υπηρεσιών Δημ. Υγείας και ν. 3370/2005 (ΦΕΚ 176/Α/2005) για την οργάνωση και λειτουργία των Υπηρεσιών Δημ. Υγείας.
4. Το π.δ. 106/2014 (ΦΕΚ 173/Α/2014) «Οργανισμός Υπουργείου Υγείας», όπως ισχύει.
5. Το π.δ. 63/2005 (ΦΕΚ 98/Α/2005) «Κωδικοποίηση της νομοθεσίας για την κυβέρνηση και τα κυβερνητικά όργανα», όπως ισχύει.
6. Τις διατάξεις του ν.3852/2010 «Νέα Αρχιτεκτονική της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης- Πρόγραμμα Καλλικράτης» (ΦΕΚ 87/Α/2010), όπως ισχύει.
7. Τις διατάξεις του άρθρου 1 (παρ. 1, 2, 3 και 4) και του άρθρου 2 (παρ. 1ζ, 1η) του ν. 1338/1983 «Εφαρμογή του Κοινοτικού Δικαίου» (Α' 34) όπως αυτός τροποποιήθηκε

9. Την υπ' αριθ. Η.Π. 11764/653/2006 υπουργική απόφαση «Πρόσβαση του κοινού στις δημόσιες Αρχές για παροχή πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2003/4/ΕΚ «για την πρόσβαση του κοινού σε περιβαλλοντικές πληροφορίες και για την κατάργηση της οδηγίας 90/313/ΕΟΚ» του Συμβουλίου. Αντικατάσταση της υπ' αριθ. 77921/1440/95 κοινής υπουργικής απόφασης» (ΦΕΚ 327/Β/2006)

10. Τις διατάξεις του άρθρου 10 του ν. 1650/1986 «Πα την προστασία του περιβάλλοντος» (ΦΕΚ 160/Α/1986)

11. Την Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892Β/11-7-2001) κοινή υπουργική απόφαση σχετικά με την «ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης» όπως τροποποιήθηκε με την ΔΥΓ2/Γ.Π.οικ.38295/22.3.07 κοινή υπουργική απόφαση (ΦΕΚ 630/Β/26.4.2007).

12. Την Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρ. Ένωσης, της 3ης Νοεμβρίου 1998, σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.

13. Την Οδηγία (ΕΕ) 2015/1787 της Επιτροπής της 6ης Οκτωβρίου 2015 για την τροποποίηση των παραρτημάτων II και III της Οδηγίας 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.

14. Την υπ. αριθμ. Π/112/1057/2016/1.2.2016 κοινή υπουργική απόφαση «θέσπιση απαιτήσεων προστασίας της υγείας του πληθυσμού από ραδιενεργές ουσίες που περιέχονται στο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης, σε συμμόρφωση προς την Οδηγία 2013/51/ΕΥΡΑΤΟΜ του Συμβουλίου, της 22ας Οκτωβρίου 2013» (ΦΕΚ 241/Β/9-2-2016).

15. Το γεγονός ότι, όπως προκύπτει από το άρθρο 9 της Οδηγίας 98/83 ΕΚ και σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, έχει παρέλθει η προθεσμία για τη δυνατότητα χορήγησης παρέκκλισης από την παραμετρική τιμή των χημικών παραμέτρων (Μέρος Β Παράρτημα I της Οδηγίας 98/83/ΕΚ)

με το άρθρο 6 του ν. 1440/1984 «Συμμετοχή της Ελλάδας στο κεφάλαιο, στα αποθεματικά και στις προβλέψεις της Ευρωπαϊκής Τράπεζας Επενδύσεων κ.λπ.» (Α' 70) και του άρθρου 65 του ν. 1892/1990 (Α' 101) όπως ισχύει σήμερα

8. Τις διατάξεις του άρθρου 2 του ν. 2077/1992 «Κύρωση της Συνθήκης για την Ευρωπαϊκή Ένωση και των σχετικών πρωτοκόλλων και δηλώσεων που περιλαμβάνονται στην τελική πράξη» (ΦΕΚ 136/Α/7.8.1992).

16. Την αρχή της προφύλαξης σε συνδυασμό με τα τελευταία διεθνή επιστημονικά και τεχνολογικά δεδομένα

17. Την υπ' αριθμ. Υ172/4.11.2016 απόφαση του Πρωθυπουργού «Καθορισμός σειράς τάξης των Υπουργείων» (ΦΕΚ 3610/Β/2016).

18. Το π.δ. 100/2014 «Οργανισμός του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής» (ΦΕΚ 167/Β/28.8.2014) σε συνδυασμό με την κοινή υπουργική

απόφαση 322/2013 (ΦΕΚ 679/Β/2013) «Οργάνωση της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων του ΥΠΕΚΑ», όπως ισχύουν.

19. Την με αριθμ. Υ/98/2016 απόφαση του Πρωθυπουργού «Ανάθεση αρμοδιοτήτων στον Αναπληρωτή Υπουργό Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Σωκράτη Φαμέλλο» (ΦΕΚ Β/3722).

20. Την από 6/7/2017 αποιολογημένη εισήγηση του Τμήματος Υγιεινής Περιβάλλοντος της Δ/νσης Δημόσιας Υγείας του Υπουργείου Υγείας, σύμφωνα με τα αναφερόμενα στο άρθρο 58 παρ.1 του ν.4075/2012.

21. Την ανάγκη προστασίας της δημόσιας υγείας.

22. Την αριθ. Β1α/Γ.Π.οικ. 53994/12.7.2017 εισήγηση της Γεν. Δ/νσης Οικονομικών Υπηρεσιών του Υπουργείου Υγείας ότι από το περιεχόμενο της παρούσας ΥΑ δεν προκαλείται δαπάνη σε βάρος του κρατικού προϋπολογισμού.

Άρθρο 1

Σκοπός

(άρθρο 1 Οδηγίας 98/83/ΕΚ)

Σκοπός της παρούσας Απόφασης είναι:

α) η συμμόρφωση της Ελληνικής Νομοθεσίας με τις διατάξεις της Οδηγίας (ΕΕ) 2015/1787 της Επιτροπής (L260, 7.10.2015) «για την τροποποίηση των παραρτημάτων II και III της Οδηγίας 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης», και

β) η αναδιτύπωση της κοινής υπουργικής απόφασης Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892/Β/2001) σχετικά με την ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης όπως αυτή έχει τροποποιηθεί με τη ΔΥΤ2/ΓΠοικ 38295/22.3.2007 κοινή υπουργική απόφαση (ΦΕΚ 630/Β/26.4.2007) και έχει διορθωθεί στα ΦΕΚ 986/Β/2007 και ΦΕΚ 1215/Β/2012 με στόχο την προστασία της ανθρώπινης υγείας από τις δυσμενείς επιπτώσεις που οφείλονται στη ρύπανση ή/

3. "οικιακά συστήματα διανομής": οι σωληνώσεις, τα εξαρτήματα και οι συσκευές που έχουν εγκατασταθεί μεταξύ των κρουνών που συνήθως χρησιμοποιούνται για παροχή νερού ανθρώπινης κατανάλωσης και του δικτύου διανομής, αλλά μόνον εφόσον αυτά δεν υπάγονται στην ευθύνη του φορέα ύδρευσης, υπό την ιδιότητα του αυτή.

4. "επικύρωση": ως επικύρωση μεθόδων (validation) ορίζεται η διαδικασία που αποδεικνύει ότι η μέθοδος δίνει το σωστό αποτέλεσμα όσον αφορά π.χ. σε προκαθορισμένα Όρια ανίχνευσης, εκλεκτικότητας/επιλεκτικότητας, επαναληψιμότητας, αναπαραγωγιμότητας και γραμμικότητας. Ο όρος αυτός προσδιορίζεται περαιτέρω στο πρότυπο ISO/IEC 17025.

Άρθρο 3

Εξαιρέσεις

(Άρθρο 3 Οδηγίας 98/83/ΕΚ)

Η παρούσα Απόφαση δεν εφαρμόζεται:

α) Στο φυσικό μεταλλικό νερό που αναγνωρίζεται ως τέτοιο με απόφαση του Υπουργού Υγείας, σύμφωνα με το π.δ. 433/1983 "Όροι εκμετάλλευσης και κυκλοφορίας στο εμπόριο των φυσικών μεταλλικών νερών" (ΦΕΚ 163/ Α/1983), όπως αυτό τροποποιήθηκε με την κοινή υπουργική απόφαση Υ2/οικ. 329/1998 (ΦΕΚ 114 Β/1998), τα οποία εκδόθηκαν σε εναρμόνιση της Οδηγίας 80/777/ΕΟΚ της 15ης Ιουλίου 1980, όπως αυτή τροποποιήθηκε από την Οδηγία 96/70/ΕΚ του Συμβουλίου της 23ης Νοεμβρίου 1996, περί προσεγγίσεως των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με την εκμετάλλευση και τη θέση στο εμπόριο των φυσικών μεταλλικών νερών και αναδιτύπωση με την Οδηγία 2009/54/ΕΚ.

β) Στο νερό, που θεωρείται φάρμακο κατά την έννοια της κοινής υπουργικής απόφασης ΔΥΤ3α/ΓΠ32221/13

και μόλυνση του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης μέσω της εξασφάλισης ότι είναι υγιεινό και καθαρό.

Άρθρο 2

Ορισμοί

(Άρθρο 2 Οδηγίας 98/83/ΕΚ)

Κατά την έννοια της παρούσας νοούνται ως:

1. "νερό ανθρώπινης κατανάλωσης":

α) το νερό, είτε στη φυσική του κατάσταση είτε μετά από επεξεργασία, που προορίζεται για πόση, μαγείρεμα, προπαρασκευή τροφής ή άλλες οικιακές χρήσεις, ανεξάρτητα από την προέλευσή του και από το εάν παρέχεται από δίκτυο διανομής, από βυτία, ή σε φιάλες ή δοχεία.

β) το νερό που χρησιμοποιείται στις επιχειρήσεις παραγωγής τροφίμων για την παρασκευή, επεξεργασία, συντήρηση ή εμπορία προϊόντων ή ουσιών, που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση.

Το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης δεν εντάσσεται στην έννοια του τροφίμου, παρέχεται με υποχρέωση της Πολιτείας σε όλους τους πολίτες της επικράτειας ως δημόσιο αγαθό, μη υπαγόμενο στους κανόνες της αγοράς και διέπεται από τους νόμους της υγιεινομικής μηχανικής.

2. "οικιακές χρήσεις": χρήσεις του νερού, κατά τρόπο που να έρχεται σε άμεση ή έμμεση επαφή με τον ανθρώπινο οργανισμό

(ΦΕΚ Β/1049), όπως ισχύει σήμερα.

γ) Στο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης που λαμβάνεται από συγκεκριμένη (ατομική) πηγή με παροχή μικρότερη των 10 m³ ημερησίως κατά μέσο όρο, ή που εξυπηρετεί λιγότερα από 50 άτομα. Η ανωτέρω εξαίρεση είναι δυνατή μόνον εάν το νερό δεν διατίθεται στο πλαίσιο εμπορικής ή δημόσιας δραστηριότητας.

Άρθρο 4

Γενικές υποχρεώσεις

(Άρθρο 4 Οδηγίας 98/83/ΕΚ)

1. Με την επιφύλαξη των υποχρεώσεων τους δυνάμει άλλων κοινοτικών ή εθνικών διατάξεων, οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα ώστε να εξασφαλιστεί ότι το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης είναι υγιεινό και καθαρό. Για τους σκοπούς των ελαχίστων απαιτήσεων της παρούσας υγιεινομικής διάταξης, το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης είναι υγιεινό και καθαρό εφόσον:

α) είναι απαλλαγμένο μικροοργανισμών και παρασίτων, και οποιωνδήποτε ουσιών, σε αριθμούς και συγκεντρώσεις, που αποτελούν ενδεχόμενο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και

β) πληροί τις ελαχίστες απαιτήσεις του Παραρτήματος Ι μέρη Α και Β, και εφόσον σύμφωνα με τις σχετικές δια-

τάξεις των άρθρων 5 έως 9, οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι, το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης συμμορφούται προς τις απαιτήσεις της παρούσας διάταξης.

2. Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές εξασφαλίζουν ότι τα μέτρα που λαμβάνονται για την εφαρμογή της παρούσας διάταξης δεν οδηγούν, σε καμιά περίπτωση, σε άμεση ή έμμεση υποβάθμιση της σημερινής ποιότητας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, στο μέτρο που αυτό αφορά στην προστασία της ανθρώπινης υγείας, ούτε σε αύξηση της ρύπανσης του νερού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή πόσιμου νερού.

Άρθρο 5

Ποιοτικές προδιαγραφές

(Άρθρο 45 Οδηγίας 98/83/ΕΚ)

σία με τις αρμόδιες Αρχές εξασφαλίζουν παρόλα ταύτα ότι:

α) λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα ώστε να μειωθεί ή να εξαλειφθεί ο κίνδυνος μη τήρησης των παραμετρικών τιμών, όπως η παροχή οδηγιών στους ιδιοκτήτες σχετικά με κάθε ενδεχόμενη επανορθωτική ενέργεια που θα μπορούσαν να αναλάβουν ή και λαμβάνονται άλλα μέτρα, όπως κατάλληλες τεχνικές επεξεργασίας, προκειμένου να μεταβληθεί η φύση ή οι ιδιότητες του νερού πριν από την διάθεσή του ώστε να μειωθεί ή να εξαλειφθεί ο κίνδυνος ότι το νερό δεν ανταποκρίνεται στις παραμετρικές τιμές μετά τη διάθεσή και

β) οι ενδιαφερόμενοι καταναλωτές ενημερώνονται δεόντως και λαμβάνουν οδηγίες για ενδεχόμενες πρόσθετες επανορθωτικές ενέργειες που θα πρέπει να αναλάβουν.

Άρθρο 7

Οι τιμές των παραμέτρων του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης καθορίζονται στο Παράρτημα Ι.

Ειδικότερα όσον αφορά στις παραμέτρους του Παραρτήματος Ι μέρος Γ, οι τιμές αυτές καθορίζονται μόνον για λόγους παρακολούθησης και για την τήρηση των υποχρεώσεων του άρθρου 8.

Άρθρο 6

Σημείο τήρησης

(Άρθρο 6 Οδηγίας 98/83/ΕΚ)

1. Οι παραμετρικές τιμές που καθορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 5, πρέπει να τηρούνται:

α) για το νερό που παρέχεται από το δίκτυο διανομής, στο σημείο, εντός του κτιρίου ή της κτιριακής εγκατάστασης, στο οποίο βγαίνει από τη βρύση, που χρησιμοποιείται συνήθως για παροχή νερού ανθρώπινης κατανάλωσης

β) για το νερό που παρέχεται από βυτίο, στο σημείο όπου το νερό εξέρχεται από το βυτίο

γ) για νερό που τοποθετείται σε φιάλες ή δοχεία προς πώληση, στο σημείο στο οποίο το νερό τοποθετείται σε φιάλες ή δοχεία

δ) για το νερό που χρησιμοποιείται σε επιχείρηση παραγωγής τροφίμων, στο σημείο όπου το νερό χρησιμοποιείται στην επιχείρηση

2. Στην περίπτωση του νερού της παραγράφου 1 εδάφιο (α), οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές τεκμαίρεται ότι πληρούν τις υποχρεώσεις του παρόντος άρθρου, του άρθρου 4 και του άρθρου 8 παραγράφου 2, εφόσον είναι δυνατόν να αποδειχθεί ότι η μη τήρηση των παραμετρικών τιμών που καθορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 5, οφείλεται στο οικιακό σύστημα διανομής ή στην συντήρησή του, εξαιρουμένων όμως των κτιρίων και κτιριακών εγκαταστάσεων όπου το νερό παρέχεται στο κοινό, όπως στα σχολεία, τα νοσοκομεία και τα εσπιατόρια, για τα οποία ο υπεύθυνος ορίζεται από τις κείμενες διατάξεις.

3. Όταν εφαρμόζεται η παράγραφος 2, και υπάρχει κίνδυνος ότι το νερό της παραγράφου 1 εδάφιο (α), δεν ανταποκρίνεται στις παραμετρικές τιμές που καθορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 5, οι υπεύθυνοι σε συνεργασία

Παρακολούθηση

(Άρθρο 7 Οδηγίας 98/83/ΕΚ)

1. Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα ώστε να εξασφαλίσουν ότι παρακολουθείται τακτικά η ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, προκειμένου να ελέγχεται αν το διατιθέμενο στους καταναλωτές νερό πληροί τις απαιτήσεις της παρούσας διάταξης και ιδίως τις παραμετρικές τιμές που καθορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 5. Θα πρέπει να λαμβάνονται δείγματα τα οποία να είναι αντιπροσωπευτικά της ποιότητας του νερού που καταναλώνεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Επιπλέον, οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα ώστε να εξασφαλίζεται ο έλεγχος της αποτελεσματικής απολύμανσης του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, σύμφωνα με τις διατάξεις της Υ.Μ. 5673/4.12.57 (ΦΕΚ 5/Β/1958), όταν αυτή αποτελεί μέρος της διαδικασίας επεξεργασίας ή διανομής του νερού και ότι η συγκέντρωση των παραπρόϊκτων απολύμανσης συγκρατείται σε όσο το δυνατόν πιο χαμηλά όρια, χωρίς να διακυβεύεται η απολύμανση.

2. Για την τήρηση των υποχρεώσεων της παραγράφου 1, οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές καταρτίζουν κατάλληλα προγράμματα παρακολούθησης του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.

Τα εν λόγω προγράμματα παρακολούθησης πρέπει να πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις του Παραρτήματος ΙΙ.

3. Τα σημεία δειγματοληψίας καθορίζονται από τους υπεύθυνους σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές και πρέπει να συμμορφώνονται με τις σχετικές απαιτήσεις του Παραρτήματος ΙΙ.

4α) Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές πρέπει να τηρούν τις προδιαγραφές αναλύσεως παραμέτρων που καθορίζονται στο Παράρτημα ΙΙΙ.

β) Αντί των μεθόδων που αναφέρονται στο Παράρτημα ΙΙΙ μέρος Α, είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται εναλλακτικές μέθοδοι (επικυρωμένες), εφόσον μπορεί να αποδειχθεί ότι τα λαμβανόμενα αποτελέσματα είναι τουλάχιστον εξίσου αξιόπιστα με εκείνα των μεθόδων που έχουν προκαθοριστεί. Εάν χρησιμοποιηθεί εναλλακτική μέθοδος το Υπουργείο Υγείας διαβιβάζει στην Επι-

τροπή όλα τα σχετικά στοιχεία που αφορούν τη μέθοδο αυτή και την ισοδυναμία της.

γ) Για τις παραμέτρους του Παραρτήματος ΙΙΙ μέρος Β, είναι δυνατόν να χρησιμοποιείται οποιαδήποτε μέθοδος ανάλυσης, εφόσον τηρούνται οι απαιτήσεις του μέρους αυτού.

5. Παρακολούθηση της ποιότητας του νερού από τις αρμόδιες Αρχές

Οι Υπηρεσίες Περιβαλλοντικής Υγιεινής και Υγειονομικού Ελέγχου των Περιφερειακών Ενότητων παρακολουθούν συστηματικά την κατάσταση των συστημάτων ύδρευσης στην περιοχή αρμοδιότητάς τους. Για το σκοπό αυτό διενεργούν υγειονομικούς ελέγχους με συχνότητα σύμφωνα με τον Πίνακα που ακολουθεί:

Όγκος νερού (V) που διανέμεται ή παράγεται ημερησίως εντός της ζώνης παροχής (Βλέπε σημειώσεις 1 και 2) m ³	Αριθμός ελέγχων
≤100	Κατά την κρίση της Υπηρεσίας και τουλάχιστον μία φορά ανά τριετία
100<V≤1000	1 ανά έτος
1000<V≤10.000	2 ανά έτος
10.000<V≤100.000	3 ανά έτος
>100.000	4 ανά έτος

Σημείωση 1: Ως ζώνη παροχής νοείται μια γεωγραφικά καθορισμένη περιοχή εντός της οποίας το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης εισέρχεται από μία ή περισσότερες πηγές και η ποιότητα του νερού μπορεί να θεωρηθεί ως περίπου ομοιόμορφη.

Σημείωση 2: Οι όγκοι υπολογίζονται ως μέσες τιμές για ένα ημερολογιακό έτος. Για τον καθορισμό της ελάχιστης συχνότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο αριθμός κατοίκων μιας ζώνης παροχής αντί για τον όγκο του νερού, με την παραδοχή ότι η κατά κεφαλήν κατανάλωση νερού είναι 200 L/ημέρα.

Ο υγειονομικός έλεγχος περιλαμβάνει:

- υγειονομική αναγνώριση των διαφόρων τμημάτων των συστημάτων ύδρευσης (από την πηγή έως το σημείο τήρησης του άρθρου 6) και του τρόπου λειτουργίας τους
- δειγματοληψία νερού για εργαστηριακές εξετάσεις όλων των παραμέτρων του Παραρτήματος Ι.

- έλεγχο του υπολειμματικού χλωρίου,

Τα αποτελέσματα αποστέλλονται άμεσα στο Υπουργείο Υγείας.

6. Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές εξασφαλίζουν ότι διενεργείται συμπληρωματική κατά περίπτωση παρακολούθηση για τις ουσίες και τους μικροοργανισμούς για τους οποίους δεν καθορίζεται παραμετρική τιμή σύμφωνα με το άρθρο 5, όταν υπάρχουν

Άρθρο 8

Επανορθωτικές ενέργειες και περιορισμοί χρήσεως (Άρθρο 8 Οδηγίας 98/83/ΕΚ)

1. Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές μεριμνούν ώστε να διερευνούνται αμέσως κάθε παράλειψη της τήρησης των παραμετρικών τιμών που καθορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 5 ώστε να εντοπίζονται τα αίτια.

2. Εάν, παρά τα μέτρα που λαμβάνονται για να τηρηθούν οι υποχρεώσεις του άρθρου 4 παράγραφος 1, το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης εξακολουθεί να μην πληροί τις παραμετρικές τιμές που καθορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 5, και με την επιφύλαξη του άρθρου 6 παράγραφος 2, οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές εξασφαλίζουν ότι αναλαμβάνονται, το ταχύτερο δυνατόν, οι απαιτούμενες επανορθωτικές ενέργειες για την αποκατάσταση της ποιότητας του, και δίνουν προτεραιότητα στην εφαρμογή τους, λαμβάνοντας υπόψη μεταξύ άλλων και το βαθμό υπέρβασης των σχετικών παραμετρικών τιμών και τον ενδεχόμενο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία.

3. Ανεξαρτήτως του αν έχει σημειωθεί ή όχι η μη τήρηση των παραμετρικών τιμών, οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές εξασφαλίζουν ότι η παροχή νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, το οποίο αποτελεί ενδεχόμενο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία απαγορεύεται και διακόπτεται ή περιορίζεται η χρήση του ή αναλαμβάνονται οι αναγκαίες ενέργειες για να προστατευθεί η ανθρώπινη υγεία.

Στις περιπτώσεις αυτές, οι καταναλωτές ενημερώνονται αμέσως σχετικά και τους παρέχονται οι απαραίτητες οδηγίες. Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές αποφασίζουν ποιες ενέργειες δύναμει της παρούσας παραγράφου θα πρέπει να αναληφθούν, λαμβάνοντας επίσης υπόψη τους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία οι οποίοι θα προέκυπταν από τυχόν διακοπή της παροχής ή περιορισμό της χρήσης νερού ανθρώπινης κατανάλωσης. Οι αρμόδιες Αρχές καταρτίζουν κατευθυντήριες οδηγίες προς τους υπευθύνους για την εκπλήρωση των ανωτέρω υποχρεώσεων της παρούσας παραγράφου.

4. Σε περίπτωση μη τήρησης των παραμετρικών τιμών ή των προδιαγραφών του παραρτήματος Ι μέρος Γ, οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές εξετάζουν κατά πόσον αυτή η μη τήρηση δημιουργεί κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές αναλαμβάνουν επανορθωτικές ενέργειες για την αποκατάσταση της ποιότητας του νερού εφόσον αυτό απαιτείται για την προστασία της ανθρώπινης υγείας. Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές εξασφαλίζουν ότι, όταν αναλαμβάνονται επανορθωτικές ενέργειες, οι καταναλωτές ενημερώνονται σχετικά εκτός από τις περιπτώσεις κατά τις οποίες οι αρμόδιες Αρχές κρίνουν ότι η μη τήρηση των παραμετρικών τιμών είναι άνευ σημασίας.

Άρθρο 9

λόγοι να πιστεύεται ότι οι ουσίες ή οι οργανισμοί αυτοί ενδέχεται να υπάρχουν σε ποσότητες ή αριθμούς που αποτελούν ενδεχόμενο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία (Παράρτημα II, Μέρος Ε).

Εξασφάλιση της ποιότητας, επεξεργασίας, εξοπλισμού και υλικών
(Άρθρο 10 Οδηγίας 98/83/ΕΚ)

1. Οι υπεύθυνοι, όπως ορίζονται στο άρθρο 11 παρ. 2,

Τεύχος Β' 3282/19.09.2017

ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ

39385

λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα ώστε να εξασφαλιζέται ότι κάθε ουσία ή κάθε υλικό νέων εγκαταστάσεων, που χρησιμοποιείται σύμφωνα με τις κείμενες διατάξεις, την τεχνολογία και τα επίσημα αναγνωρισμένα μέσα και τις Αρχές ελέγχου και πιστοποίησης, για την παραγωγή ή τη διανομή νερού ανθρώπινης κατανάλωσης καθώς και οι προσμειξεις που προέρχονται από αυτές τις ουσίες ή υλικά νέων εγκαταστάσεων δεν παραμένουν στο νερό ανθρώπινης κατανάλωσης σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από εκείνες που απαιτούνται για τους σκοπούς της χρήσης τους και δεν υποβαθμίζουν, άμεσα ή έμμεσα, την προστασία της ανθρώπινης υγείας, όπως προβλέπεται στην παρούσα απόφαση.

2. Για τους πλαστικούς σωλήνες στα δίκτυα ύδρευσης εφαρμόζονται οι διατάξεις της υπ' αριθμ. οικ. 14097/757 (ΦΕΚ 3346/Β/14.12.2012) υπουργικής απόφασης.

Άρθρο 10

Ζώνες προστασίας

Προκειμένου το νερό που παρέχεται για ανθρώπινη κατανάλωση να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της παρούσας και στα πλαίσια προστασίας της δημόσιας υγείας είναι αναγκαίο να λαμβάνονται κατά προτεραιότητα τα απαραίτητα μέτρα προστασίας των σημείων υδροληψίας για την παραγωγή νερού ανθρώπινης κατανάλωσης (θέσπιση ζωνών προστασίας, κλπ.) σύμφωνα με τις διατάξεις του ν. 1650/1986 για το περιβάλλον, τις διατάξεις για τη διαχείριση των υδατικών πόρων (π.δ. 51/2007, ν.3199/2003), όπως αυτές εκάστοτε ισχύουν καθώς και τα οικεία Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων της Χώρας.

Άρθρο 11

Καθορισμός αρμοδίων Αρχών, υπευθύνων

1. "Αρμόδιες Αρχές" για την εφαρμογή των διατάξεων της παρούσας Υγειονομικής Διάταξης είναι οι Υπηρεσίες Περιβαλλοντικής Υγιεινής και Υγειονομικού Ελέγχου

• Προτείνουν τη λήψη των κατάλληλων προληπτικών και επανορθωτικών μέτρων .

• Στα πλαίσια της συνεργασίας με την Κεντρική Υπηρεσία του Υπουργείου Υγείας αποστέλλουν τα ανωτέρω αξιολογημένα στοιχεία παρακολούθησης της ποιότητας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης και προτάσεις για την αντιμετώπιση ενδεχόμενων προβλημάτων στο Τμήμα Υγιεινής Περιβάλλοντος της Δ/σης Δημόσιας Υγείας του Υπουργείου Υγείας

1.2. Το Υπουργείο Υγείας συγκεντρώνει όλα τα σχετικά στοιχεία ποιότητας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης και συνεργάζεται με το Υπουργείο Εσωτερικών, για την αξιολόγησή τους και τη λήψη μέτρων για την προστασία της Δημόσιας Υγείας. Το Υπουργείο Υγείας αποστέλλει τα στοιχεία που απαιτούνται, για κάθε σχετική ενημέρωση και εμπρόθεσμη γνωστοποίηση στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Επίσης το Υπουργείο Υγείας κατάρτιζε κατευθυντήριες οδηγίες προς τους υπευθύνους για την εκπλήρωση των υποχρεώσεων τους.

Οι αρμοδιότητες των Υπηρεσιών της υποπαραγράφου 1.1 του παρόντος άρθρου καθορίζονται ειδικότερα από τις εκάστοτε ισχύουσες διατάξεις περί αποκέντρωσης.

2. "Υπεύθυνοι" για τη συμμόρφωση προς τους όρους της παρούσας Υγειονομικής Διάταξης, όσον αφορά τα οριζόμενα:

α) στο άρθρο 6.1.α (για το νερό του δικτύου ύδρευσης) είναι:

- για τις υδρεύσεις Δήμων ο φορέας λειτουργίας του δικτύου (Δήμοι, Σύνδεσμοι Δήμων, Δ.Ε.Υ.Α, Διαδημοτικές Ε.Υ.Α., με όρια ευθύνης όπως περιγράφονται στο καταστατικό σύστασής τους, Εταιρείες Ύδρευσης), η ΕΥΔΑΠ για την πόλη των Αθηνών σύμφωνα με τα προβλεπόμενα όρια ευθύνης της, η ΕΥΑΘ για την πόλη της Θεσσαλονίκης σύμφωνα με τα προβλεπόμενα όρια ευθύνης της).

- για τις βιομηχανίες, επιχειρήσεις, ιδρύματα κ.λπ. που διαθέτουν δική τους ύδρευση, οι νόμιμοι εκπρόσωποί τους

των Περιφερειακών Ενότητων και σε επιπεδικό βαθμό το Υπουργείο Υγείας.

1.1. Οι Υπηρεσίες Περιβαλλοντικής Υγιεινής και Υγειονομικού Ελέγχου των Περιφερειακών Ενότητων, ασκούν εποπτικό έλεγχο της ποιότητας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, προκειμένου να διαπιστωθεί αν το πόσιμο νερό που διαθέτουν για κατανάλωση οι υπεύθυνοι της παρ. 2 του παρόντος άρθρου ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις που προδιαγράφονται στο παράρτημα Ι. Ειδικότερα:

- Παρακολουθούν την ορθή εφαρμογή και εκτέλεση της παρούσας Υγειονομικής Διάταξης στα γεωγραφικά όρια της ευθύνης τους.
- Οργανώνουν και εφαρμόζουν προγράμματα ολοκληρωμένων υγειονομικών αναγνωρίσεων των συστημάτων ύδρευσης.
- Διενεργούν υγειονομικούς ελέγχους των συστημάτων ύδρευσης στην περιοχή αρμοδιότητάς τους σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στην παρ. 5 του άρθρου 7 της παρούσας.
- Συγκεντρώνουν και αξιολογούν τα στοιχεία παρακολούθησης της ποιότητας του πόσιμου νερού.

- για τις βιομηχανίες που ευρίσκονται μέσα σε βιομηχανικές περιοχές με κεντρικό δίκτυο ύδρευσης, η ΕΤΒΑ ή ο φορέας λειτουργίας τους

- για τις ιδιωτικές υδρεύσεις, οι ιδιοκτήτες ή οι νομείς των εγκαταστάσεων ύδρευσης.

β) στο άρθρο 6.1.β (για το νερό που παρέχεται από βυτία) είναι οι ιδιοκτήτες ή οι υπεύθυνοι των βυτίων ή οι νόμιμοι εκπρόσωποι των επιχειρήσεων.

γ) στο άρθρο 6.1.γ (για το νερό που τοποθετείται σε φιάλες ή δοχεία προς πώληση) είναι οι νόμιμοι εκπρόσωποι των εγκαταστάσεων εμφιάλωσης.

δ) στο άρθρο 6.1.δ (για το νερό επιχείρησης παραγωγής τροφίμων) είναι οι νόμιμοι εκπρόσωποι των επιχειρήσεων αυτών.

Οι υποχρεώσεις των "υπευθύνων" καθορίζονται από την Γ3α/761/68 Υγειονομική Διάταξη, όπως αυτή εκδόθηκε, ειδικότερα όμως αφορούν:

Ι) στην παρακολούθηση του νερού που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση μέσω προγραμμάτων παρακολούθησης όπως αναφέρεται στα Μέρη Α έως Ε του Παραρτήματος ΙΙ, σε Εργαστήρια όπως προσδιορίζεται στο Παράρτημα ΙΙΙ και

ΙΙ) στη λήψη γενικά κάθε μέτρου που θα διασφαλίζει κανονική παροχή υγιεινού νερού σε μόνιμη βάση.

Ειδικότερα οι υποχρεώσεις των υπευθύνων, σύμφωνα με το άρθρο 6.1.α., αφορούν επιπλέον και στη μελέτη, κατασκευή, λειτουργία, συντήρηση και υγειονομική αναγνώριση των συστημάτων ύδρευσης καθώς και στην επεξεργασία του πόσιμου νερού, ώστε να αποφεύγεται κάθε υγειονομικός κίνδυνος.

3. Οι εργαστηριακές αναλύσεις για την παρακολούθηση του νερού που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση σύμφωνα με το Παράρτημα ΙΙ, διενεργούνται σε εργαστήρια που πληρούν τις προδιαγραφές του Παραρτήματος ΙΙΙ.

Άρθρο 12

Ενημέρωση και εκθέσεις

(Άρθρο 13 Οδηγίας 98/83/ΕΚ)

1. Οι υπεύθυνοι λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα ώστε να εξασφαλιστεί ότι παρέχονται στους καταναλωτές κατάλληλες και ενημερωμένες πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης. Οι

(Α' 273), όπως κάθε φορά ισχύουν και του άρθρου 43 του ν.4025/2011 όπως ισχύει,

ΙΙ) οι διατάξεις των άρθρων 28 και 29 του ν. 1650/1986 (Α' 160), όπως τροποποιημένα ισχύουν,

ΙΙΙ) τα άρθρα 4 και 5 του ν. 4042/2012 (Α' 24), όπως κάθε φορά ισχύουν.

Εφόσον η παράβαση αφορά παροχή νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, ακατάλληλου ή επικινδύνου για τη δημόσια υγεία, εφαρμόζεται το άρθρο 281 του ΠΚ, αν από άλλες διατάξεις νόμων ή διαταγμάτων δεν προβλέπεται βαρύτερη ποινή.

Η παράβαση των διατάξεων της παρούσας απόφασης συνιστά παράνομη συμπεριφορά σύμφωνα με την περίπτωση (αα) της παραγράφου α' του άρθρου 2 και του παραρτήματος Α' του ν. 4042/2012 (ΦΕΚ Α' 24/13.2.2012).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ

ΜΕΡΟΣ Α'

υπεύθυνοι συλλέγουν και αποστέλλουν στο Υπουργείο Υγείας κατά τακτά χρονικά διαστήματα στοιχεία για την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης και οπωσδήποτε τα ετήσια στοιχεία ποιότητας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης εντός διμήνου από τη λήξη του έτους αναφοράς.

2. Με την επιφύλαξη της οδηγίας 2003/4/ΕΚ «για την πρόσβαση του κοινού σε περιβαλλοντικές πληροφορίες και για την κατάργηση της οδηγίας 90/313/ΕΟΚ» που ενσωματώθηκε στο Εθνικό Δίκαιο με την υπ' αριθ. Η.Π. 11764/653/2006 υπουργική απόφαση «Πρόσβαση του κοινού στις δημόσιες Αρχές για παροχή πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της του Συμβουλίου. Αντικατάσταση της υπ' αριθ. 77921/1440/95 κοινής υπουργικής απόφασης» (ΦΕΚ 327/Β/2006) το Υπουργείο Υγείας δημοσιεύει ανά τριετία έκθεση για την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης με στόχο την ενημέρωση των καταναλωτών.

Κάθε έκθεση αφορά, τουλάχιστον, τις συγκεκριμένες παροχές νερού που υπερβαίνουν τα 1000 m³ ημερησίως κατά μέσον όρο, ή εξυπηρετούν περισσότερα από 5000 άτομα, καλύπτει τρία ημερολογιακά έτη και δημοσιεύεται πριν από το τέλος του ημερολογιακού έτους που έπεται της περιόδου στην οποία αναφέρεται.

3. Το Υπουργείο Υγείας διαβιβάζει τις εκθέσεις του στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή εντός δύο μηνών από τη δημοσίευσή τους.

Άρθρο 13
Διοικητικές κυρώσεις

Διοικητικές κυρώσεις επιβάλλονται με βάση το άρθρο 30 του ν. 1650/1986 (ΦΕΚ Α/160) όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα.

Άρθρο 14
Ποινικές Κυρώσεις

Εφαρμόζονται:

1) οι διατάξεις του άρθρου 3 του α.ν.2520/1940

1. Μικροβιολογικές παράμετροι

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή (αριθμός/100 ml)
<i>Escherichia coli</i> (E. coli)	0
Εντερόκοκκοι	0

2. Για το νερό που πωλείται σε φιάλες ή δοχεία, ισχύουν τα ακόλουθα:

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Σημείωση
<i>Escherichia coli</i> (E. coli)	0/250 mL	
Εντερόκοκκοι	0/250 mL	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0/250 mL	
Αριθμός αποικιών σε 22 °C	100/mL	Σημείωση 1
Αριθμός αποικιών σε 37° C	20/mL	Σημείωση 1

Σημείωση 1: Οι τιμές της ανώτατης συγκέντρωσης πρέπει να μετρώνται μέσα στις 12 ώρες που ακολουθούν τη συσκευασία, ενώ το νερό των δειγμάτων θα πρέπει να διατηρείται σε θερμοκρασία 5±3°C κατά τη διάρκεια των 12 ωρών.

3. Για το νερό που κυκλοφορεί στο εσωτερικό δίκτυο ύδρευσης νοσοκομείων, κλινικών, κέντρων υγείας, οίκων ευγηρίας, καθορίζονται επιπλέον οι ακόλουθες παράμετροι:

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0 cfu/100mL
<i>Legionella</i>	1000 cfu /1L

4. Για το νερό που κυκλοφορεί στο εσωτερικό δίκτυο ύδρευσης τουριστικών εγκαταστάσεων, ξενοδοχείων, φυλακών, στρατοπέδων καθορίζεται επιπλέον η ακόλουθη παράμετρος:

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή
<i>Legionella</i>	1000 cfu /1L