



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

Τομέας Μεταλλευτικής Τεχνολογίας

Ερευνητική μονάδα Γεωλογίας

(Τεκτονική-Στρωματογραφία-Γεωλογία Περιβάλλοντος)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Γεωλογική και υδροχημική μελέτη σε ιστορικά καταγεγραμμένες
ιαματικές πηγές εντός του Νεογενούς της Δυτικής Κρήτης»**

Σοφία Καπακτσή

Εξεταστική επιτροπή

Εμμανουήλ Μανούτσογλου Καθηγητής (επιβλέπων)

Νικόλαος Καλλίθρακας-Κόντος Καθηγητής

Νικόλαος Σπανουδάκης Δρ., ΕΔΙΠ

Χανιά 2019

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με καθοδήγησαν, με βοήθησαν και μοιράστηκαν τη γνώση και την εμπειρία τους μαζί μου. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Εμμανουήλ Μανούτσογλου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου τη παρούσα εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω το Δρ. Νικόλαο Σπανουδάκη, για τη καθοδήγηση, τη προθυμία του να μου παρέχει τη πολύτιμη βοήθεια του, τη κατανόησή του και την άριστη συνεργασία μας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το καθηγητή Νικόλαο Καλλίθρακα-Κοντό, για την τιμή που μου κάνει να είναι μέλος της εξεταστικής επιτροπής.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη στήριξη και την εμπιστοσύνη που μου παρείχαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις των εξεταστών

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Contents

Περίληψη.....	7
Abstract	8
Εισαγωγή	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Γεωμορφολογικό περίγραμμα.....	14
1.1 Γεωγραφία – γεωμορφολογία περιοχής.....	14
1.2 Κλιματολογία της περιοχής	15
1.3 Υδρολογικά χαρακτηριστικά - Βροχόπτωση	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Η φυσική και γεωχημική σύνθεση των υπόγειων υδάτων.....	17
2.1 Τύποι δημιουργίας εδαφών.....	17
2.2 Τροπικό περιβάλλον.....	18
2.3 Υποδιαιρέσεις του τροπικού περιβάλλοντος.....	19
2.3.2 Εποχιακά ξηρές τροπικές και υποτροπικές ζώνες	20
2.3.3 Υγρές τροπικές και υποτροπικές ζώνες.....	20
2.3.4 Ορεινή ζώνη	21
2.4 Διάβρωση των πετρωμάτων και σχηματισμός του εδάφους σε τροπικό κλίμα	23
2.5 Υδροχημεία του τροπικού περιβάλλοντος.....	33
2.6 Καταγραφή της εδαφολογικής στρωματογραφίας του Πλειστοκαίνου στην Ελλάδα .	41
2.7 Ταξινόμηση εδαφών	42
2.7.1 Σύστημα κατάταξης εδαφών.....	43
2.7.2 Παλιό Αμερικάνικο Σύστημα εδαφολογικής ταξινόμησης	43
2.7.3 Νέο Αμερικάνικο σύστημα	44
2.7.4 Διαγνωστικοί εδαφικοί ορίζοντες	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Φυσική Υδροχημική Εξέλιξη Υπογείων Υδάτων.....	47
3.1 Σκληρότητα νερού	47
3.2 Φυσική Υδροχημική Εξέλιξη Υπογείων Υδάτων	49
3.3 Η ιστορία του σκληρού νερού.....	50
3.4 Φυσική σημασία του μαγνησίου	54
3.4.1 Φυσικές ιδιότητες του μαγνησίου στους ανθρώπους.....	54
3.4.2 Πρόσληψη μαγνησίου	55
3.4.3 Επίπεδα μαγνησίου στο νερό και στον οργανισμό.....	56
3.5 Ασβέστιο στο πόσιμο νερό και στην καρδιαγγειακή νόσο	58
3.6 Σκληρότητα νερού και άλλες επιδράσεις στην υγεία	60
3.7 Συμπεράσματα και συνέπειες.....	61

3.8 Θερμομεταλλικά νερά.....	62
3.9 Μεταλλικό νερό.....	63
3.9.1 Είδη μεταλλικού νερού	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Δείγματα και χημικές αναλύσεις	69
4.1 Εισαγωγή κεφαλαίου	69
4.2 Δείγματα από πηγές του νομού Χανίων	73
4.2.1 Δείγματα από την πηγή Καρές πλατεία	73
4.2.2 Δείγματα από την πηγή Καρές Γερό Δρυς.....	76
4.2.3 Δείγματα από την πηγή Καρές Άγιοι Απόστολοι	76
4.2.4 Δείγματα από την πηγή Βουριέρο	77
4.3.5 Δείγματα από την πηγή Sunrise	79
4.2.6 Δείγματα από την πηγή Κυραλή	1
4.3 Δείγματα από τις πηγές του νομού Ρεθύμνου	4
4.3.1 Δείγματα από την πηγή Καπεδανιά	4
4.4 Δείγματα από πηγές του νομού Ηρακλείου	5
4.4.1 Δείγματα από την πηγή Καβούσι Βουτουφού	5
4.4.2 Δείγματα από την πηγή Βουτουφού Σαρακίνα.....	6
4.5 Άλλα υδροχημικά διαγράμματα	6
4.6 Δείκτης κορεσμού	8
4.7 Ιοντικοί Λόγοι	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Συμπεράσματα.....	1
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	1
Διεθνής	1
Ελληνική	8

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μια προσπάθεια συστηματικής αποτίμησης δεδομένων γεωλογικής και υδροχημικής έρευνας υδάτων πηγών, που φιλοξενούνται και εκφορτίζουν υδροφόρους που φιλοξενούνται εντός πετρωμάτων του Νεογενούς της Δυτικής Κρήτης, τα ύδατα των οποίων έχουν καταγραφεί ιστορικά ως θερμομεταλλικά/ιαματικά, σε μια συστηματική έρευνα που έγινε προπολεμικά και τα αποτελέσματά της δημοσιεύτηκαν το 1938. Για λόγους συσχετισμού του χημισμού τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις των υδάτων των πηγών στην Δ. Κρήτη συγκρίθηκαν με αποτελέσματα τριών ανάλογων πηγών εκ των οποίων μια βρίσκεται στον ν. Ρεθύμνης και δύο στον ν. Ηρακλείου.

Στο Νομό Χανίων μελετήθηκαν τρεις πηγές που βρίσκονται στο χωριό Καρές (Πλατεία του χωριού, Γεροδρύς, Άγιοι Απόστολοι), η πηγή Βουριέρο στον οικισμό Ζυμβραγού, καθώς και δύο πηγές που βρίσκονται στο παραλιακό μέτωπό της επαρχίας Σφακίων και φέρουν τις ονομασίες πηγές Κυραλή και Sunrise. Στο νομό Ρεθύμνου μελετήθηκε η πηγή που βρίσκεται στο χωριό Καπεδιανά, ενώ στον νομό Ηρακλείου μελετήθηκαν οι πηγές Βουτουφού-Καβούσι και Βουτουφού-Σαρακίνα.

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

Από τα αποτελέσματα αυτών των αναλύσεων προέκυψε ότι θερμοκρασία των πηγών κυμαίνεται από 16.2 έως 27.9 °C, ανεξάρτητα από την περίοδο δειγματοληψίας (υγρή-ξηρή). Επιπλέον το pH των πηγών κυμαίνεται από όξινο έως βασικό με ελάχιστη τιμή 5.5 στη πηγή Καπεδιανά και μέγιστη στην πηγή Κυραλή με pH 8.3. Η σκληρότητα του νερού των πηγών κυμαίνεται από 4.5 - 37 mg/L CaCO₃ συμπεραίνοντας πως το νερό των πηγών είναι μαλακό. Οι τιμές των διαλυμένων στερεών (TDS) κυμαίνονται από 130 έως 690 mg/L καταλήγοντας στο συμπέρασμα πως οι πηγές δεν είναι μεταλλικές. Επίσης από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι το νερό των πηγών με επιφύλαξη των τομών του οργανικού τους φορτίου (που δεν

μετρήθηκε) αν και ξεπερνούν τα ανώτερα όρια σε ορισμένα κύρια στοιχεία όπως ασβέστιο, θειϊκά, μαγγάνιο, μπορεί να χαρακτηριστεί πόσιμο. Τα νερά των πηγών αυτών μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για άρδευση. Τέλος η έντονη διαφοροποίηση στο χημισμό τους δείχνει ότι εντός των πετρωμάτων του Νεογενούς, που σε γενικές γραμμές δεν θεωρούνται στην πλειοψηφία τους ούτε υδροπερατά αλλά ούτε και κατάλληλα την κατάλληλα για την υδροαποθηκευτικότητά τους έχουν αναπτυχθεί μικροί υδροφορείς που τροφοδοτούν πηγές μικρών παροχών αλλά συνεχούς παροχής, που δεν έχουν επηρεαστεί από σχηματισμούς που προήλθαν από ακραίες γεωλογικές καταστάσεις όπως η λατεριτίωση στους υπερκείμενους σχηματισμούς του Νεογενούς, των (επίσης υπερκείμενων) παγετωδών αποθέσεων του Τεταρτογενούς, που δομούν την πλειονότητα των μεταλπικής ηλικίας σχηματισμών της Δυτικής Κρήτης αλλά μόνο από τους εβαπορίτες του συμβάντος του Μεσσηνίου.

Abstract

In this diploma thesis is performed a systematical evaluation of geological and hydrochemical data of water samples collected from springs that are hosted and discharged within the Neogene formations of western Crete. These springs have been historically recorded as thermometallic in a systematical study that was published in 1938.

More analytically, there were collected samples from six springs from Chania Prefecture. Three springs from Kares village (namely Plateia, Gero Drys and Ag. Apostoloi), one from Zymvragou village (namely, Vouriero) and two springs from the wavefront of Sfakia village area (namely Kyrali and sunrise).

The hydrochemical data from these spring waters were compared to analogous data from spring water samples that were collected from Rethymno Prefecture (namely Kapediana spring) and Heraklion Prefecture (namely, Voutoufou Kavousi and Voutoufou Sarakina).

More over the physicochemical characteristics were compared to the limits set by EU, WHO etc for drinking water standards. It was concluded that the temperature of the water varies from 16.2°C to 27.9°C, during the dry and the wet periods with small fluctuations. The pH of the waters varies from 5.5 (Kapediana) to 8.3 (Kyrali),

hardness varies from 4.5-37 mg/L CaCO_3 which means that all waters are soft and TDS varies from 130-690 mg/L.

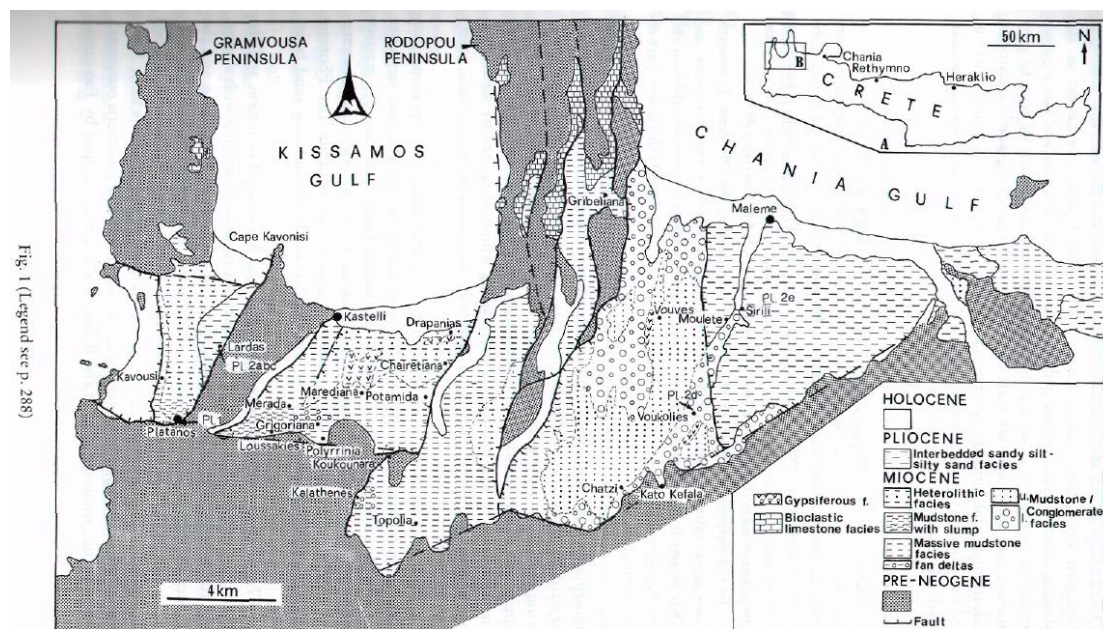
Although the samples were not measured for organic pollutants and some elements, including calcium, sulfates and manganese exceed the limits they can be considered as drinkable in terms of their mineral content. The differences in the chemical content of the samples, imply that within the Neogene formations have been developed small aquifers that supply with water these springs with a low but constant flow. The waters seems that are not affected from rocks which were formatted under extreme conditions including lateritization of the overlying Neogene formations and the permafrost depositions of the Quaternary (also overlying) which form most of the meta-alpine rocks of western Crete but are affected mainly from the Messinian evaporates.

Εισαγωγή

Στους αλπικούς σχηματισμούς της Κρήτης οι πηγές με τις μεγάλες παροχές (π.χ. στην Αγυιά, Δ. Κρήτη) συνδέονται με μεγάλες καρστικές υδροφορίες που φιλοξενούνται είτε εντός των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστολίθων είτε εντός των πετρωμάτων της ενότητας του Τρυπαλίου (Steiakakis et al., 2015). Μεγάλοι υδροφορείς υπάρχουν επίσης εντός μεταλπικής ηλικίας πετρωμάτων όπως στο πεδινό τμήμα της Μεσσαράς στην κεντρική Κρήτη, όπου ο μεγάλος υδροφορέας φιλοξενείται στις ιζηματογενείς ακολουθίες του Τεταρτογενούς (Κριτσωτάκης 2009). Αν και το πάχος των ακολουθιών του Νεογενούς στην Κρήτη ξεπερνά κατά θέσεις πολλές εκατοντάδες μέτρα και παρόλο που κατά θέσεις δομείται από κλαστικές ακολουθίες άμμων και κροκαλοπαγών, δεν θεωρείται ότι φιλοξενεί μεγάλους υδροφορείς. Έχει αποδειχτεί ότι τα πετρώματα των Νεογενών της Κρήτης χαρακτηρίζεται από επιπλυσιγενείς ακολουθίες, που συνδέονται σχετικές κατακόρυφες κινήσεις λίγο και συμπίπτουν με πολύ σημαντικές ιζηματολογικές μεταβολές. Το είδος των ιζημάτων ήταν κυρίως κλαστικά κατά το Τορτόνιο ενώ κατά το Μεσσήνιο επικράτησαν τα ανθρακικά πετρώματα συνοδευόμενα κατά θέσεις από τους χαρακτηριστικούς εβαπόριτες. Στην Δυτική Κρήτη οι λεκάνες του Νεογενούς είναι όπως φαίνεται στον χάρτη Ε.1 τρεις και φέρουν τα ονόματα των περιοχών εξάπλωσής τους: λεκάνες Πλατάνου, Καστελίου και Μάλεμε (Βουκολιών). Στην πρωτοποριακή του εργασία ο Freudenthal το 1969 αναγνώρισε **έξι σχηματισμούς** εντός αυτών των αποθετικών λεκανών του Νεογενούς: Ο **σχηματισμός Ρόκας** που δομείται από κροκαλοπαγή, άμμους-ψαμμίτες και μαργαϊκούς βιογενείς ασβεστόλιθους. Οι διάφοροι λιθολογικού τύπου των σχηματισμών της Ρόκας εξελίσσονται με ασυμφωνία στρώσης πάνω από τους υποκείμενους αλπικής ηλικίας σχηματισμούς κυρίως πάνω από τα πετρώματα της Πίνδου και Τρίπολης καθώς και της υποκείμενης Φυλλιτικής-Χαλαζιακής σειράς. Πάνω από τον σχηματισμό της Ρόκα ακολουθούν οι ιζηματολογικές ακολουθίες των σχηματισμών Κισσάμου, Χαιρετιανών ή/και Κουκουναράς. Κατά το Μέσο Μεσσήνιο βιογενείς ασβεστόλιθοι και εβαπόριτες επικράτησαν στις αποθετικές λεκάνες υπερκαλύπτοντας τις αμμούχες μάργες του σχηματισμού Χαιρετιανών. Τα πετρώματα του **σχηματισμού Κουκουναρά** είναι πολύμικτα κροκαλοπαγή, ελασματοποιημένες, διαβαθμισμένες στρώσεις (τουρβιδίτες) αλλά και άμορφες μπλε μάργες καθώς και αδρόκοκκοι έως πολύ αδρόκοκκοι ψαμμίτες. Ο επόμενος

σχηματισμός Κισσάμου δομείται από άστρωτες, λεπτώς έως μετρίως διαστρωμένους αργίλιτες και ιλυολίθους χρώματος μπλε-γκρι.

Ο επόμενος υπερκείμενος σχηματισμός είναι ο λίγο ή περισσότερο αμμώδης **σχηματισμός Χαιρεθιανών** που εκτός από άμμους των οποίων το πάχος αυξάνεται προς την προς την κορυφή του σχηματισμού, αποτελείται από κίτρινες, άμορφες, **στρωματοποιημένες διατομιτικές μάργες**. Στο κατώτερο μέρος του σχηματισμού παρεμβάλλονται **στρώματα γύψου**. Ο **σχηματισμός Ταυρωνίτη** υπέρκειται του σχηματισμού των Χαιρεθιανών, ή ο τελευταίος είναι μερικές φορές το πλευρικό ισοδύναμο του σχηματισμού του Ταυρωνίτη. Υπάρχει μια εμφανής μετάβαση από τον έναν σχηματισμό στο άλλο η οποία είναι συνήθως βαθμιαία, αν και παρατηρείται μια αλλαγή στο χρώμα από μπλε σε κίτρινο. Το κατώτερο τμήμα από τον επόμενο **σχηματισμό Χάτζι** δομείται από κόκκινα κροκαλοπαγή με σχεδόν κανονικές παρεμβολές μαργών. Στο ανώτερο μέρος του σχηματισμού κυριαρχούν λεπτές καλά σχηματισμένες στρώσεις αργίλου με εμφανίσεις γύψου που παρεμβάλλονται τοπικά. **Κύριο χαρακτηριστικό είναι το κόκκινο χρώμα όλων των πετρωμάτων που οφείλεται στην ισχυρή επίδραση της λατεριτικής αποσάθρωσης κυρίως στα μετακλαστικά πετρώματα της φυλλιτικής-χαλαζιακής σειράς.**



Σχήμα Ε.1 Γεωλογικό σκαρίφημα με τις τρεις λεκάνες του Νεογενούς στην Δυτική Κρήτη (κατά και από Freudenthal, 1969)

Μετά την κρίση αλμυρότητας του Μεσσηνίου και λόγω των τεκτονικών γεγονότων που απέκοψαν τη Μεσόγειο από τον Ατλαντικό Ωκεανό, η περιοχή της Μεσογείου επηρεάστηκε από κλιματικά ψυχρότερη ζώνη. Αυτή η μείωση της θέσης θερμοκρασίας που συνοδεύτηκε από αύξηση των κατακρημνισμάτων αποτυπώθηκε όπως θα περιγραφεί κατωτέρω στις ηπειρωτικής φάσης ιζηματογενείς ακολουθίες του Τεταρτογενούς που μελετήθηκαν και στην Δ. Κρήτη.

Εκτός λοιπόν από τις μεγάλες υδροφορίες που φιλοξενούνται είτε εντός των καρστικών ανθρακικών συστημάτων του προνεογενούς, είτε εντός των κλαστικών ακολουθιών με αυξημένο ενεργό πορώδες του Τεταρτογενούς, υπάρχουν σποραδικές, διάσπαρτες, πολύ μικρότερου μεγέθους υδροφορίες που φιλοξενούνται εντός σχετικά διαπερατών κλαστικών λιθολογιών του Νεογενούς. Στις ακολουθίες όμως του Νεογενούς όπως αναφέρθηκε υπάρχουν: **α) εβαπορίτες που σχετίζονται με το συμβάν του Μεσσηνίου.**

Εκτός αυτών όμως υπάρχουν πολλές θέσεις στην Δ. Κρήτη στις οποίες έχει πραγματοποιηθεί χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων κάτω από συνθήκες υγρού και θερμού κλίματος (τροπικού και υποτροπικού), έντονης βλάστησης, ήπιου μορφολογικού ανάγλυφου, μεγάλης διαπερατότητας των πετρωμάτων και ρηχού υδροφόρου ορίζοντα είναι εξαιρετικά έντονη και ονομάζεται λατεριτική αποσάθρωση ή λατεριτίωση, γιατί οδηγεί στο σχηματισμό ενός υπολειμματικού προϊόντος πλούσιο σε μη κινητικά οξείδια, του λατερίτη. Η σύσταση του λατερίτη (ορυκτολογική και γεωχημική) καθορίζεται αποκλειστικά από το είδος του μητρικού πετρώματος που υφίσταται τη λατεριτίωση. Στις ακολουθίες του Νεογενούς υπάρχουν: **β) λατερίτες.**

Τέλος οι ηπειρωτικές ακολουθίες του Τεταρτογενούς προέκυψαν από διαδικασίες που έλαβα χώρα κατά την διάρκεια παγετών και μεσοπαγετωδών περιόδων και οδήγησαν σε δημιουργία **γ) εδαφών ποικίλου σύστασης.**

Όπως αναφέρεται και στο παρακάτω κεφάλαιο το σημερινό κλίμα της Κρήτης είναι ένας μεταβατικός ενδιάμεσος τύπος μεταξύ του χερσαίου Μεσογειακού και του ερημοειδούς Μεσογειακού, στο οποίο υπάγεται κυρίως η νοτιοανατολική Κρήτη. Επίσης το νησί δέχεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους μεγάλο όγκο κατακρημνισμάτων και παρατηρείται πως η μέση ετήσια βροχόπτωση παρουσιάζει αύξηση από τα ανατολικά προς τα δυτικά, και από τα νότια προς τα βόρεια. Η μέση

ετήσια βροχόπτωση της δυτικής Κρήτης πιο συγκεκριμένα είναι κατά 23% μεγαλύτερη σε σχέση με την ανατολική. Τα αναλογούν κατεισδύον ποσοστό των κατακρημνισμάτων που είναι αυξημένα στην Δ. Κρήτη **δ) έρχονται σε επαφή με δεκάδες διαφορετικούς λιθολογικούς τύπους του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς.**

Με βάση και λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των ανωτέρω παραγόντων που με διαφορετικό τρόπο επηρεάζουν την χωρική κατανομή των μεταφερόμενων διαλυμένων ιόντων των υδάτων βαρύτητας εντός των πετρωμάτων του Νεογενούς στην Δ. Κρήτη, θα μελετηθεί η υδροχημεία των υδάτων συγκεκριμένων φυσικών πηγών που εκφορτίζουν υδροφορίες που φιλοξενούνται εντός πετρωμάτων του Νεογενούς στην περιοχή αυτή.

Στόχος λοιπόν αυτής της διπλωματικής εργασίας να μελετηθούν οι γεωλογικοί και οι υδρολογημικοί παράμετροι καθορισμένων πηγών της Δ. Κρήτης τα ύδατα των οποίων έχουν καταγραφεί ιστορικά ως ιαματικά, σε μια συστηματική έρευνα που έγινε προπολεμικά και τα αποτελέσματά της καταγράφηκαν το 1938 (Λέκκας, 1938). Για λόγους συσχετισμού του χημισμού τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις των υδάτων των πηγών στην Δ. Κρήτη θα συγκριθούν με ομόλογα αποτελέσματα από μια πηγή σε περιοχή του ν. Ρεθύμνης και με δύο πηγές από περιοχή του ν. Ηρακλείου και θα εξαχθούν συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Γεωμορφολογικό περίγραμμα

1.1 Γεωγραφία – γεωμορφολογία περιοχής

Η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο νησί στην Ελλάδα και βρίσκεται στο Νότιο άκρο του Αιγαίου σε απόσταση 160 km από την ηπειρωτική χώρα καθώς επίσης είναι και το 5^ο μεγαλύτερο νησί της Μεσογείου. Έχει συνολική έκταση 833 km² και μήκος 257 km.

Το έδαφος της Κρήτης είναι ορεινό στην μεγαλύτερη έκταση του, και σε αρκετά σημεία είναι βραχώδες. Αναλυτικότερα είναι κατά 33% πεδινό, κατά 26% ημιορεινό και κατά 41% ορεινό.

Η μορφολογία του χαρακτηρίζεται από 3 ζώνες. Την ορεινή, την ημιορεινή και την πεδινή. Οι δύο πρώτες ζώνες καλύπτουν τα 3/5 του νησιού. Τα βασικά ορεινά συγκροτήματα είναι προς τα δυτικά τα Λευκά όρη, στο κεντρικό τμήμα ο Ψηλορείτης και προς τα ανατολικά το όρος Δίκτη και τα όρη της Σητείας.



Σχήμα 1.1 Τμήμα του Γεωλογικού χάρτη της Ελλάδος (χαρτογράφηση ΙΓΜΕ, κλίμακα 1:500000). Με κίτρινες και πράσινες αποχρώσεις οι λεκάνες του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς. (Μπορνόβας et al., 1983)

1.2 Κλιματολογία της περιοχής

Το σημερινό κλίμα της Κρήτης είναι ένας μεταβατικός ενδιάμεσος τύπος μεταξύ του χερσαίου Μεσογειακού και του ερημοειδούς Μεσογειακού, στο οποίο υπάγεται κυρίως η νοτιοανατολική Κρήτη. Η πεδινή ζώνη αποτελεί κλιματικά μια μετάβαση από το μεσογειακό προς το ημιορεινό κλίμα, ενώ το κλίμα των ορεινών περιοχών λόγω της ύπαρξης των τεσσάρων μεγάλων ορεινών όγκων, παρουσιάζει πολλά κοινά χαρακτηριστικά με εκείνο της ηπειρωτικής Ελλάδας. Η Κρήτη καλύπτει ένα ευρύ φάσμα βιοκλιματικών ορόφων με σημαντικές διακυμάνσεις από τα ανατολικά της τα δυτικά και από τα πεδινά προς τα ορεινά, ενώ χαρακτηρίζεται και από σχετικά ψυχρούς χειμώνες και ξηρά και ζεστά καλοκαίρια.

1.3 Υδρολογικά χαρακτηριστικά - Βροχόπτωση

Η μέση ετήσια βροχόπτωση στην Κρήτη ανέρχεται σε 927 χιλιοστά, που αντιστοιχεί σε 7,69 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα κατακρημνισμάτων ετησίως. Πιο συγκεκριμένα, η βροχόπτωση στην Κρήτη κυμαίνεται μεταξύ 300 και 700 χιλιοστών στις χαμηλές περιοχές και στις περιοχές κατά μήκος της ακτής, μεταξύ 700 και 1000 χιλιοστών στις πεδιάδες της ηπειρωτικής χώρας και φτάνει έως τα 2000 χιλιοστά στις ορεινές περιοχές. Επιπλέον, η μέση ετήσια βροχόπτωση στην ανατολική Κρήτη είναι κατά 23% μικρότερη εκείνης της δυτικής. Αυξάνεται από τα ανατολικά στα δυτικά και από τα νότια στα βόρεια, ενώ επίσης οι βροχοπτώσεις είναι αυξημένες σε περιοχές υψηλού υψομέτρου σε σύγκριση με τις πεδινές περιοχές. Περισσότερο από το ένα τρίτο της συνολικής βροχόπτωσης λαμβάνει χώρα κατά μήκος της βόρειας ακτής του νησιού, όπου βρίσκονται και τα Λευκά Όρη, η Ίδη και η Δίκη. Το νησί παρά του ότι δέχεται υψηλό ποσό κατακρημνισμάτων, εκτιμάται ότι περίπου το 67% χάνεται λόγω εξατμισοδιαπνοής, το 10% χάνεται ως απορροή προς την θάλασσα και μόνο ένα 28% οδηγείται για επαναφόρτιση των υπογείων υδάτων (Mavrommatis & Voudouris, 2007)

Οι βροχοπτώσεις δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες στη διάρκεια του έτους όπως επίσης δεν είναι και ομοιόμορφα κατανεμημένες από γεωγραφικής άποψης. Η μέση ετήσια βροχόπτωση αυξάνεται από τα ανατολικά προς τα δυτικά, και από τα νότια προς τα βόρεια. Η μέση ετήσια βροχόπτωση πιο συγκεκριμένα είναι κατά 23% πιο αυξημένη στην δυτική Κρήτη σε σύγκριση με την ανατολική. Η μέση μηνιαία βροχόπτωση παρουσιάζει μέγιστο τον Δεκέμβριο ή τον Ιανουάριο και ελάχιστο τον Ιούλιο ή τον Αύγουστο. Το 25% της ετήσιας βροχόπτωσης συμβαίνει στους

περισσότερους σταθμούς της Κρήτης κατά τον πιο βροχερό μήνα και το 60% περίπου κατά την διάρκεια των τριών μηνών της περιόδου Δεκεμβρίου - Ιανουαρίου. Επίσης, ο μηνιαίος αριθμός των ημερών που έχουμε υδατόπτωση κυμαίνεται από 15 ημέρες για της μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο και 0,3 ημέρες τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Συνολικά, ο αριθμός των ημερών που έχουμε βροχόπτωση είναι περίπου 90 ημέρες ετησίως. Η περίοδος ξηρασίας έχει επεκταθεί σε περισσότερους από 6 μήνες, από τον Μάιο έως τον Οκτώβριο. Όπως παρατηρείται, υπάρχει σημαντική ανισοκατανομή του ετήσιου όγκου βροχόπτωσης τόσο γεωγραφικά όσο και φυσιογραφικά, εμφανίζοντας από τις μεγαλύτερες βροχοβαθμίδες της Ελλάδας. Μακρά σειρά των δεδομένων βροχόπτωσης σε όλη την Κρήτη δείχνουν πως δεν υπάρχει κάποια σημαντική μεταβολή στη βροχόπτωση [1].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Η φυσική και γεωχημική σύνθεση των υπόγειων υδάτων

2.1 Τύποι δημιουργίας εδαφών

Για τον σχηματισμό των εδαφών, επιδρούν μακροχρόνιες διεργασίες εδαφογένεσης όπου μετατρέπουν το μητρικό πέτρωμα σε έδαφος. Οι διαδικασίες αυτές είναι η αποσάθρωση, η μετακίνηση (έκλυση- διάβρωση), και η προσθήκη υλικών. Ως αποσάθρωση ορίζουμε τις μεταβολές στο μέγεθος στο σχήμα και την εσωτερική δομή και σύσταση, τις οποίες δέχεται η στερεά φάση του εδάφους με την επίδραση των παραγόντων της εδαφογένεσης. Με την αποσάθρωση των πετρωμάτων εξασφαλίζονται σημαντικές ποσότητες θρεπτικών στοιχείων. Η αποσάθρωση διακρίνεται σε φυσική , χημική και βιολογική .

- Φυσική αποσάθρωση : Είναι ο θρυμματισμός ενός πετρώματος , που προκαλείται από μηχανικές αιτίες χωρίς να μεταβληθεί η χημική του σύσταση
- Χημική αποσάθρωση : Είναι η διαδικασία μεταβολής της χημικής σύστασης του μητρικού υλικού με αποτέλεσμα την δημιουργία νέων ενώσεων και ορυκτών. Η χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων κάτω από συνθήκες υγρού και θερμού κλίματος (τροπικού και υποτροπικού), έντονης βλάστησης, ήπιου μορφολογικού ανάγλυφου, μεγάλης διαπερατότητας των πετρωμάτων και ρηχού υδροφόρου ορίζοντα είναι εξαιρετικά έντονη και ονομάζεται λατεριτική αποσάθρωση ή λατεριτίωση, γιατί οδηγεί στο σχηματισμό ενός υπολειμματικού προϊόντος πλούσιο σε Al, Fe, Ti, Cr, Ni και Mn, του λατερίτη. Η σύσταση του λατερίτη (ορυκτολογική και γεωχημική) καθορίζεται αποκλειστικά από το είδος του μητρικού πετρώματος που υφίσταται τη λατεριτίωση. Για παράδειγμα ο λατερίτης που είναι το προϊόν της χημικής αποσάθρωσης υπερβασικών πετρωμάτων είναι πλούσιος σε δευτερογενή οξείδια ή και υδροξείδια του σιδήρου, κλαστικούς κόκκους χρωμίτη – μαγνητίτη και περιέχει αυξημένη ποσότητα νικελίου.
- Βιολογική αποσάθρωση : Προκαλείται από ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς

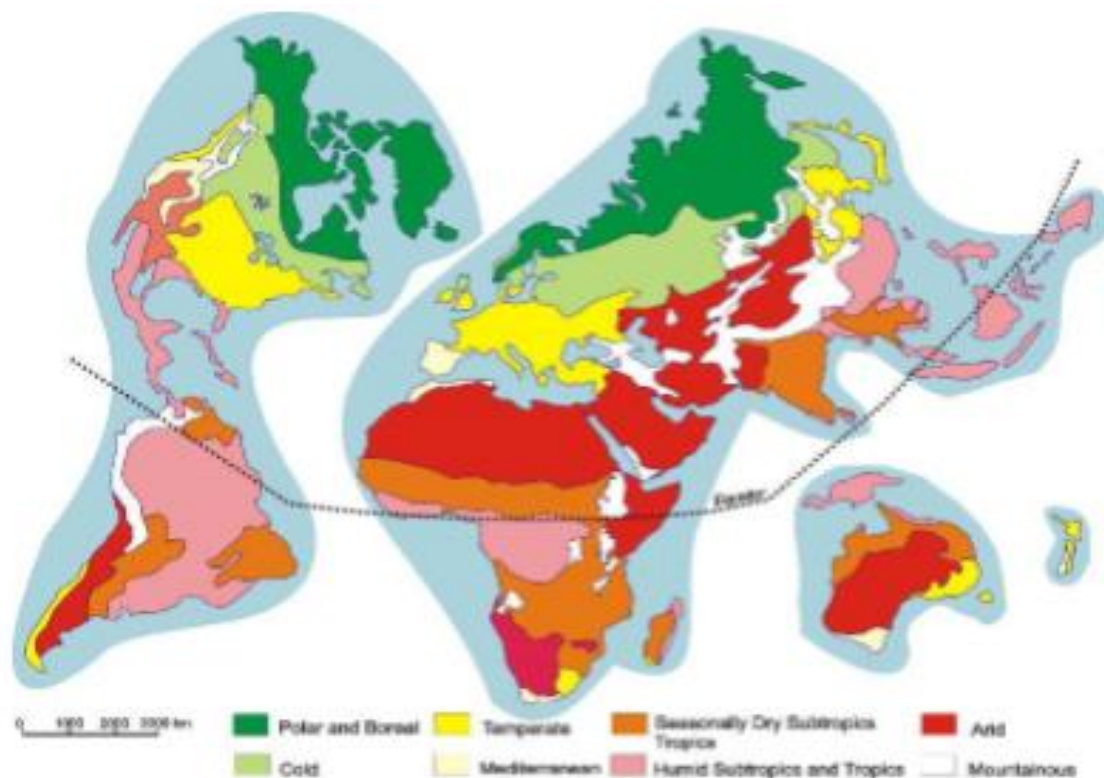
2.2 Τροπικό περιβάλλον

Οι τροπικές περιοχές καλύπτουν περίπου το 40% της επιφάνειας της γης και έχουν ποικιλία κλιματικών συνθηκών. Όπως σημειώνεται από τον Köppen (1936), μπορούν να διακριθούν δύο μεγάλες κατηγορίες τροπικού κλίματος, τα τροπικά δάση και η περιοδικά ξηρή σαβάνα. Ανάλογα με τις βροχοπτώσεις, οι δύο αυτές κατηγορίες υποδιαιρούνται σε υποκατηγορίες.

Ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO, 1978) πρότεινε λεπτομερέστερο κλιματικό χαρακτηρισμό καθορίζοντας αγροτικές-οικολογικές ζώνες για τον αναπτυσσόμενο κόσμο. Στη συνέχεια, ο FAO (1993) απλοποίησε και διεύρυνε την αγροτική-οικολογική μέθοδο διαχωρισμού ζωνών για να απεικονίσει τη κατανομή των σημαντικότερων εδαφικών πόρων παγκοσμίως (Σχήμα 2.1). Στο πλαίσιο του τροπικού περιβάλλοντος, θεωρήθηκαν σχετικές μόνο τέσσερις υποδιαιρέσεις:

- α) άνυδρη ζώνη
- (β) εποχιακά ξηρές τροπικές και υποτροπικές
- (γ) υγρές τροπικές και υποτροπικές
- (δ) ορεινή ζώνη

Από την άποψη της ιατρικής γεωλογίας, μια ταξινόμηση βάσει της γεωργίας καθίσταται χρήσιμη λόγω της σχέσης πετρωμάτων-εδάφους-νερού-φυτών και ανθρώπων.



Σχήμα 2.1: Παγκόσμιος κλιματικός χάρτης (FAO 1978)

2.3 Υποδιαιρέσεις του τροπικού περιβάλλοντος

2.3.1 Άγονες περιοχές

Η άνυδρη κλιματική ζώνη χαρακτηρίζεται από μια διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης (length of growing periods) μικρότερη των 75 ημερών. Οι μεγάλες άγονες περιοχές περιλαμβάνουν την έρημο Σαχάρα, την έρημο Καλαχάρι, την έρημο της Ναμίμπια και το Κέρασ της Αφρικής. Άλλες περιοχές περιλαμβάνουν την Αραβική Χερσόνησο, την Κεντρική Ασία, τις Δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες, τη βορειοδυτική Βραζιλία, το νοτιοδυτικό τμήμα της Λατινικής Αμερικής και της Κεντρικής Αυστραλίας.

Λόγω της πολύ σύντομης περιόδου ανάπτυξης LGP, οι γεωργικές καλλιέργειες δεν μπορούν να ολοκληρώσουν τον κανονικό τους κύκλο και οι αποδόσεις, εάν υπάρχουν, είναι ασήμαντες. Επιπλέον, η απουσία υγρασίας στο έδαφος για το μεγαλύτερο μέρος του έτους, έχει ως αποτέλεσμα πολύ αργό ρυθμό αποσάθρωσης. Από τις διεργασίες εδαφογένεσης, η μεταφορά και η συσσώρευση διαλυτών αλάτων, του ανθρακικού ασβεστίου και του γύψου είναι ίσως οι μοναδικές διεργασίες που συμβαίνουν και έχουν σαν αποτέλεσμα τις παρακάτω ομάδες εδαφών:

- Solonchaks: Η ομάδα αναφοράς εδάφους των Solonchaks περιλαμβάνει εδάφη που έχουν υψηλή συγκέντρωση «διαλυτών αλάτων» σε κάποια χρονική

στιγμή του έτους. Τα Solonchaks περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό στις άγονες και ημι-άνυδρες κλιματικές ζώνες και στις παράκτιες περιοχές σε όλα τα κλίματα. Οι κοινές διεθνείς ονομασίες είναι «εδάφη αλατούχα» και «εδάφη που έχουν προσβληθεί από αλάτι».

- Solonetz: Η ομάδα αναφοράς του εδάφους Solonetz φιλοξενεί εδάφη με πυκνό, έντονα δομημένο αργιλικό ορίζοντα που έχει υψηλό ποσοστό προσροφημένων ιόντων νατρίου και ή μαγνησίου
- Calcisols: Η ομάδα αναφοράς του εδάφους των Calcisols φιλοξενεί εδάφη στα οποία υπάρχει σημαντική δευτερογενής συσσώρευση ασβεστίου. Τα Calcisols είναι συνήθως τα ασβεστολιθικά μητρικά υλικά και είναι ευρέως διαδεδομένα σε ξηρά και ημι-ξηρά περιβάλλοντα. Παλαιότερα τα Calcisols ήταν διεθνώς γνωστά ως «εδάφη της ερήμου».
- Gypsisols: Τα Gypsisols είναι εδάφη με σημαντική δευτερογενή συσσώρευση γύψου ($\text{CaSO}_4\text{H}_2\text{O}$). Βρίσκονται στα πιο ξηρά τμήματα της ξηρής κλιματικής ζώνης, γεγονός που εξηγεί γιατί τα κύρια συστήματα ταξινόμησης των εδαφών τα χαρακτηρίζουν «εδάφη της ερήμου».

2.3.2 Εποχιακά ξηρές τροπικές και υποτροπικές ζώνες

Στις τροπικές και τις υποτροπικές περιοχές η ξηρή περίοδος διαρκεί μεταξύ 90 και 285 ημέρες και οι βροχοπτώσεις δεν περιορίζονται στο χειμώνα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1, η ζώνη αυτή καλύπτει περίπου 2475 εκατομμύρια εκτάρια και περιλαμβάνει μεγάλες περιοχές της Νότιας και Νοτιοανατολικής Ασίας, τη Βόρεια Αυστραλία, το μεγαλύτερο μέρος της Αφρικής, της Νότιας και Κεντρικής Αμερικής μεταξύ των ερήμων και των τροπικών δασών.

2.3.3 Υγρές τροπικές και υποτροπικές ζώνες

Αυτή η κλιματική ζώνη, η οποία καλύπτει περίπου 1925 εκατομμύρια εκτάρια, χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και εναλλασσόμενες ξηρές και υγρές περιόδους. Περιοχές όπως η κεντρική και παράκτια Δυτική Αφρική, η λεκάνη του Αμαζονίου, η Νοτιοανατολική Ασία και τα νησιά του Ειρηνικού Ωκεανού ανήκουν σε αυτήν την κλιματική ζώνη. Τα κλιματικά χαρακτηριστικά της ζώνης παρέχουν ιδανικές συνθήκες για την ανάπτυξη των

τροπικών δασών και τη γεωργική παραγωγικότητα για το μεγαλύτερο μέρος του έτους.

Οι έντονες καιρικές συνθήκες έχουν σαν αποτέλεσμα το έδαφος συχνά φτάνει σε βάθος έως 150 μέτρα. Οι καολινικές άργιλοι είναι πολύ συνηθισμένες και λόγω των έντονων βροχοπτώσεων, τα θρεπτικά συστατικά εκπλένονται εύκολα. Τα πιο συνηθισμένα είδη εδάφους είναι τα Ferralsols (εξαιρετικά διαβρωμένα εδάφη), τα Acrisols (λιγότερο διαβρωμένα) και αυτά καλύπτουν περίπου το 57% της γης της κλιματικής ζώνης (Πίνακας 2.1). Τα υπόγεια ύδατα τείνουν να είναι άφθονα και αυτό οδηγεί στο σχηματισμό των Gleysols και Podzols.

- Gleysol: μία από τις 30 ομάδες εδάφους στο σύστημα ταξινόμησης του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (FAO). Οι Gleysols σχηματίζονται υπό συνθήκες από τη αύξησης των υπόγειων υδάτων.
- Podzols εμφανίζονται σε υγρές περιοχές, ιδιαίτερα στις βόρειες και μέτριες ζώνες αλλά τοπικά και στις τροπικές περιοχές. Το όνομα «Podzol» χρησιμοποιείται στα περισσότερα εθνικά και διεθνή συστήματα ταξινόμησης του εδάφους.

2.3.4 Ορεινή ζώνη

Οι ξαφνικές μεταβολές στο υψόμετρο και η ποικίλη μορφολογία των πλαγιών επιφέρουν σημαντικές κλιματικές διαφοροποιήσεις. Συνεπώς, η θερμοκρασία και οι βροχοπτώσεις αλλάζουν αρκετά σημαντικά σε μικρές αποστάσεις. Υπάρχει μεγάλη ανομοιογένεια στη βλάστηση και ορισμένα από τα εδάφη είναι πιο εύθραυστα. Από τα προαναφερθέντα, είναι σαφές ότι το κλίμα είναι ίσως ο πιο κρίσιμος παράγοντας που καθορίζει τη γεωργική παραγωγικότητα, επηρεάζοντας τον σχηματισμό του εδάφους και τη διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών.

Πίνακας 2.1 Έκταση μεγάλων εδαφικών μονάδων (μονάδες εκταρίων) ανά κλιματική ζώνη στους τροπικούς και υποτροπικούς τροποποιημένο από (FAO 1993)

	Άγονες περιοχές	Ορεινή ζώνη	Εποχιακά ξηρές τροπικές και υποτροπικές ζώνες	Υγρές τροπικές και υποτροπικές ζώνες
Histosols	3410	792	12232	32449
Leptosols	419462	544330	198332	66731
Vertisols	51243	3820	222983	29012
Fluvisols	90074	4401	84360	66207
Solonchaks	140324	3608	20824	4415
Gleysols	34492	11002	111543	167704
Andosols	9418	20683	18379	20674
Arenosols	395942	6980	320140	127284
Regosols	170083	35916	52109	9391
Podzols	1366	3221	13475	11343
Plinthisols	53	255	15657	42354
Ferralsols	0	4036	231347	507217
Planosols	3762	2609	74083	6267
Solonetz	57037	5367	36771	518
Greyzems	2230	5010	0	0
Chernozems	11794	1802	0	0
Kastanozems	143513	17569	44729	459
Phaeozems	2089	8721	15249	2703
Podzoluvisols	0	17358	0	0
Gypsisols	86711	1666	54	0
Calcisols	552765	44857	47267	5430
Nitisols	2792	9996	101782	87291
Acrisols	1067	13581	238808	589386
Luvisols	165499	13541	62002	21827
Lixisols	26397	11390	366862	31697
Cambisols	503586	153299	192294	95617
TOTAL	2875109	945810	2481282	1925976

	Ευρώπη	Βόρεια & Κ. Ασία	Αυστραλασία	Βόρεια Αμερική
Leptosols	64836	710863	48789	83303
Cambisols	157288	452241	81084	169019
Acrisols	4170	148241	32482	114813
Arenosols	3806	3436	193233	25512
Calcisols	56657	95264	113905	114720
Ferralsols	0	0	0	0
Gleysols	17641	323611	421	131053
Luvisols	142658	99739	127445	179244
Regosols	26848	33169	887	283933
Podzols	213624	21825	8459	220770
Kastanozems	55598	173265	1827	153704
Lixisols	0	0	0	0
Fluvisols	40250	73327	8827	10387
Vertisols	5856	11797	90019	9120
Podzoluvisols	161684	153911	0	5470
Histosols	32824	99451	1167	934562
Chernozems	98551	90566	0	40101
Nitisols	0	0	10100	0
Solonchaks	2308	46895	16565	127
Phaeozems	9221	19948	3562	70320
Solonetz	7906	30062	38099	10748
Planosols	1877	2413	38941	6500
Andosols	4058	18361	6953	17590
Gypsisols	379	16494	0	0
Plinthosols	0	0	3895	2816
Greyzems	6090	23331	0	4462
	Αφρική	Νότια & ΚΑ Ασία	Νότια & Κ. Αμερική	Σύνολο
Leptosols	381531	119408	246588	165531
Cambisols	369232	209385	135153	157340
Acrisols	92728	263005	341161	996600
Arenosols	462401	94530	118967	901885
Regosols	140684	64357	29093	578971
Podzols	11331	5982	5522	487513
Kastanozems	2802	0	80561	467757
Lixisols	244830	86145	105545	436520
Fluvisols	98400	57357	67687	356235

2.4 Διάβρωση των πετρωμάτων και σχηματισμός του εδάφους σε τροπικό κλίμα

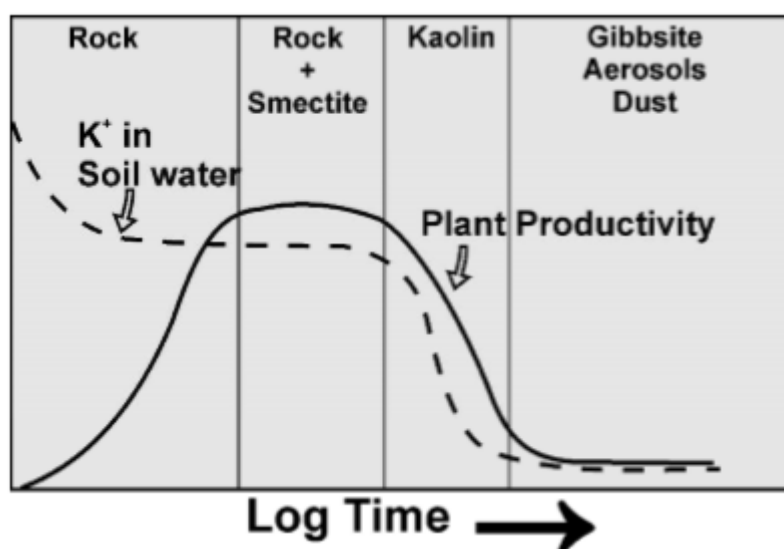
Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, το τροπικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από εποχικές έντονες βροχοπτώσεις (σε ορισμένες περιπτώσεις υπερβαίνει τα 5000 mm ετησίως), με μεγάλες περιόδους ξηρασίας και υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Η ένταση της χημικής διάβρωσης είναι επομένως ακραία και ορισμένα από τα τροπικά εδάφη έχουν υποβαθμιστεί σε τέτοιο βαθμό (σχήμα 2.2), ώστε το κάλιο, ένα ουσιαστικό φυτικό θρεπτικό συστατικό που υπάρχει συνήθως σε σημαντικές συγκεντρώσεις, να υπάρχει μόνο σε χνοστοιχεία (Fyfe et al., 1983).

Συμπαματικά, οι πλέον υποανάπτυκτες χώρες βρίσκονται επίσης σε τέτοια τροπικά περιβάλλοντα όπου η κακή γεωργική παραγωγικότητα που προκαλείται από την υποβάθμιση του εδάφους σε βασικά θρεπτικά συστατικά, έχει σημαντικό αντίκτυπο στην οικονομία αυτών των χωρών με τα χρόνια.

Να σημειωθεί ότι στα εδάφη αυτών των περιοχών κυριαρχούν ορυκτά όπως γιμπσίτης, γκαιτίτης, καολινίτης και χαλαζίας. Μερικά ιχνοστοιχεία αναμένεται να παραμείνουν σε ανθεκτικά ορυκτά όπως το ζirkόνιο, το ρουτίλιο κλπ. αλλά το κρίσιμο χαρακτηριστικό είναι ότι τα περισσότερα απαραίτητα-θρεπτικά στοιχεία, μειώνονται σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα. Τα εδάφη αυτά ονομάζονταν "αδύνατα εδάφη".

Σε μια άλλη ενδιαφέρουσα μελέτη που έγινε για τη χημεία ορισμένων εδαφών στη Βραζιλία, όπου η χημική έκπλυση στοιχείων ήταν ακραία, παρατηρήθηκε ότι τα ιχνοστοιχεία δείχνουν ένα ευρύ φάσμα συμπεριφοράς και ότι τα κύρια στοιχεία έχουν εκπλυθεί σε μεγάλο βαθμό (Kronberg et al., 1979). Έδειξαν ότι η συμπεριφορά των ιχνοστοιχείων φαίνεται να ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από την άργιλο ή το $\text{Al}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$ ή το βαθμό διάβρωσης. Τα κύρια ορυκτά ($\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$) είναι γνωστό ότι υπάρχουν ορυκτολογικά ως χαλαζίας, καολινίτης, γκαιτίτης και αιματίτης.



Σχήμα 2.2 σχηματικό διάγραμμα που δείχνει την επίδραση της διάβρωσης από το πέτρωμα στο βωξίτη και την παραγωγικότητα των φυτών (Fyfe et al., 1983)

Μερικά από τα τροπικά περιβάλλοντα χαρακτηρίζονται από στρώματα λατερίτη πάχους άνω των 150 μέτρων (Σχήμα 2.3) και έχει διαπιστωθεί ότι χρειάστηκαν

δεκάδες εκατομμύρια χρόνια για να σχηματιστούν. Λαμβάνοντας υπόψη την αφθονία των ορυκτών στο φλοιό της γης, με εξαίρεση τα λιγότερο διαλυτά ανθεκτικά οξείδια των στοιχείων όπως τα Sc, Zr, Nb, Gd, Tm και Th και ορισμένα σημαντικά στοιχεία όπως τα B, Cl, Mo, Se, Sn και I, τα υπόλοιπα στοιχεία είναι σε εξαιρετικά μικρές ποσότητες. Το σχήμα 2.4 απεικονίζει τη σχέση της γεωχημείας και της κινητικής σχετικά με τη θρέψη των φυτών διατροφής. Μια τέτοια σχέση έχει αναμφισβήτητα σημαντικό αντίκτυπο στην ιατρική γεωχημεία αυτού του συγκεκριμένου περιβάλλοντος.

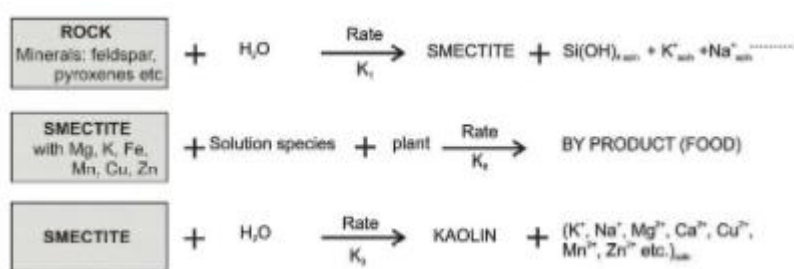


Σχήμα 2.3 Παχύ στρώμα λατερίτη από τη Σρι Λάνκα (Dissanayake & Chandrajith 2009)

Οι άργιλικά ορυκτά που σχηματίζονται από μη διαβρωμένα πετρώματα είναι οι σμεκτίτες, ιλλίτες και καολινίτες, κατά φθίνουσα πολυπλοκότητα. Σύμφωνα με τους Fyfe et al. (1983), όταν τα πρωτεύοντα ορυκτά εκπλένονται και οι επιφάνειες τους μειώνονται στο σημείο όπου οι συγκεντρώσεις του διαλύματος πέφτουν κάτω από τις μεταστατικές διαλυτότητες τους, ο σμεκτίτης και άλλοι πολύπλοκοι άργιλοι αρχίζουν

να αποικοδομούνται με αύξηση του καολίνη στο έδαφος. Τα υγρά τροπικά περιβάλλοντα είναι οι καλύτερες τοποθεσίες για τέτοιες διεργασίες.

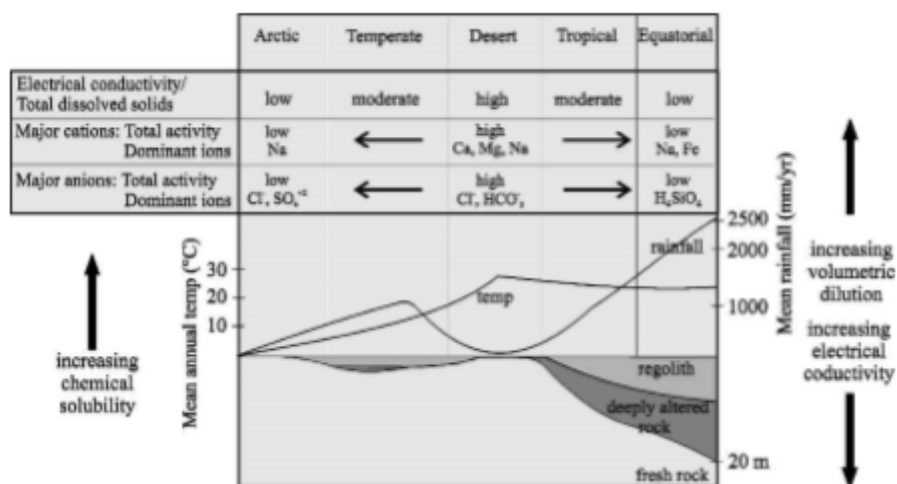
Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, αν το K2 υπερβεί το K1 (Όπου K1 και K2 οι ταχύτητες της αντίδρασης), θα μειωθούν τα βασικά στοιχεία και εάν το K1 μηδενιστεί, τα επίπεδα των περισσότερων βασικών θρεπτικών συστατικών (μεγάλων και ιχνών) θα πέσουν κάτω από τη βέλτιστη τιμή για τη διατροφή. Όταν λαμβάνεται υπόψη η ουσία των ιχνοστοιχείων στην υγεία του ανθρώπου και των ζώων, η γνώση μιας τέτοιας σχέσης πετρώματος-εδάφους-φυτού σε ένα έδαφος γίνεται ακόμη πιο σημαντική.



Σχήμα 2.4 Γεωχημεία και κινητική της διατροφής (Fyfe et al., 1983)

Οι γενικευμένες σχέσεις μεταξύ εδαφικού καλύμματος (regolith), το πάχος της διαβρωμένης ζώνης (weathering zone), κλιματικών παραγόντων και η χημείας του νερού παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα 2.5.

Έχει επίσης παρατηρηθεί ότι η οργανική ύλη στο έδαφος τείνει επίσης να εξαντληθεί λόγω της έντονης οξείδωσης η οποία συχνά εκτείνεται στο μέτωπο της εξαλλοίωσης. Αυτό γενικά συνοδεύεται από την εξάντληση μερικών σημαντικών στοιχείων όπως P, N και K και διαλυτά κατιόντα όπως Na⁺ και Ca²⁺ καθώς επίσης και ανιόντα Cl⁻, PO₃⁻ και NO₃⁻. Η φυσική βλάστηση αυτών των άγονων εδαφών είναι ως εκ τούτου χαμηλή και τα βασικά ιχνοστοιχεία που απαιτούνται για την υγεία του ανθρώπου και των ζώων είναι σχετικά αραιά.



Σχήμα 2.5 Γενικευμένες σχέσεις μεταξύ εδαφικού καλύμματος, πάχος της ζώνης διάβρωσης και κλιματικών παραγόντων και της χημεία του νερού (Plant et al., 1996; Pedro, 1985)

Υπό τροπικές περιβαλλοντικές συνθήκες, η κλασματοποίηση των στοιχείων (element fractionation) κατά τη διάβρωση των πετρωμάτων και του σχηματισμού του εδάφους οδηγεί σε ετερογενή κατανομή στοιχείων στο έδαφος. Συνεπώς, διαμορφώνονται περιοχές με μοναδικά γεωχημικά χαρακτηριστικά με την εγγενή έλλειψη ή την περίσσεια κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων.

Αυτές οι περιοχές θα μπορούσαν επίσης να χαρακτηριστούν ως "γεωχημικές επαρχίες" (geochemical provinces) και όπως φαίνεται, αποτελούν μια σημαντική πτυχή της ιατρικής γεωλογίας των τροπικών περιβαλλόντων.

Η βιοδιαθεσιμότητα των απαραίτητων και τοξικών στοιχείων έχει σημαντικό ρόλο στην αιτιολόγηση των ασθενειών που σχετίζονται με το περιβάλλον και αυτό επηρεάζεται σε αξιοσημείωτο βαθμό από την κινητικότητα ή τη μη κινητικότητα των σχετικών στοιχείων στο περιβάλλον "εδάφους-πετρωμάτων".

Οι λατερίτες, του τροπικού περιβάλλοντος, συχνά λειτουργούν ως δεσμευτές κατιόντων και ανιόντων και επομένως ελέγχουν τη κατανομή των στοιχείων στις «γεωχημικές επαρχίες» σε αξιοσημείωτο βαθμό.

Η παρουσία ενεργών επιφανειών στις οποίες λαμβάνει χώρα η προσρόφηση και η συγκέντρωση στοιχείων αποτελούν βασική προϋπόθεση. Οι λατερίτες περιέχουν άφθονα άμορφα και φτωχά κρυσταλλωμένα συστατικά τα οποία παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά προσρόφησης. Αυτά ονομάζονται "δεσμευτές/συλλέκτες" (scavengers) (Kühnel, 1987).

Τα ακόλουθα θεωρούνται ως συνηθισμένοι "δεσμευτές" σε εδάφη και λατερίτες, (α) άμορφο διοξείδιο του πυριτίου (β) τα οξυ-υδροξείδια των Fe, Al και Mn- (γ) οργανική ύλη. Αργιλικά ορυκτά, όπως ο σμεκτίτης, καθώς και τα φωσφορικά, τα ανθρακικά και μερικά σουλφίδια είναι επίσης γνωστό ότι λειτουργούν ως "δεσμευτές". Η υψηλή ικανότητα αυτών των ορυκτών να απορροφούν και να σταθεροποιούν στοιχεία από τα διαλύματα οφείλεται κυρίως στο πολύ μεγάλο εμβαδόν της επιφάνειάς τους, το οποίο ενισχύει τη χημική δραστηριότητα σε σημαντικό βαθμό. Η μεγάλη επιφάνεια των ορυκτών οφείλεται στο μικρό μέγεθος σωματιδίων και τη άμορφη φύση τους.

Η ικανότητα των "δεσμευτών" να παγιδεύουν όλα τα διαθέσιμα σωματίδια, συμπεριλαμβανομένων των μορίων νερού, των κατιόντων ή των ανιόντων, συμβαίνει λόγω αντιστάθμισης των ανισορροπιών φορτίου στην άμορφη επιφάνεια. Ο πίνακας 2.3 παρουσιάζει παραδείγματα μερικών "δεσμευτών/συλλεκτών" (scavengers) σε λατερίτες και εδάφη που υπάρχουν στο τροπικό περιβάλλον.

2.4.1 Τροπική διάβρωση σε ορυκτοποιημένες περιοχές

Οι έντονη διάβρωση σε ορυκτοποιημένες περιοχές (mineralized terrains) σε τροπικά περιβάλλοντα επιφέρουν μοναδικές αλλαγές στη γεωχημεία και την ορυκτολογία του εδάφους. Τα μεγαλύτερα αποθέματα και οι πόροι του λατεριτικού νικελίου, για παράδειγμα, υπάρχουν στις αναπτυσσόμενες χώρες στις τροπικές και τις υποτροπικές περιοχές.

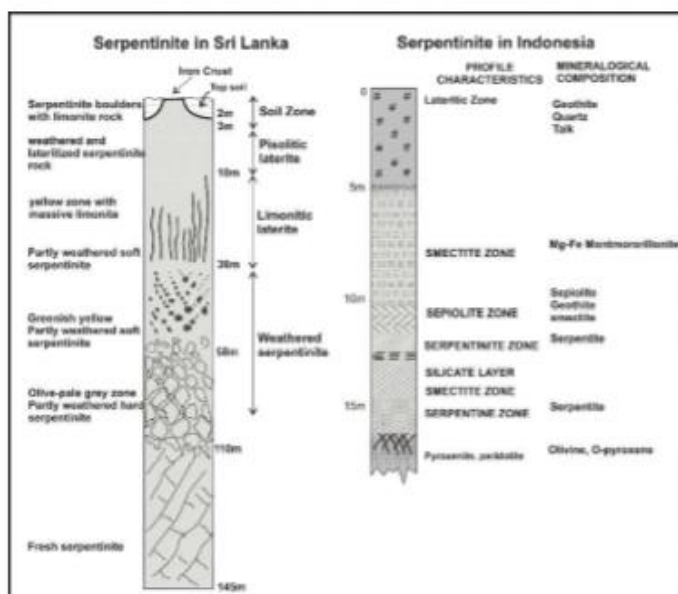
Οι απαραίτητες συνθήκες για το σχηματισμό λατεριτικών αποθέσεων προϋποθέτει την λεπτομερή γνώση της συγκέντρωσης των Ni, Co, Cr και Al. Ο Dissanayake, (1984α) συζήτησε συνοπτικά τα βασικά κριτήρια για την τροπική διάβρωση:

- Κλίμα: Ένα υγρό τροπικό ή υποτροπικό κλίμα με εποχιακές μεταβολές της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας ενισχύει τη διαδικασία σχηματισμού λατεριτών. Λόγω της υψηλής έντασης της βροχόπτωσης, τα μέταλλα διαλύονται εύκολα στο νερό και εκπλένονται. Κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου, ο κορεσμός των μεταλλικών ιόντων στο διάλυμα ακολουθείται από κατακρήμνιση σε συγκεκριμένα φυσικοχημικά περιβάλλοντα με αποτέλεσμα συγκεντρώσεις μετάλλων σε διάφορα επίπεδα.

- Απορροή: Το καλό πορώδες των πετρωμάτων και η εύκολη απορροή επιτρέπουν την κυκλοφορία των υπόγειων υδάτων. Αυτό επιτρέπει την ολοκλήρωση των χημικών διαδικασιών που σχετίζονται με τη διάβρωση.
- Τοπογραφία: Οι περιφέρειες με έντονο ανάγλυφο δεν συμβάλλουν στη διάβρωση, δεδομένου ότι η διάβρωση υπερκαλύπτει τις χημικές διαβρωτικές συνθήκες.
- Χρόνος: Η παρατεταμένη έκθεση στους προαναφερθέντες παράγοντες υπό σταθερές τεκτονικές συνθήκες έχει ως αποτέλεσμα την ολοκλήρωση των διεργασιών και η παρουσία προϊόντων διάβρωσης σε διαφορετικά στάδια εξέλιξης μπορεί να μας δώσει πληροφορίες για τον χρόνο έκθεσής τους.
- Τα μητρικά πετρώματα. Τα υπερβασικά πετρώματα όπως οι περιδοτίτες είναι γνωστό ότι περιέχουν σημαντικές ποσότητες Ni, Co και Cr (Turekian and Wedepohl, 1961) οπότε η ύπαρξή τους σε μεγάλες εκτάσεις αποτελεί απαραίτητο κριτήριο για τη συγκέντρωση των Ni, Co και Cr σε λατερίτες.

2.4.1.1 Προφίλ διάβρωσης

Στα λατεριτικά εδάφη, μπορεί να παρατηρείται διάβρωση σε διαφορετικά στάδια. Η εξαλλοίωση των υπερβασικών πετρωμάτων για το σχηματισμό λατερίτη συνεπάγεται πολύπλοκες διεργασίες που οδηγούν σε ακραίες αλλαγές της φυσικής, χημικής και ορυκτολογικής σύνθεσης.



Σχήμα 2.6 Προφίλ διάβρωσης του σερπετίνη στη Σρι Λανκα (Dissanayake, 1984a) και Ινδονησία (Kühnel et al., 1978)

2.4.1.2 Διάβρωση νικελιούχων σερπεντινιτών

Σε μια τυπική διατομή, μπορεί να δει κανείς μια ξεχωριστή μετάβαση από τα ανώτερα-υπερκεείμενα προϊόντα της διάβρωσης στο πρωτεύον πέτρωμα. Σε μέρη όπου απουσιάζει το αποσυντιθέμενο φυτικό υλικό, οι επιφλοιώσεις στην επιφάνεια του εδάφους (duricrust) μπορεί να θεωρηθούν ως ένα κάλυμμα που αποτελείται κυρίως από δευτερογενή οξειδία του σιδήρου και υδροξειδία.

Κάτω από το λατεριτικό κάλυμμα παρατηρούνται τα υπολείμματα του εξαιρετικά διαβρωμένου υπερβασικού σερπεντινοποιημένου πετρώματος, που στις περισσότερες περιπτώσεις διατηρεί την αρχική δικτυωτή ή ζωνώδη δομή.

Οι Brindley και Hang (1973) είχαν παρατηρήσει τη στενή συσχέτιση στην ένταση του πράσινου χρώματος όπως καθορίζεται από το διάγραμμα χρωμάτων Munsell, με την περιεκτικότητα σε νικέλιο. Αυτό το χαρακτηριστικό αξίζει να εξεταστεί στην αναζήτηση νικελίου. Γενικά, τα κλάσματα και τα θραύσματα γίνονται μεγαλύτερα και πιο άφθονα προς τα κάτω. Η συγκέντρωση χρωμιούχων-σπινέλιων που είναι ανθεκτικοί στην διάβρωση, αυξάνεται προς τα πάνω στη ζώνη που έχει διαβρωθεί. Το υλικό αυτής της ζώνης πρέπει να αναλυθεί προσεκτικά ως προς το νικέλιο.

Το επόμενο στρώμα χαρακτηρίζεται γενικά από την εμφάνιση πράσινων χρωματιστών αργίλων, που μερικές φορές καλούνται νετρονίτες. Ενώ μπορεί να διατηρηθεί αρχική δικτυωτή δομή και η ταινιωτή τα χρώμιο-σπινέλια και ο μαγνητίτης μπορεί να είναι μην είναι ευδιάκριτα στη ζώνη αυτή. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η περιστασιακή εμφάνιση δευτερογενούς διοξειδίου του πυριτίου με τη μορφή πυριτόλιθου, αχάτη, οπαλίου και χαλκηδόνιου. Αυτές έχουν προκύψει από την έκπλυση του πυριτίου παρουσία διαλύματων υψηλών συγκεντρώσεων σε νικέλιο που προσδίδει πράσινο χρώμα. Ακριβώς πάνω από το μητρικό υπερκεείμενο πέτρωμα είναι το μερικώς διαβρωμένο υλικό. Ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό αυτής της ζώνης είναι η εμφάνιση ανθρακικών αλάτων με τη μορφή ασβεστίτη/μαγνησίτη. Η παρουσία τους προσδίδει ένα λευκό χρώμα στο πέτρωμα.

2.4.1.3 Σχηματισμός δευτερογενούς ορυκτού

Κατά τη διάρκεια της λατεριτικής αποσάθρωσης, ο σχηματισμός νέων και δευτερογενών ορυκτών αποτελεί σημαντική φάση. Είναι επομένως πολύ σημαντικό να εντοπιστούν και να προσδιοριστούν τα νέα ορυκτά (neo-mineralization). Αυτό βοηθά στη μελέτη των χημικών συνθηκών της διάβρωσης όσον αφορά την κατανομή των στοιχείων και καθώς επίσης και στην επιλογή των κατάλληλων μεταλλουργικών διεργασιών. Με την ανάπτυξη των οπτικών μικροσκοπίων, των ηλεκτρονικών μικροσκοπίων, των ακτινών X, τα κρυπτοκρυσταλλικά χαρακτηριστικά αυτών των δευτερογενών ορυκτολογικών φάσεων έχουν μελετηθεί λεπτομερώς.

Οι Brindley και Maksimovic (1974) και Brindley (1978) ταξινόμησαν τα ένυδρα πυριτικά ορυκτά που περιέχουν νικέλιο, τα οποία υπάρχουν παντού λόγω των αποσάθρωση και σχετίζονται με τους νικελιούχους λατερίτες ως εξής:

Τύπος ορυκτολογικού στρώματος 1:1 Χρυσοτίλης (λευκός αμίαντος) - πεκοραΐτης (μεταλλικό πυριτικό νικέλιο)

Τύπος ορυκτολογικού στρώματος 2:1 Τάλκης-βιλλεμίτης κερολίτης-πενιελίτης κλινοχλωρο-νιμίτη σεπιόλιθος-φλοκνίτης

2.4.1.4 Χημεία διάβρωσης των εξαιρετικά βασικών πετρωμάτων

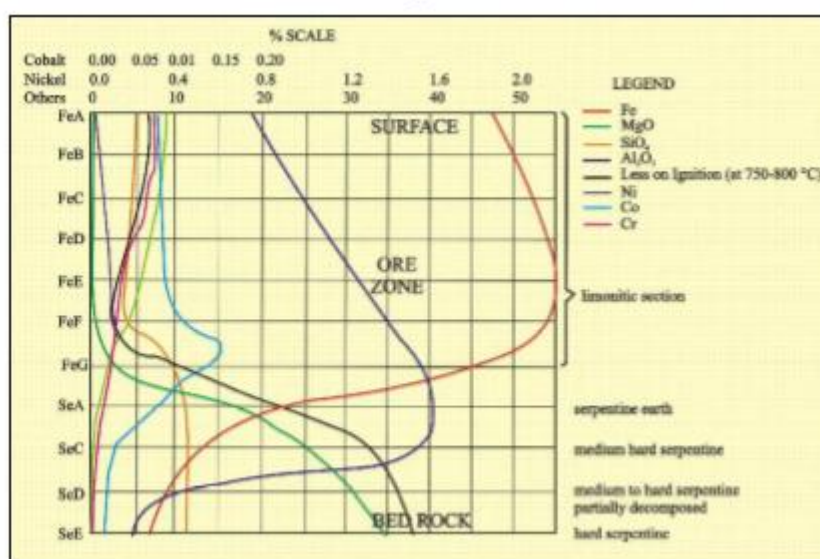
Η αλλαγή από ένα νέο υπερβασικό πέτρωμα σε ένα πλήρως σχηματισμένο λατερίτη είναι αποτέλεσμα εκτεταμένης γεωχημικής επαναδραστηριοποίησης (extensive geochemical remobilization) και μπορεί να γίνει παράδειγμα από τη σύγκριση της χημικής και ορυκτολογικής σύστασης ενός μέσου περιδοτίτη που μετατρέπεται στη συνέχεια σε σερπεντινίτη και λατερίτη. Τα δεδομένα στον Πίνακα 2.2 δείχνουν το βαθμό στον οποίο η χημική διάβρωση μεταβάλλει ένα πέτρωμα με αποτέλεσμα αρχικά την απομάκρυνση και έπειτα τη συγκέντρωση στοιχείων. Μεταξύ των πιο εντυπωσιακών χαρακτηριστικών που παρατηρούνται είναι η έκπλυση του οξειδίου του μαγνησίου (MgO) και του δοξειδίου του πυριτίου (SiO₂).

Έχει ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι αυτά τα δύο οξείδια αποτελούν σχεδόν το 80-90% του αρχικού μη εξαλλοιωμένου πετρώματος, αλλά στο τελικό προϊόν παραμένει μόνο περίπου 1-2% - μια ένδειξη της ακραίας έκπλυσης και την συνοδεία κινητοποίησης. Τα μετεωρικά νερά περιέχουν ανθρακικά και οργανικά οξέα τα οποία είναι υπεύθυνα

για την έκπλυση ορισμένων συστατικών του αρχικού πετρώματος. Η ακραία έκπλυση και συγκέντρωση των στοιχείων κατά τη διάρκεια της λατεριτώσης τους από τα υπερβασικά πετρώματα απεικονίζεται στο σχήμα 2.7. Η αλουμίνα και τα οξείδια του τιτανίου είναι κάπως σταθερά συστατικά του μητρικού πετρώματος και χρησιμοποιούνται γενικά στον υπολογισμό των ισοζυγίων.

Πίνακας 2.2 Χημική σύνθεση και ορυκτολογική σύνθεση του μέσου περιδοτίτη, του σερπεντινίτη και του λατερίτη τροποποιημένο από (after Kühnel et al., 1978)

Χημική Ένωση	Μέσος Περιδοτίτης	Σερπεντινίτης	Λατερίτης
SiO ₂	43.9	43.2	1.84
TiO ₂	0.8	tr	0.14
Al ₂ O ₃	4.0	1.7	9.00
Fe ₂ O ₃	2.5	10.6	67.40
FeO	9.9		
NiO	0.2	2.8	1.50
MnO	0.1	0.2	0.80
MgO	34.3	32.4	0.80
CaO	3.5	tr	tr
Na ₂ O	0.6	tr	tr
K ₂ O	0.2	tr	tr
H ₂ O	-	13.9	14.22
Cr ₂ O ₃	0.3	0.2	3.77
S	tr	tr	tr
Cl	tr	tr	tr
Ορυκτολογικός Τύπος	Ολιβίνης Πυρόξενος Σπινέλιος Σουφλίδια	Σερπενίτης Σπινέλιος Αιματίτης Γκαϊτίτης Μαγνησίτης Τάλκης Αργυλικά Ορυκτά	Γκαϊτίτης Αιματίτης Σερπενίτης Σπινέλιος Άργιλος Πυριτικά Ορυκτά

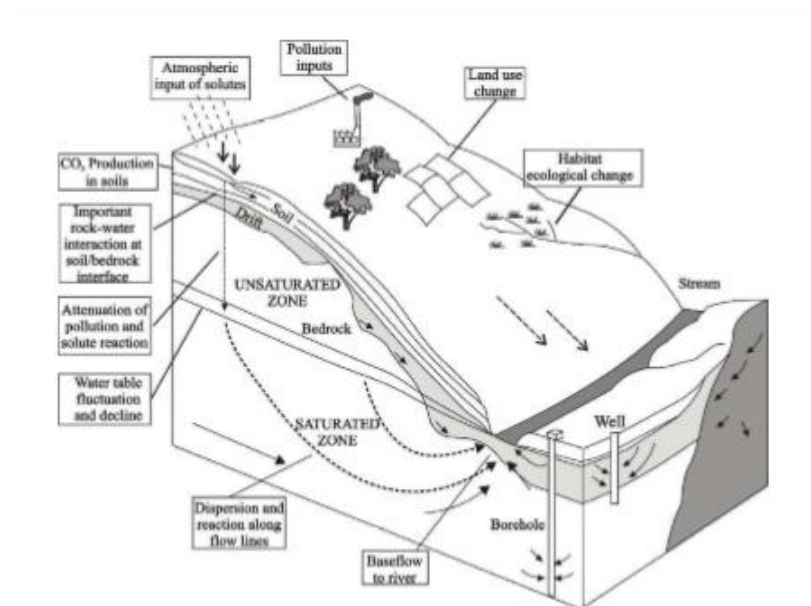


Σχήμα 2.7 Μεταβολή στοιχείων σε σχέση με το βάθος σε προφίλ διάβρωσης του σερπετίνη (Vletter, 1978)

2.5 Υδροχημεία του τροπικού περιβάλλοντος

Η κατανομή των διαφόρων χημικών ειδών στα διάφορα συστατικά του υδρολογικού κύκλου έχει σημαντική επίδραση στην ιατρική γεωλογία των τροπικών εδαφών, ιδιαίτερα σε σχέση με τις ασθένειες που σχετίζονται με τα υπόγεια ύδατα. Το σχήμα 2.8 απεικονίζει τις διεργασίες του κύκλου των αβαθών υπόγειων υδάτων που είναι ευαίσθητα στις αλλαγές. Πολλές γεωχημικές διεργασίες που θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν στον κύκλο υπογείων υδάτων θα μετέβαλαν σημαντικά τη χημεία του νερού. Μεταξύ αυτών θεωρούνται σημαντικές οι ακόλουθες διεργασίες:

- εξάτμιση και εξατμισοδιαπνοή
- επιλεκτική πρόσληψη ιόντων από τα φυτά (βλάστηση)
- αποσύνθεση της οργανικής ύλης
- διάβρωση και διάλυση ορυκτών
- κατακρήμνιση ορυκτών
- ανάμειξη διαφορετικών ποιοτήτων νερού
- ανθρωπογενείς δραστηριότητες.



Σχήμα 2.8 Διαδικασίες του αβαθούς κύκλου υπογείων υδάτων που παρουσιάζουν στοιχεία ευαίσθητα στις περιβαλλοντικές μεταβολές (Edmunds, 1996)

Στο σχήμα 2.8 παρουσιάζεται μια σχηματική επισκόπηση των διεργασιών που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού στον υδρολογικό κύκλο. Ο Πίνακας 2.3 παρουσιάζει τις διεργασίες που είναι σημαντικές ως πηγές διαφορετικών ιόντων και τις διεργασίες που μπορούν να περιορίσουν τη συγκέντρωσή τους στο γλυκό νερό.

Οι Trescases (1992) έδειξαν ότι τα χημικά στοιχεία είναι πιο πιθανό να υποστούν έντονη κλασματοποίηση σε τροπικά περιβάλλοντα από ό, τι σε εύκρατες περιοχές.

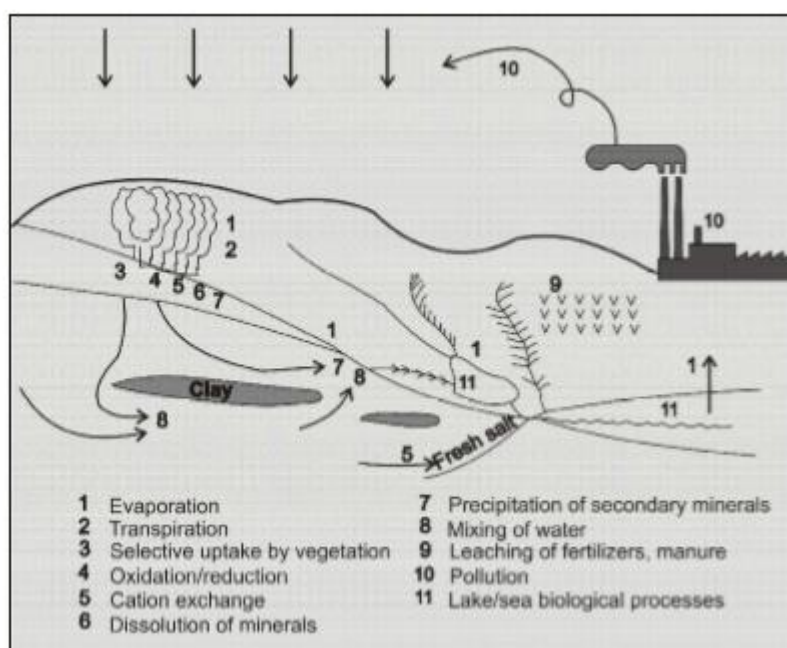
Η διαδικασία χημικού διαχωρισμού, ωστόσο, εξαρτάται από τη χημική κινητικότητα και τις τοπικές συνθήκες. Για το λόγο αυτό τα τροπικά περιβάλλοντα είναι πολύ πιθανότερο να έχουν περιοχές με συνθήκες έλλειψης στοιχείων ή υπερσυσσώρευσης που έχει σα συνέπεια την τοξικότητα (Plant et al., 2000).

Πίνακας 2.3 Διεργασίες που είναι σημαντικές ως πηγές διαφορετικών ιόντων και διεργασιών που μπορούν να περιορίσουν τα ιόντα συγκέντρωσης τους στο νερό (Appelo and Postma, 1994)

Elements	Process	Concentration Limits
Na ⁺	Dissolution, cation exchange in coastal aquifers	Kinetics of silicate weathering
K ⁺	Dissolution, adsorption, decomposition	Solubility of clay minerals, vegetation uptake
Mg ²⁺	Dissolution	Solubility of clay minerals
Ca ²⁺	Dissolution	Solubility of calcite
Cl ⁻	Evapotranspiration	None
HCO ₃ ⁻	Soil CO ₂ pressure, weathering	Organic matter decomposition
SO ₄ ²⁻	Dissolution, oxidation	Removal by reduction
NO ₃ ⁻	Oxidation	Uptake, removal by reduction
Si	Dissolution, adsorption	Chert, chalcedony solubility
Fe	Reduction	Redox-potential, Fe ³⁺ solubility, siderite, sulfide
PO ₄ ³⁻	Dissolution	Solubility of apatite, Fe, Al phosphates. Biological uptake

Σε μια ενδιαφέρουσα μελέτη για τη βιογεωδυναμική σε ένα δασώδες υγρό τροπικό περιβάλλον στο νότιο Καμερούν, οι Braun et al. (2002), ίσως για πρώτη φορά παγκοσμίως, προσπάθησαν να συνδυάσουν διαφορετικές προσεγγίσεις στην υδρολογία, τη βιογεωχημεία, την ορυκτολογία, τη κρυσταλλογραφία, τη μικροβιολογία, τη γεωφυσική και την εδαφολογία. Ένα από τα σημαντικότερα αποτελέσματα είναι ο βασικός ρόλος που διαδραματίζει η βλάστηση και η οργανική

ύλη του εδάφους στην κλασματοποίηση, την κατανομή ή την διατήρηση των χημικών στοιχείων στο υγρό τροπικό περιβάλλον. Σημείωσαν μια ισχυρή γεωχημική αντίθεση μεταξύ των διαφόρων ζωνών υπόγειων υδάτων συγκεκριμένα, πλημμυρισμένες περιοχές, λατεριτικά προφίλ με εδαφική κλίση, επιφάνεια διάβρωσης μεταξύ του σαπρολίτη και των πετρωμάτων του υπόβαθρου και των βαλτωδών περιοχών. Οι χουμικές ουσίες είναι ιδιαίτερα σημαντικές την εκτίμηση των συνθηκών διάβρωσης των στοιχείων που συνήθως θεωρούνται ακίνητα στον κύκλο των επιφανειακών νερών, π.χ. Al, Th, Zr και Fe..



Σχήμα 2.9 Σχηματική απεικόνιση των διαδικασιών που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού στον υδρολογικό κύκλο (Appelo and Postma, 1994)

Η σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο λειτουργικών ομάδων, όπως CO_2H , φαινόλη και αλκόολη (υδροξύλια) OH , κετόνη και κινονοειδή $\text{C} = \text{O}$, παρέχουν μηχανισμούς για την εύκολη αλληλεπίδραση οργανικών εδαφών και συστατικών νερού. Μέσω των όξινων λειτουργικών ομάδων πιστεύεται ότι αυτά τα στοιχεία αλληλεπιδρούν με μεταλλικά ιόντα για να σχηματίσουν μεταλλικές οργανικές ενώσεις με πολύ διαφορετικά χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά.

Οι Kerndorff και Schnitzer (1980) διερεύνησαν τη απορρόφηση χουμικού οξέος από ένα υδατικό διάλυμα που περιέχει Hg (II), Fe (III), Pb, Cu, Al, Ni, Cr (III), Cd, Zn,

Co και Mn με ιδιαίτερη έμφαση στις επιδράσεις του pH, της συγκέντρωσης μετάλλων και της συγκέντρωσης του χουμικού οξέος.

Παρατήρησαν ότι η απόδοση της προσρόφησης τείνει να αυξάνεται με αύξηση του pH, μείωση της συγκέντρωσης του μετάλλου και αύξηση των περιεχομένων του χουμικού οξέος του διαλύματος εξισορρόπησης.

Οι τάξεις της ροφήσεως ήταν οι ακόλουθες.

pH 2.4: Hg > Fe > Pb > Cu = Al > Ni > Cr = Zn = Cd = Co = M

pH 3.7: Hg = Fe > Al > Pb > Cu > Cr > Cd = Zn = Ni >= Mn

pH 4.7: Hg = Fe = Pb = Cu = Al = Cr > Cd > Ni = Zn > Co > Mn

pH 4.7: Hg = Fe = Pb = Al = Cr = Cu > Cd > Zn > Ni > Co > Mn

Relative Mobilities	Environmental Conditions		Environmental Conditions	
	Oxidising		Acid	
Very High	I	Top Profile	I	Humid
High	Mo U Se F Ra Zn		Mo U Se F Ra Zn Cu Co Ni Hg	
Medium	Cu Co Ni Hg As Cd		As Cd	
Low	Pb Be Bi Sb Ti		Pb Be Bi Sb Ti Fe Mn	
Very Low	Fe Mn Al Cr		Al Cr	
Very Low	Al Cr Mo U Se Zn Co Cu Ni Hg	Base Profile	Al Cr Zn Cu Co Ni Hg	Arid
Low	As Cd Pb Be Bi Sb Ti		Pb Be Bi Sb Ti Fe Mn	
Medium	Fe Mn		Ag Cd	
High	F Ra		F Ra	
Very High			Mo U Se	
Relative Mobilities	Reducing		Alkaline	

Σχήμα 2.10 Η σχετική κινητικότητα ορισμένων βασικών και δυνητικά τοξικών στοιχείων σε διαφορετικές συνθήκες επιφάνειας (Plant et al., 2000)

Η αφθονία και η κατανομή της οργανικής ύλης έχει έναν πολύ σημαντικό ρόλο σε μια γεωχημική επαρχία. Η ποιότητα του νερού των υπόγειων υδάτων που είναι πλούσια σε οργανική ύλη παρουσιάζει έντονο γεωχημικό ενδιαφέρον έναντι των υπόγειων υδάτων που είναι φτωχά σε οργανική ύλη. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, πολλές από τις οποίες βρίσκονται στην υγρή τροπική ζώνη, κοντά στον ισημερινό, η χημική

σύνθεση των υπόγειων υδάτων έχει ιδιαίτερη σημασία σε σχέση με την ιατρική γεωχημεία.

Τα υπόγεια ύδατα περιέχουν διαλυμένες ουσίες από την επαφή με διάφορα πετρώματα, ρευστά και αέρια καθώς βρίσκουν το δρόμο, τους από την επαναφόρτιση στην περιοχή εκφόρτισης. Η χημική σύνθεση των πετρωμάτων, των ορυκτών και των εδαφών μέσω των οποίων ρέει το νερό προκαλεί πολύ μεγάλες διακυμάνσεις της χημικής σύνθεσης των υπόγειων υδάτων.

Στις αγροτικές περιοχές των αναπτυσσόμενων χωρών των τροπικών περιοχών, ιδίως στις περιοχές όπου η μόλυνση λόγω βιομηχανικών εκπομπών είναι ελάχιστη, η χημική των πετρωμάτων, των ορυκτών και των εδαφών είναι υψίστης σημασίας για την υγεία των αυτοχθόνων πληθυσμών. Ο Πίνακας 2.4 παρουσιάζει τις συγκεντρώσεις διαλυμένων ανόργανων συστατικών στα υπόγεια ύδατα. Αυτά τα συστατικά είναι όλα τα ιόντα εκτός από το υδατικό διοξείδιο του πυριτίου.

Όταν τα ιχνοστοιχεία του νερού βρίσκονται σε πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από τις προβλεπόμενες αναμφισβήτητα θα έχουν αντίκτυπο στην υγεία των ανθρώπων που ζουν στην περιοχή. Η περίσσεια νιτρικών αλάτων που προκαλείται από την υπερβολική χρήση αζωτούχων λιπασμάτων, βαρέα μέταλλα σε όξινα εδάφη γύρω από κοιτάσματα ορυκτών είναι μερικά παραδείγματα,

Είναι επίσης γνωστό πως ο σίδηρος ότι παρουσιάζει αυξημένες συγκεντρώσεις γύρω από τις λίμνες, τις υγρές εκτάσεις και τα μολυσμένα πλούμια (contaminant plumes) (Kehew, 2001).

Τα σχήματα 2.11 και 2.12 απεικονίζουν την κατανομή και τις υδροχημικές ιδιότητες των διαφόρων τύπων συστημάτων ροής υπόγειων υδάτων. Από την άποψη της ιατρικής γεωχημείας, οι περιοχές επαναφόρτισης και εκφόρτισης είναι σημαντικές λόγω των υδρογεωχημικών ανωμαλιών που μπορεί να υπάρχουν σε τέτοιες περιοχές, έχοντας κατά νου ότι η χημική σύνθεση των υπόγειων υδάτων σε διαδρομές ροής που διασχίζουν πολλαπλούς τύπους πετρωμάτων μπορεί να είναι πολύ μεταβλητή. Τα σχήματα 2.15 παρουσιάζουν ένα τέτοιο σενάριο σε ένα τροπικό περιβάλλον στο οποίο συνδυάζονται η ορυκτολογία του υπόβαθρου και του εδάφους, η μορφολογία και το καθεστώς ροής των υπόγειων υδάτων για να σχηματίσουν γεωχημικές ανωμαλίες.

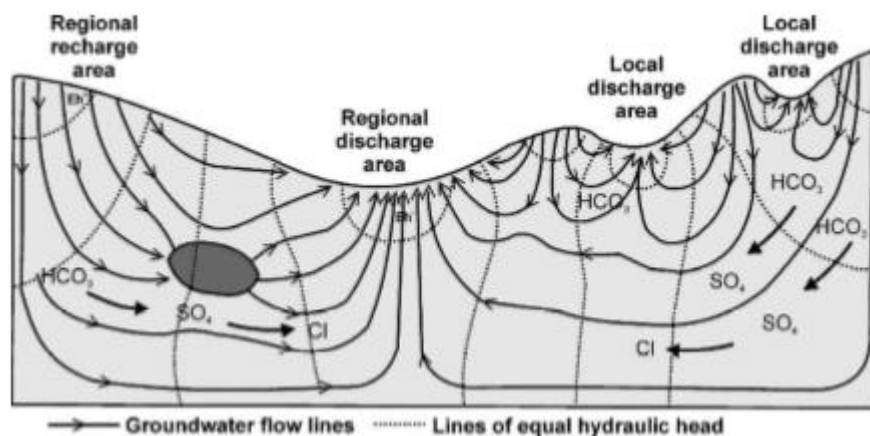
Πίνακας 2.4 Συγκεντρώσεις διαλυμένων ανόργανων συστατικών στα υπόγεια ύδατα (Freeze and Cherry, 1979; Davis and De Wiest, 1966) τροποποιημένη από (Dissanayake & Chandrajith, 2009)

Κύρια στοιχεία (greater than 5 mg/L)	
Bicarbonate	Silica
Calcium	Sodium
Chloride	Sulfate
Magnesium	
Δευτερεύοντα στοιχεία (0.01-10.0 mg/L)	
Boron	Nitrate
Carbonate	Potassium
Fluoride	Strontium
Iron	
Ιχνοστοιχεία (less than 0.1 mg/L)	
Aluminium	Molybdenum
Antimony	Nickel
Arsenic	Niobium
Barium	Phosphate
Beryllium	Platinum
Bismuth	Radium
Bromide	Rubidium
Cadmium	Ruthenium
Cerium	Scandium
Cesium	Selenium
Chromium	Silver
Cobalt	Thallium
Copper	Thorium
Gallium	Tin
Germanium	Titanium
Gold	Tungsten
Indium	Uranium
Iodide	Vanadium
Lanthanum	Ytterbium
Lead	Yttrium
Lithium	Zinc
Manganese	Zirconium

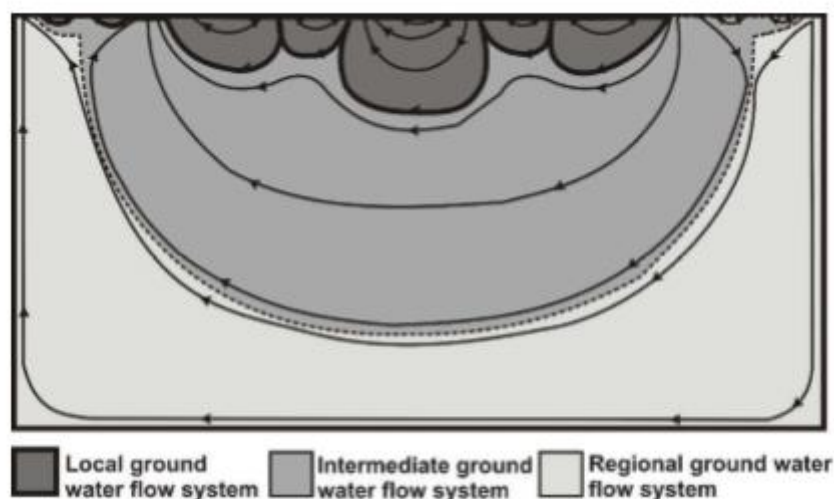
Η δημιουργία ορυκτών (mineralization) μπορεί επίσης να επηρεάσει την ποιότητα των υπόγειων υδάτων μιας περιοχής και αυτό μπορεί να έχει αντίκτυπο στην υγεία του πληθυσμού που ζει σε τέτοια εδάφη. Είναι γνωστό ότι σε βάθος, τα υπόγεια ύδατα μπορούν να μεταφέρουν μεταλλικά ιόντα (ore) και κύρια στοιχεία τόσο πλευρικά όσο και κατακόρυφα.

Οι γεωχημικοί χρησιμοποιούν συνεπώς τη χημεία υπόγειων υδάτων, ως εργαλείο εξερεύνησης ορυκτών σε μεγάλα βάθη.

Η αλληλεπίδραση των υπόγειων υδάτων με ορυκτοποιημένα στοιχεία προκαλεί μια αλλαγή στην ποιότητα της χημικής σύστασης των υπογείων υδάτων. Ως εκ τούτου, τα υπόγεια ύδατα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν ιχνηλάτες μεταλλοφόρων αποθεμάτων.



Σχήμα 2.11 Οι υδροχημικές ιδιότητες που σχετίζονται με τον τύπο του συστήματος ροής σε υποθετική και περιφερειακά μη οριοθετημένη λεκάνη (Τόθ, 1999)

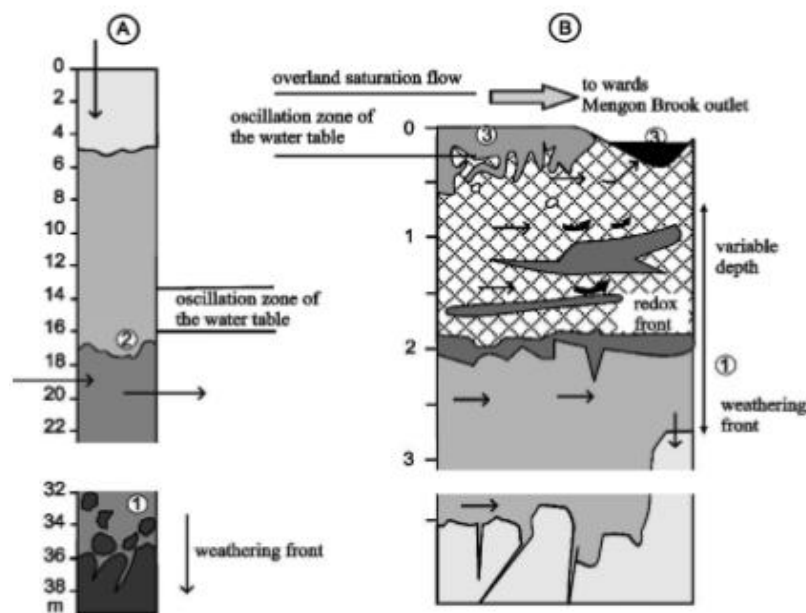


Σχήμα 2.12 Κατανομή τοπικών, ενδιάμεσων και περιφερειακών συστημάτων ροής υπόγειων υδάτων σε λεκάνη αποστράγγισης (Τόθ, 1963)

Οι μετρήσεις πεδίου περιλαμβάνουν το pH, το Eh, την αλατότητα, τη θερμοκρασία, και ιχνοστοιχεία. Οι γεωχημικές ανωμαλίες που παρατηρούνται μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά σε έργα που αποσκοπούν στην οριοθέτηση περιοχών με ιχνοστοιχείων που θα μπορούσαν να προκαλέσουν αύξηση στα

κρούσματα ορισμένων ασθενειών. Οι περιοχές στις οποίες υπόκεινται γρανιτικά πετρώματα μπορεί για παράδειγμα να περιέχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις φθορίου και σπάνιων γαιών που οδηγούν σε ασθένειες όπως και σκελετική φθορίωση και ενδομυοκαρδιακή ίνωση. Περαιτέρω, η αφθονία των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS), των ανθρακικών αλάτων Ca και Mg, η αλατότητα κλπ. στο νερό που προκαλείται από την παρουσία διαφόρων τύπων πετρωμάτων αυξάνουν τις συγκεντρώσεις τέτοιων χημικών συστατικών και μπορεί επίσης να έχουν επιπτώσεις στην υγεία.

Η καλή κατανόηση της γεωλογίας και της λιθολογίας μιας περιοχής, της χημικής των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, των συστημάτων ροής των υπόγειων υδάτων, των περιοχών επαναφόρτισης και εκφόρτωσης τους και των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών αποτελεί χρήσιμη προϋπόθεση για κάθε μελέτη σχετικά με την επιδημιολογία κάθε ενδημικής ασθένειας,



Σχήμα 2.13 Προφίλ αναφοράς μιας κορυφής λόφου

(Α) βάλτος

(Β) θέση των δειγματοληπτικών νερών.

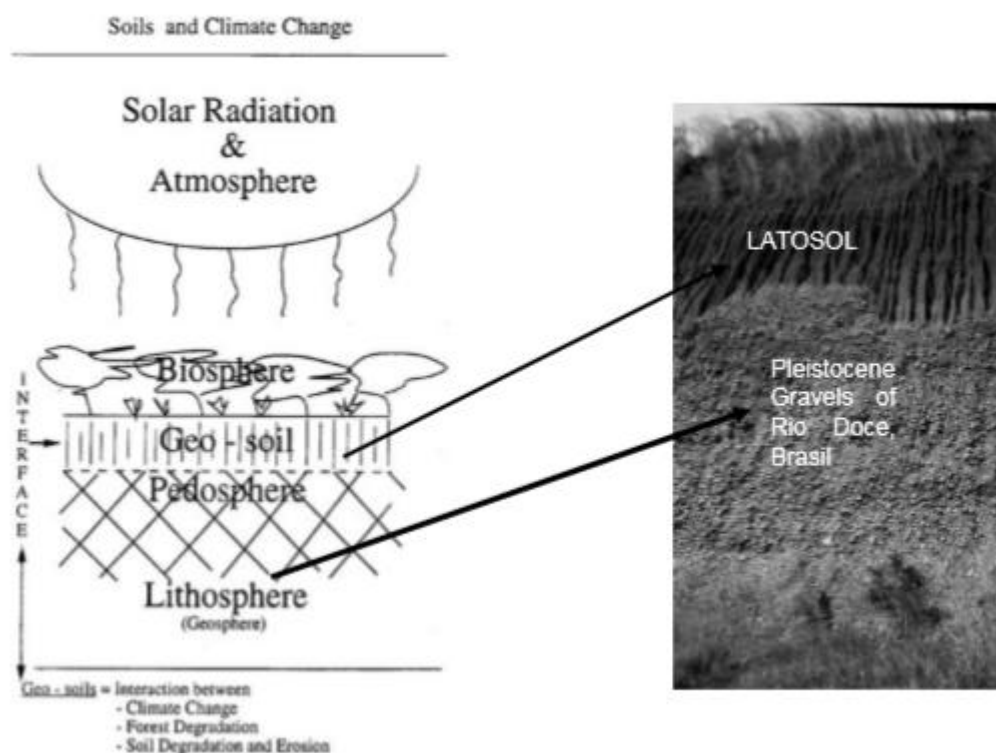
(1) Καθαρά νερά του μετώπου διάβρωσης

(2) καθαρό νερό του ανώτερου στρώματος των υπόγειων υδάτων του λόφου

(3) χρωματισμένο νερό των επιφανειακών υπογείων υδάτων Brook Mengong (Braun et al., 2002)

2.6 Καταγραφή της εδαφολογικής στρωματογραφίας του Πλειστοκαίνου στην Ελλάδα

Η καταγραφή του Τεταρτογενούς στα χερσαία τμήματα της Ελλάδος στηρίζεται σε εδαφοσειρές που έγιναν/προέκυψαν ουσιαστικά σε ένα μη θαλάσσιο σύστημα προεξεχόντων ποτάμιων και ερημικών ιζηματογενών σειρών, που εναλλάσσονταν με απολιθωμένα εδάφη. Ονομάστηκαν «Geosoil» για να τονίσουν τη γεωλογική τους συγγένεια (Paere et al. 1990) και αποτελούν έναν ακόμα τρόπο δημιουργίας εδαφών. Οι κλιματολογικές συνθήκες ήταν εντελώς διαφορετικές στην ίδια περιοχή όπου κατά την κρίση αλμυρότητας του Μεσσηνίου και λόγω των τεκτονικών γεγονότων που απέκοψαν τη Μεσόγειο από τον Ατλαντικό Ωκεανό, η περιοχή ήταν κλιματικά πιο ηπειρωτική.



Σχήμα 2.14 : Η σύνδεση μεταξύ της Βιοσφαίρας και της Λιθόσφαιρας. Η κορυφή της λιθόσφαιρας μετατράπηκε σε πεδόσφαιρα (Pedosphere). Η διαβρωμένη πεδόσφαιρα γίνεται geosoil. Ατμοσφαιρικές και κλιματικές μεταβολές γίνονται μέσω βιόσφαιρας στην πεδόσφαιρα. Το GEOSOIL καταγράφει τις αλλαγές στην ατμόσφαιρα σε σχέση με το χρόνο, όπως για παράδειγμα τις αλλαγές του διοξειδίου του άνθρακα (από Paere et al., 2004).

- Τα Geosoils στις λιθοστρωματικές ακολουθίες του Τεταρτογενούς καταλαμβάνουν «σταθερές» χρονικές στρωματογραφικές θέσεις και επομένως είναι κατάλληλα για να χρησιμοποιηθούν και για χρονική συσχέτιση.
- Επειδή τα Geosoil του Τεταρτογενούς δείχνουν επίσης σε παγκόσμια κλίμακα σταθερή στρωματογραφική κατανομή, για αυτό είναι κατάλληλα για συσχέτιση αποθέσεων που βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις.
- Οι ιζηματογενείς σειρές στα Geosoil μπορεί να δώσουν χρήσιμες πληροφορίες που σχετίζονται με τις κλιματικές αλλαγές της γης σε παγκόσμια κλίμακα καθ όλη τη διάρκεια της περιόδου τεταρτογενούς.
- Τα Geosoil αντανakλούν αλλαγές στο τοπικό βιο-περιβάλλον καθώς και αλλαγές στην χημεία της ατμόσφαιρας (διοξείδιο του άνθρακα) (Paere et al., 2004)

2.7 Ταξινόμηση εδαφών

Η μεγάλη ποικιλία των εδαφών και η σπουδαιότητά τους για τη συντήρηση ολόκληρου του φυτικού και ζωικού κόσμου οδήγησε στην ανάγκη της ταξινόμησής τους. Η ταξινόμηση δίνει πληροφορίες για τις ιδιότητες, τις παραγωγικές δυνατότητες και τη σωστή χρήση των διαφόρων εδαφών.

Η σωστή εκλογή του κατάλληλου δασοπονικού είδους, η επιτυχημένη φυσική αναγέννηση, η καλλιέργεια υγιούς και παραγωγικού τεχνητού δάσους και η σωστή διαχείριση των φυσικών δασών χρειάζονται καλή γνώση του εδάφους.

Το έδαφος πρέπει να εξετάζεται κατ' αρχήν ως ενιαίο σύνολο και αν είναι δυνατόν στη φυσική του κατάσταση. Γιατί όταν εξετάζεται ένα τμήμα ή δείγμα του εδάφους, δεν μπορεί να δώσει πληροφορίες για τη συμπεριφορά του σαν σύνολο. Οι εργαστηριακές εξετάσεις τμημάτων του εδάφους μπορούν να δώσουν συμπληρωματικές πληροφορίες (Τσιτσίας 1997).

Η ταξινόμηση των εδαφών εμφανίστηκε στις αρχές του αιώνα μας σαν ανεξάρτητος επιστημονικός κλάδος της εδαφολογίας και εξυπηρετεί την Γεωπονία και τη δασολογία καθώς και άλλες επιστήμες όπως η Οδοποιία, η Πολεοδομία κ.ά.

Για να σχηματιστεί ένα έδαφος χρειάζεται να επιδράσουν μακροχρόνια ορισμένες διεργασίες. Το είδος των διεργασιών, η έντασή τους και τα προϊόντα τους εξαρτώνται

από τους παράγοντες εδαφογένεσης. Οι παράγοντες εδαφογένεσης είναι το μητρικό υλικό, το κλίμα, οι οργανισμοί, το τοπογραφικό ανάγλυφο και ο χρόνος.

2.7.1 Σύστημα κατάταξης εδαφών

Ο Τσιτσίας (1997) αναφέρει ότι ο πρώτος που ασχολήθηκε με την κατάταξη των εδαφών ήταν ο Dokuchaev. Κατηγοριοποίησε τα εδάφη σε κανονικά, μεταβατικά και μη κανονικά, ανάλογα με την πλήρη ή μερική εμφάνιση ή απουσία των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων. Ο συνεργάτης του Dokuchaev ο Sibirtsev παρουσίασε την πρώτη καθαρά εδαφολογική κατάταξη των εδαφών. Ο Sibirtsev διατύπωσε την άποψη ότι οι βασικοί εδαφογενετικοί παράγοντες επηρεάζουν και διαμορφώνουν το χαρακτήρα των εδαφών ανάλογα με το βαθμό ωριμότητας αυτών. Διέκρινε τα εδάφη σε Ζωνικά (Zonal), Ενδοζωνικά (Intrazonal) και αζωνικά (Azonal).

- Ζωνικά εδάφη είναι τα εδάφη εκείνα που τα χαρακτηριστικά του προφίλ τους καθορίζονται από το κλίμα και τη βλάστηση της περιοχής. Χαρακτηρίζονται ως εδαφογενετικά ώριμα εδάφη.
- Ενδοζωνικά εδάφη είναι τα εδάφη εκείνα που τα χαρακτηριστικά τους διαμορφώνονται από την επίδραση κάποιου τοπικού παράγοντα, όπως είναι το τοπικό ανάγλυφο της επιφάνειας ή το μητρικό υλικό. Η επίδραση του κλίματος και της βλάστησης είναι ελάχιστη.
- Αζωνικά εδάφη είναι τα εδάφη εκείνα που ορισμένοι παράγοντες εδαφογένεσης, εκτός από το κλίμα και τη βλάστηση, δεν επέτρεψαν την ανάπτυξη ενός χαρακτηριστικού προφίλ, που να αντανάκλα την επίδραση του κλίματος και της βλάστησης. Οι παράγοντες αυτοί είναι η τοπογραφία, το μητρικό υλικό, το νεαρό της ηλικίας, η έλλειψη επαρκούς υγρασίας κ.ά.

2.7.2 Παλιό Αμερικάνικο Σύστημα εδαφολογικής ταξινόμησης

Στο σύστημα αυτό λαμβάνονται οι μορφολογικοί χαρακτήρες των εδαφών και όχι οι γενετικοί συντελεστές που επέδρασαν στο σχηματισμό τους. Χρησιμοποιεί τις παρακάτω κατηγορίες :

- Τάξη
- Υπόταξη

- Μεγάλη εδαφική ομάδα
- Εδαφική οικογένεια
- Εδαφική σειρά
- Εδαφικός τύπος
- Εδαφική φάση

Οι τρεις τάξεις του συστήματος είναι τα Ζωνικά, τα Ενδοζωνικά και τα Αζωνικά εδάφη. Τα Ζωνικά χωρίζονται σε έξι υποτάξεις που διακρίνονται ανάλογα με τις συνθήκες του κλίματος και της βλάστησης και μερικές φορές από τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των εδαφών. Τα Ενδοζωνικά χωρίζονται σε τρεις υποτάξεις ανάλογα με τον τοπικό παράγοντα που επισκιάζει σε κάθε περίπτωση την επίδραση του κλίματος και της βλάστησης. Τα Αζωνικά δεν χωρίζονται σε υποτάξεις αλλά απ' ευθείας σε μεγάλες ομάδες. Το σύστημα αυτό χαρακτηρίζεται από πολλές ατέλειες όπως :

- Δίνει υπερβολική σημασία στη γένεση των εδαφών, ενώ αντίθετα στηρίζεται λιγότερο στις ιδιότητές τους.
- Παρουσιάζει ορισμένα κενά έτσι ώστε δεν είναι δυνατό να ταξινομηθούν με ικανοποιητικό τρόπο όλα τα γνωστά είδη εδαφών.
- Το έδαφος πρέπει να έχει παρθένο προφίλ για τη σωστή μελέτη του και όταν αυτό δεν υπάρχει, η μελέτη στηρίζεται σε υποθέσεις για τη γένεσή του και όχι σε γεγονότα
- Δεν χρησιμοποιεί ποσοτικά κριτήρια, δηλαδή ιδιότητες που μπορούν να μετρηθούν με διάφορες μεθόδους και με επαναλήψιμα αποτελέσματα.

2.7.3 Νέο Αμερικάνικο σύστημα

Το 1960 από το Υπουργείο Γεωργίας των ΗΠΑ εκδόθηκε το νέο σύστημα με την ονομασία «7η προσέγγιση», το οποίο συμπληρώθηκε το 1975 με την έκδοση του «Soil Taxonomy».

Τα κύρια κριτήρια που χρησιμοποιεί το νέο σύστημα, για να κατατάξει τα διάφορα εδάφη σε κατηγορίες είναι η παρουσία ή απουσία των εδαφικών επιπέδων και των διαγνωστικών εδαφικών οριζόντων. Εδαφικά επίπεδα είναι οι επιφανειακοί ορίζοντες που περιλαμβάνουν τα πάνω τμήματα της εδαφοτομής, είναι πλούσια σε οργανική ουσία ή είναι ελλουβιακά. Τα κυριότερα εδαφικά επίπεδα είναι τα παρακάτω :

- *Μολλικό επίπεδο (Mollic eripedon)* είναι σκοτεινόχρωμο, μεγάλου πάχους, με μεγάλο βαθμό κορεσμού από βάσεις και έχει μέτρια μέχρι ισχυρή δομή. Προέρχεται από την αποσύνθεση φυτικών υπολειμμάτων.
- *Ουμβρικό επίπεδο (Umbric eripedon)*. Σκοτεινόχρωμο, μοιάζει με το Μολλικό, αλλά έχει χαμηλό κορεσμό από βάσεις.
- *Ανθρωπογενές επίπεδο (Anthropic eripedon)*. Έχει τις ίδιες ιδιότητες με το Μολλικό, διαφέρει ως προς την περιεκτικότητα σε P2O5 (πάνω από 250 ppm). Σχηματίζεται σε εδάφη πλούσια σε οργανική ουσία.
- *Ιστώδες επίπεδο (Histic eripedon)*. Πλούσιο σε οργανική ουσία, σχηματίζεται κάτω από αναερόβιες συνθήκες, γιατί είναι κορεσμένο με νερό για μεγάλο χρονικό διάστημα
- *Ωχρο επίπεδο (Ochric eripedon)*. Ανοιχτόχρωμο, με μικρή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και μικρό πάχος.

2.7.4 Διαγνωστικοί εδαφικοί ορίζοντες

Είναι χαρακτηριστικοί ορίζοντες που βρίσκονται σε ορισμένο βάθος από την επιφάνεια του εδάφους και αποτελούν κυρίως τον B ορίζοντα. Οι κυριότεροι διαγνωστικοί ορίζοντες είναι οι παρακάτω :

- *Αργιλικός ορίζοντας (Argillic horizon)*. Είναι ιλλουβιακός ορίζοντας με προσθήκη λεπτής αργίλου που εκπλύθηκε από τον A ορίζοντα
- *Αγρικός ορίζοντας (Agric horizon)*. Είναι ιλλουβιακός ορίζοντας πλούσιος σε άργιλο και οργανική ουσία. Βρίσκεται αμέσως κάτω από το οργωμένο τμήμα ενός καλλιεργούμενου εδάφους.
- *Νατρικός ορίζοντας (Natric horizon)*. Παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά του αργιλικού ορίζοντα και ακόμα πρισματική ή πιο συχνά 152 στηλοειδή δομή, το εναλλακτικό νάτριο υπερβαίνει το 15% της εναλλακτικής ικανότητας.
- *Σποδικός ορίζοντας (Sporadic horizon)*. Είναι ιλλουβιακός ορίζοντας, γιατί δέχτηκε οργανική ουσία και οξείδια του Al και Fe που έχουν εκπλυθεί από τον A ορίζοντα.
- *Καμβικός ορίζοντας (Cambic horizon)*. Είναι ορίζοντας που έχει υποστεί μεταβολές σε μερικές ιδιότητές του σε σχέση με το μητρικό υλικό του εδάφους. Μπορεί να δημιουργηθεί σε ένα έδαφος, στο οποίο η στάθμη του νερού ανέρχεται και κατέρχεται.

- *Καλσικός ορίζοντας (Calsic horizon).* Είναι συνηθέστερος σε ασύνδετα μητρικά υλικά, όπως αλλουβιακές ή αιολικές αποθέσεις. Παρατηρείται δευτερογενής εμπλουτισμός σε ανθρακικά άλατα, όπως CaCO_3 15% και έχει πάχος 15 cm.
- *Αλβικός ορίζοντας (Albic horizon).* Είναι ο ορίζοντας από τον οποίο απομακρύνθηκαν τα ελεύθερα οξείδια του Fe και η άργιλος. Λόγω αυτής της απομάκρυνσης έχει χρώμα συνήθως τεφρό ή λευκό.
- *Οξικός ορίζοντας (Oxic horizon).* Χαρακτηρίζει κατάσταση προχωρημένης εδαφογένεσης. Γι' αυτό περιέχει σε μεγάλη ποσότητα οξείδια του Fe, Al, Si και δευτερογενή ορυκτά της αργίλου του τύπου 1:1 καθώς και χαλαζία.

Το νέο σύστημα περιλαμβάνει δέκα κατηγορίες εδαφών με τα παρακάτω ονόματα : 1) Entisols, 2) Vertisols, 3) Inceptisols, 4) Aridisols, 5) Mollisols, 6) Spodosols, 7) Alfisols, 8) Ultisols, 9) Oxisols, 10) Histosols. Η ποικιλομορφία του κλίματος και των πετρωμάτων της χώρας μας δίνει γένεση σε εδάφη πολλών κατηγοριών με διαφορετικά μορφολογικά χαρακτηριστικά (Τσιτσίας 1997).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Φυσική Υδροχημική Εξέλιξη Υπογείων Υδάτων

3.1 Σκληρότητα νερού

Η σκληρότητα του νερού είναι το παραδοσιακό μέτρο της ικανότητας του νερού να αντιδρά με το σαπούνι και περιγράφει την ικανότητα του νερού να δεσμεύει το σαπούνι για να σχηματίσει αφρό, που είναι μια χημική αντίδραση επιζήμια για τη διαδικασία της πλύσης. Η σκληρότητα έχει ελάχιστη σημασία όσον αφορά τις υδροχημικές μελέτες, αλλά αποτελεί σημαντική παράμετρο για τη χρήση του νερού.

Σήμερα, η τεχνική σημασία της σκληρότητας του νερού αφορά περισσότερο τις διαβρωτικές επιδράσεις στους σωλήνες νερού που μεταφέρουν μαλακό νερό.

Παρά την ευρεία χρήση του όρου, η ιδιότητα της σκληρότητας είναι δύσκολο να προσδιοριστεί επακριβώς. Η σκληρότητα του νερού δεν προκαλείται από μία μόνο ουσία αλλά από μια ποικιλία διαλυμένων πολυσθενών μεταλλικών ιόντων - κυρίως ασβεστίου και μαγνησίου - αν και άλλα ιόντα, για παράδειγμα, αργίλιο, βάριο, σίδηρος, μαγγάνιο, στρόντιο και ψευδάργυρος, συμβάλλουν επίσης. Η πηγή των μεταλλικών ιόντων είναι τυπικά ιζηματογενή πετρώματα και τα πιο συνήθη είναι ο ασβεστόλιθος (CaCO_3) και ο δολομίτης ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

Η σκληρότητα κανονικά εκφράζεται ως η ολική συγκέντρωση ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου σε νερό σε μονάδες mg/L, ως ισοδύναμο CaCO_3 . Η σκληρότητα μπορεί να προσδιοριστεί αντικαθιστώντας τη συγκέντρωση ασβεστίου και μαγνησίου, εκφρασμένη σε mg/L, στην ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Total hardness} = 2.5(\text{Ca}^{2+}) + 4.1(\text{Mg}^{2+})$$

Κάθε συγκέντρωση πολλαπλασιάζεται με την αναλογία του βάρους του τύπου CaCO_3 προς το ατομικό βάρος του ιόντος. Επομένως, οι παράγοντες 2.5 και 4.1 της ανωτέρω εξίσωσης συμπεριλαμβάνονται στη σχέση σκληρότητας (Freeze and Cherry, 1979).

Στην Ευρώπη, η σκληρότητα του νερού εκφράζεται συχνά ως βαθμός σκληρότητας. Ένας γαλλικός βαθμός ισοδυναμεί με 10 mg/L ως CaCO_3 , έναν γερμανικό βαθμό με 17,8 mg/L ως CaCO_3 και ένας αγγλικός βαθμό Clark με 14,3 mg/L ως CaCO_3 . Ένας γερμανικός βαθμός σκληρότητας (dH) είναι ίσος με 1 mg οξειδίου του ασβεστίου (CaO) ή 0,72 mg οξειδίου του μαγνησίου (MgO) ανά 100 mL νερού.

Όπου αναφέρεται, η ανθρακική σκληρότητα περιλαμβάνει εκείνο το μέρος της ολικής σκληρότητας ισοδύναμο με το όξινο ανθρακικό (δτανθρακικό) και ανθρακικό (ή αλκαλικότητα). Αν η σκληρότητα ξεπεράσει την αλκαλικότητα, η περίσσεια ονομάζεται σκληρότητα χωρίς ανθρακικό άλας και αποτελεί μέτρο του θεικού ασβεστίου και μαγνησίου. Σε παλιότερες δημοσιεύσεις χρησιμοποιούνται οι όροι "προσωρινή" και "μόνιμη" αντί για ανθρακικό και μη ανθρακικό. Η προσωρινή σκληρότητα αντικατοπτρίζει το γεγονός ότι τα υπεύθυνα ιόντα μπορούν να καθιζάνουν με βρασμό, έτσι ώστε:



Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για να ταξινομηθεί η σκληρότητα του νερού. Το νερό με τιμές σκληρότητας μεγαλύτερες από 150 mg/L, χαρακτηρίζεται ως πολύ σκληρό. Το μαλακό νερό έχει τιμές κάτω των 60 mg/L.

Τα υπόγεια ύδατα που έρχονται σε επαφή με ασβεστόλιθο ή γύψο ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) μπορούν συνήθως να φθάσουν σε επίπεδα 200-300 mg/L. Σε ύδατα που περιέχουν σχηματισμούς από γύψο, μπορεί να υπάρχουν 1.000 mg/L ή μπορεί να υπάρχει μεγαλύτερη συνολική σκληρότητα (Hem 1985).

Η σκληρότητα του νερού που χρησιμοποιείται για οικιακές χρήσεις δεν γίνεται ιδιαίτερα ενοχλητική έως ότου ξεπεραστεί το επίπεδο των 100 mg/L. Ανάλογα με το pH και την αλκαλικότητα, η σκληρότητα που κυμαίνεται περίπου σε 200 mg/L μπορεί να οδηγήσει επικαθήσεις, ιδιαίτερα στη θέρμανση και στην αυξημένη κατανάλωση σαπουνιού.

Τα μαλακά νερά με σκληρότητα περίπου 100 mg/L έχουν χαμηλή χωρητικότητα αποθήκευσης (low buffering capacity) και μπορεί να είναι πιο διαβρωτικά στους σωλήνες νερού, με αποτέλεσμα την παρουσία βαρέων μετάλλων όπως το κάδμιο, ο χαλκός, ο μόλυβδος και ο ψευδάργυρος στο πόσιμο νερό. Αυτό εξαρτάται από το pH, την αλκαλικότητα και τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό.

Για την υγεία, δεν προτείνεται καμία κατευθυντήρια τιμή για τη σκληρότητα επειδή θεωρείται ότι τα διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με την αντίστροφη σχέση μεταξύ της σκληρότητας του πόσιμου νερού και της εγκεφαλοαγγειακής νόσου (CVD) είναι

ανεπαρκή για να καταλήξουν στο συμπέρασμα ότι υπάρχει αιτιώδης σχέση (WHO 2002). Ωστόσο, η συγκέντρωση των 500 mg/L βρίσκεται στο ανώτατο αποδεκτό όριο

3.2 Φυσική Υδροχημική Εξέλιξη Υπογείων Υδάτων

Ο συνδυασμός της γεωλογίας και της υδρολογίας μιας λεκάνης απορροής ποταμού είναι σημαντικός για τον προσδιορισμό της σκληρότητας του νερού. Οι λεκάνες απορροής από αδιαπέραστα πετρώματα που είναι ανθεκτικά στη διάβρωση δημιουργούν επιφανειακή απορροή που διαρκεί ελάχιστο χρόνο ώστε να επιτρέψει τη διάβρωση. Ως αποτέλεσμα, τα επιφανειακά ύδατα έχουν χημική σύνθεση παρόμοια με την νερά που προέρχονται από αραιωμένη βροχόπτωση (dilute rainfall) και χαρακτηρίζονται ως μαλακό νερό. Αντίθετα, οι λεκάνες απορροής των περατών πετρωμάτων επιτρέπουν στο νερό να διεισδύσει κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, έτσι ώστε τα υπόγεια ύδατα να έρχονται σε επαφή με τα πετρώματα, προκαλούν διάβρωση, η οποία ενδεχομένως οδηγεί στην ανάπτυξη φρεάτων και αγωγών. Ως αποτέλεσμα, τα υπόγεια νερά αποκτούν υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων συστατικών και χαρακτηρίζονται ως σκληρά νερά.

Στα φυσικά υδατικά συστήματα, η χημική σύνθεση του νερού αλλάζει διαρκώς και ελέγχεται κυρίως από γεωλογικούς παράγοντες. Η αποσάθρωση των πετρωμάτων καθορίζει την απελευθέρωση των στοιχείων στο νερό. Στα υπόγεια ύδατα αναγνωρίζεται μια φυσική εξέλιξη της χημικής σύνθεσης. Το αραιό νερό της βροχής που περιέχει χλωριούχο νάτριο και CO_2 που εισέρχεται στη ζώνη του εδάφους εμπλουτίζεται περαιτέρω με CO_2 , το οποίο παράγεται από τη διάσπαση της οργανικής ύλης, στο νερό διήθησης για να σχηματιστεί ανθρακικό οξύ. Μέσα στο χώμα και στην ακόρεστη ζώνη των ιζηματογενών πετρωμάτων, αυτό το ασθενές οξύ διαλύει ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου όπως τον ασβεστίτη και τον δολομίτη για να δώσει υψηλή συγκέντρωση ασβεστίου, μαγνησίου και όξινου ανθρακικού άλατος. Στα κρυσταλλικά πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα, η διάβρωση των πυριτικών αλάτων από την προσβολή του ανθρακικού οξέος απελευθερώνει χαμηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου και νατρίου στο νερό του εδάφους ή στα υπόγεια ύδατα και σχηματίζει επίσης διττανθρακικό άλας.

Μακριά από την παροχή οξυγόνου στο υπέδαφος και την ακόρεστη ζώνη, το νερό διήθησης καθίσταται ολοένα και πιο ανοξικό ως αποτέλεσμα την προοδευτικής βακτηριακής αναγωγής του οξυγόνου (bacterial reduction of oxygen). Κάτω από το στρώμα του νερού και με αυξανόμενες αναγωγικές συνθήκες, ο σίδηρος και το μαγγάνιο κινητοποιούνται και στη συνέχεια καθιζάνουν ως μεταλλικά σουλφίδια. Με την παρουσία διάσπαρτου αργιλώδους υλικού μέσα σε υδροφόρο ορίζοντα, και λόγω της ιοντοανταλλαγής αντικαθιστάται το ασβέστιο από το νάτριο καθώς το νερό εξελίσσεται σε τύπο νερού με όξινο ανθρακικό νάτριο. Ως εκ τούτου, τα υπόγεια ύδατα μαλακώνουν φυσικά με αντιδράσεις ανταλλαγής ιόντων. Γενικά, όπου το σύστημα αποτελείται μόνο από ασβεστόλιθο, η συνολική σκληρότητα είναι ισοδύναμη με την σκληρότητα ανθρακικού ασβεστίου και είναι $<120 \text{ mg/L}$. Τα υπόγεια ύδατα με υψηλότερη συνολική σκληρότητα συνήθως προκύπτουν από τη διάλυση άλλων ορυκτών του υδροφόρου ορίζοντα, κυρίως του δολομίτη και του γύψου, την ανάμειξη γλυκού νερού με υπολειμματικά αλατούχα υπόγεια ύδατα, και ανάμειξη θαλασσινού νερού, ή τη μόλυνση.

Μια αλληλουχία υδροχημικής εξέλιξης προσδιορίζεται από τον Sprinkle (1989), ο οποίος ξεκινά με τη διάλυση του ασβεστίου στις περιοχές επαναφόρτισης που παράγουν έναν τύπο ύδατος που κυριαρχείται από ασβέστιο-διττανθρακικό άλας με συνολική συγκέντρωση διαλυμένων στερεών (TDS) γενικά μικρότερη από 250 mg/L . Η διάλυση του δολομίτη οδηγεί σε έναν τύπο ασβεστίου-μαγνησίου-διττανθρακικού νερού. Όταν υπάρχει αφθονία σε γύψο, το θειικό άλας γίνεται το κυρίαρχο ανιόν. Το θαλασσινό νερό αυξάνει τη συγκέντρωση TDS και οι τύποι νερού αλλάζουν σε χλωριο-νατριούχοι.

3.3 Η ιστορία του σκληρού νερού

Η ιστορία πίσω από αυτό που θεωρείται σήμερα ως κοινώς αποδεκτό γεγονός - ότι το σκληρό νερό προστατεύει από την καρδιαγγειακή νόσο (CVD)- αναφέρεται συχνά ως "ιστορία με το σκληρό νερό". Η ιστορία του σκληρού νερού ξεκίνησε το 1957 με τον Jun Kobayashi, Ιάπωνα γεωπόνο. Είχε ασχοληθεί εδώ και πολλά χρόνια με τη μελέτη του νερού άρδευσης από γεωργικής άποψης. Σε αυτές τις μελέτες βρήκε μια στενή σχέση μεταξύ της χημικής σύνθεσης του νερού των ποταμών και του ποσοστού θανάτου από την «αποπληξία» (CVD). Το ποσοστό θνησιμότητας που οφείλεται σε αποπληξία στην Ιαπωνία ήταν εξαιρετικά υψηλό σε σύγκριση με άλλες χώρες και η

μεγαλύτερη αιτία θανάτου στην Ιαπωνία. Ο Kobayashi διαπίστωσε ότι ήταν η αναλογία θείου προς ανθρακικό ($\text{SO}_4 / \text{CaO}_3$) που σχετίζεται με το ποσοστό θνησιμότητας από την αποπληξία. Πρότεινε ότι το (inorganic acid) ανόργανο οξύ CaCO_3 μπορεί να προκαλέσει ή να αποτρέψει την αποπληξία (Kobayashi 1957).

Τρία χρόνια αργότερα παρουσιάστηκε μια μελέτη από τον Schroeder (1960), που περιλαμβάνει τις 163 μεγαλύτερες πόλεις στις Ηνωμένες Πολιτείες. Βρήκε αντίστροφο συσχετισμό μεταξύ της σκληρότητας του νερού και του CVD τόσο στους άνδρες όσο και στις γυναίκες. Έχει μελετήσει επίσης τη σχέση μεταξύ των διαφόρων συστατικών του νερού και της στεφανιαίας νόσου (CHD) μεταξύ 45-64 ετών. Βρήκε σημαντικούς συσχετισμούς μεταξύ του ποσοστού θνησιμότητας από CHD και θειικό και διττανθρακικό, αντίστοιχα, αλλά όχι για την αναλογία των παραγόντων. Βρήκε επίσης σημαντικούς αρνητικούς συσχετισμούς μεταξύ θανάτων από CHD και μαγνησίου, ασβεστίου, φθορίου και pH.

Κατά τις επόμενες δεκαετίες παρουσιάστηκαν αρκετές μελέτες σχετικά με τη σχέση μεταξύ σκληρότητας ύδατος και αποπληξίας (CVD). Αρχικά οι μελέτες ασχολήθηκαν με το ερώτημα εάν υπήρξε τοξική επίδραση από το μαλακό νερό ή προστατευτικό αποτέλεσμα από το σκληρό νερό. Όπως περιεγράφηκε παραπάνω, τα μαλακά νερά συνήθως έχουν χαμηλή ρυθμιστική ικανότητα και είναι πιο διαβρωτικά, πράγμα που οδηγεί σε υψηλότερες ποσότητες τοξικών ιχνοστοιχείων. Έχει προταθεί ότι αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε αυξημένη θνησιμότητα. Ωστόσο, τα αποτελέσματα από προηγούμενες μελέτες δεν υποστήριζαν αυτήν την υπόθεση (Marier 1986a). Για παράδειγμα, σε μια έρευνα για περισσότερα από 500 νερά βρύσης στον Καναδά, δεν βρέθηκε σημαντική συσχέτιση μεταξύ θνησιμότητας και ιχνοστοιχείων όπως ο μόλυβδος, το κάδμιο, το κοβάλτιο, το λίθιο, ο υδράργυρος, το μολυβδαίνιο, το νικέλιο ή το βανάδιο (Neri et al., 1975). Σε διάφορα μέρη του κόσμου έχουν διεξαχθεί μελέτες σχετικά με τη σχέση μαγνησίου και ασβεστίου στο τοπικό πόσιμο νερό και τη θνησιμότητα από καρδιαγγειακά νοσήματα. Αυτές οι μελέτες βασίζονταν γενικά σε μητρώα θανάτου και δεδομένα νερού σε περιφερειακό ή δημοτικό επίπεδο. Τα αποτελέσματα αυτών των μελετών συνοψίζονται στον πίνακα 3.1

Πίνακα 3.1 Η επίδραση υψηλών επιπέδων μαγνησίου (Mg) ή ασβεστίου (Ca) στο πόσιμο νερό που προκαλούν θνησιμότητα από καρδιαγγειακή νόσο (CVD), στεφανιαία νόσο (CHD) ή εγκεφαλοαγγειακή νόσο (CD) σε διάφορες μελέτες που δημοσιεύθηκαν ήδη από το 1975 (Selinus, 2005)

Studies	Mg			Ca		
	CVD	CHD	CD	CVD	CHD	CD
<i>North America</i>						
Dawson et al. (1978)	↯			↯		
Neri et al. (1975)		↯			—	
<i>Great Britain</i>						
Shaper et al. (1980)	—			↯		
Maheswaran et al. (1999)		—			—	
<i>Germany</i>						
Teitge (1990)		↯				
<i>Sweden</i>						
Nerbrand et al. (1992)	—			↯		
Rylander et al. (1991)		↯	—		↯	↯
<i>South Africa</i>						
Leary et al. (1983)		↯				

↯ = lower mortality, — = no difference

Ακόμη και με αυτές τις μελέτες, δεν αποδόθηκαν σημαντικά αποτελέσματα για το ρόλο του μαγνησίου και του ασβεστίου στο πόσιμο νερό για την αποπληξία CVD. Οι περισσότερες από τις μελέτες έδειξαν σχέση μεταξύ διαφορετικών καρδιαγγειακών θανάτων είτε μαγνησίου είτε ασβεστίου ή και των δύο, αλλά μερικές μελέτες δεν έδειξαν καθόλου σχέση.

Ο γεωμετρικός μέσος όρος για την τυποποιημένη αναλογία θνησιμότητας (SMR) για τις καρδιαγγειακές νόσους για τις πόλεις που ομαδοποιούνται ανάλογα με τη σκληρότητα του ύδατος τόσο με και χωρίς προσαρμογές για τις επιπτώσεις τεσσάρων κλιματικών και κοινωνικοοικονομικών μεταβλητών. Η προσαρμοσμένη τιμή SMR μειώθηκε σταθερά κατά τη μετάβαση από σκληρότητα 10-170 mg/L, αλλά αλλάζει ελάχιστα μεταξύ 170-290 mg/L ή μεγαλύτερης. Μετά την προσαρμογή, η CVD σε περιοχές με πολύ μαλακό νερό, περίπου 25 mg/L, εκτιμάται ότι είναι 10-15% υψηλότερη από ό, τι σε περιοχές με μέτριο σκληρό νερό, περίπου 170 mg/L, ενώ κάθε περαιτέρω αύξηση της σκληρότητας πέρα από 170 mg/L δεν μείωσαν επιπλέον την CVD θνησιμότητα.

Ως εκ τούτου, φάνηκε ότι η μέγιστη επίδραση στην CVD ήταν κυρίως μεταξύ των πολύ μαλακών και μαλακών υδάτων. Η προσαρμογή για κλιματικές και κοινωνικοοικονομικές διαφορές μείωσε σημαντικά το φαινόμενο μέγεθος της επίδρασης της σκληρότητας του νερού.

Ένα πρόβλημα με μελέτες συσχέτισης, όπως η Βρετανική Περιφερειακή Καρδιολογική Μελέτη, όπως υποστηρίζεται από τον Jones and Moon (1987), είναι η

αποτυχία μεγάλου μέρους της έρευνας να εξετάσει τον μηχανισμό που συνδέει τις ανεξάρτητες μεταβλητές με την έκβαση της ασθένειας. Επίσης, πολλά από τα βαθμονομημένα μοντέλα που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία είναι κοινωνικά τυφλά όταν περιλαμβάνουν μόνο μεταβλητές που σχετίζονται με το φυσικό περιβάλλον, το οποίο συχνά συμβάλλει σε μεγάλο αριθμό στοιχείων ποιότητας του νερού. Ακόμα και σε αυτές τις καλύτερες αναλύσεις που συμπεριέλαβαν κοινωνικές μεταβλητές, όπως στην περίπτωση της British Regional Heart Study, η σχετικά ισχυρή συσχέτιση που διαπιστώθηκε για το ασβέστιο στην Αγγλία και την Ουαλία μπορεί να είναι αποτέλεσμα του ασβεστίου που ενεργεί ως πολύ καλό υποκατάστατο των κοινωνικών μεταβλητών. Οι περιοχές μαλακών υδάτων του βορρά και του δυτικού τμήματος των βρετανικών νήσων ισοδυναμούν με τους τομείς της πρώιμης εκβιομηχάνισης και σήμερα στις περιοχές αυτές υπάρχει δυσανάλογο ποσοστό των κοινωνικά μειονεκτούντων (Jones and Moon 1987). Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό οι περαιτέρω μελέτες να αναλάβουν την πρόκληση της ποσοτικής ανάλυσης των ξεχωριστών επιδράσεων των κοινωνικών μεταβλητών από εκείνες της σκληρότητας του νερού.

Λιγότερες μελέτες έχουν διεξαχθεί στις αναπτυσσόμενες χώρες αλλά οι Dissanayake et al. (1982), για παράδειγμα, βρήκαν αρνητική συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας του νερού και των διαφόρων μορφών CVD και λευχαιμίας στη Σρι Λάνκα. Πρόσφατες μελέτες (Dissanayake 1991, Rajasooriyar 2003) έχουν επισημάνει το πρόβλημα των υψηλών συγκεντρώσεων φθοριδίου και της σχετιζόμενης οδοντικής φθορίωσης σε περιοχές σκληρού ύδατος που αντλούνται από κρυσταλλικούς υδροφόρους ορίζοντες στη Σρι Λάνκα.

Ο Rajasooriyar (2003) μετρούσε τη συνολική σκληρότητα των γεωτρήσεων και των πηγαδιών στη λεκάνη Uda Walawe της νότιας Σρι Λάνκα σε ευρεία κλίμακα 7-3,579 mg/L ως CaCO_3 με μέσο όρο 395 mg/L ως CaCO_3 (σχήμα 3.2). Σε σύγκριση με το όριο της ποιότητας των υδάτων έως 600 mg/L σε CaCO_3 , το 12% των 102 δειγμάτων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου το 2001 υπέρβαιναν το όριο και θεωρούνται σκληρά (τιμές άνω των 100-150 mg/L ως CaCO_3 θεωρούνται τοπικά πολύ σκληρά ως παροχή νερού). Τα μαλακά νερά βρίσκονται σε περιοχές με πυκνό δίκτυο άρδευσης που τροφοδοτούνται από δεξαμενές επιφάνειας που τροφοδοτούνται με βροχή.

3.4 Φυσική σημασία του μαγνησίου

3.4.1 Φυσικές ιδιότητες του μαγνησίου στους ανθρώπους

Το μαγνήσιο εμπλέκεται σε αρκετές σημαντικές ενζυματικές αντιδράσεις. Όλες οι αντιδράσεις που περιλαμβάνουν ATP (τριφωσφορική αδενοσίνη), δηλαδή αντιδράσεις που απαιτούν ενέργεια, και εξαρτώνται από την παρουσία μαγνησίου (Reinhardt 1988). Σημαντικές διεργασίες που προκαλούνται στο σώμα από το μαγνήσιο είναι, για παράδειγμα, η σύνθεση πρωτεΐνης, νουκλεϊκού οξέος και λίπους, η αξιοποίηση της γλυκόζης, η νευρομυϊκή μετάδοση, η μυϊκή σύσπαση και η μεταφορά πάνω σε κυτταρικές μεμβράνες (Altura & Altura 1996)

Το μαγνήσιο είναι απαραίτητο για το καρδιαγγειακό σύστημα και δύο ιδιότητές του είναι ιδιαίτερα σημαντικές: η σταθεροποίηση του καρδιακού ηλεκτρικού συστήματος (πρόληψη της καρδιακής αρρυθμίας) και η ρύθμιση του αγγειακού τόνου (Reinhardt 1991). Υπάρχουν πολλοί μηχανισμοί πίσω από αυτές τις ιδιότητες.

Το μαγνήσιο χρειάζεται για να διατηρηθεί το κάλιο και το ασβέστιο πάνω στις κυτταρικές μεμβράνες (Altura et al., 1981). Είναι γνωστό ότι το μαγνήσιο είναι απαραίτητο για τη διατήρηση ενδοκυτταρικών επιπέδων καλίου. Αυτό επιτυγχάνεται με την παρεμπόδιση της προς τα έξω διόδου του καλίου διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης και με την ενεργοποίηση του ενζύμου Na/K-ATPase. Έχει μια παρόμοια λειτουργία στην Ca-ATPase. Το μαγνήσιο έχει επίσης άμεση επίδραση στους διαύλους καλίου και ασβεστίου στις κυτταρικές μεμβράνες (Reinhardt 1991).

Επιπλέον, όσον αφορά την επίδραση στον αγγειακό τόνο, το μαγνήσιο είναι ένας απαραίτητος ενεργοποιητής για τη σύνθεση της κυκλικής μονοφωσφορικής αδενοσίνης (c-AMP), η οποία είναι αγγειοδιασταλτική. Λειτουργεί επίσης ως φυσικός ανταγωνιστής του ασβεστίου για τις θέσεις δέσμευσης ασβεστίου στον αγγειακό λείο μειώνοντας έτσι τη συστολική επίδραση του ασβεστίου στα αιμοφόρα αγγεία (Reinhardt 1991). Επιπλέον, οι αγγειοσυσταλτικές δράσεις ορμονών όπως η αγγειοτενσίνη, η σεροτονίνη και η ακετυλοχολίνη ενισχύονται στην περίπτωση της έλλειψης μαγνησίου (Altura et al., 1981).

3.4.2 Πρόσληψη μαγνησίου

3.4.2.1 Ανεπάρκεια μαγνησίου

Η μερική ανεπάρκεια μαγνησίου επηρεάζει πιθανώς μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού του οποίου η διατροφική πρόσληψη δεν φθάνει το συνιστάμενο ποσό. Αν και η σοβαρή ανεπάρκεια μαγνησίου δεν είναι συνηθισμένη στον πληθυσμό, η υπομαγνησραιμία είναι συχνά παρούσα σε νοσηλευόμενους ασθενείς (Altura 1994). Μια έρευνα έδειξε ότι η υπομαγνησραιμία ήταν η πιο συνηθισμένη ανωμαλία ηλεκτρολυτών σε ασθενείς που εισέρχονταν στη μονάδα εντατικής θεραπείας και ήταν παρούσα στο 20% των ασθενών (Reinhardt, 1988).

3.4.2.2 Πρόσληψη μαγνησίου από τα τρόφιμα

Το μεγαλύτερο μέρος της ολικής πρόσληψης μαγνησίου προέρχεται από τρόφιμα. Το μαγνήσιο υπάρχει σε πολλά τρόφιμα και σε μεγάλες ποσότητες σε ξηρούς καρπούς, φασόλια, πράσινα φυλλώδη λαχανικά και δημητριακά ολικής αλέσεως. Κυρίως λόγω της αυξημένης βιομηχανικής επεξεργασίας, η οποία μειώνει τα επίπεδα μαγνησίου κατά 80-95% (Marier 1986b), έχει προταθεί ότι η πλειοψηφία των ατόμων σήμερα έχει χαμηλότερη πρόσληψη μαγνησίου από την συνιστώμενη διαιτητική ποσότητα (RDA) 6 mg kg την ημέρα (Marier 1986b, Seelig 1986, Durlach 1989). Ο πίνακας 3.3 δείχνει την περιεκτικότητα σε μαγνήσιο σε ορισμένα τρόφιμα και ποτά.

Πίνακας 3.3 περιεκτικότητα σε μαγνήσιο σε ορισμένων τροφίμων και ποτών τροποποιημένο (Selinus, 2005)

τρόφιμα και ποτά	Mg (mg 100 g ⁻¹)	τρόφιμα και ποτά	Mg (mg 100 g ⁻¹)
Τρόφιμα		Τρόφιμα	
Λευκό ψωμί	23	Μπανάνα	33
Πολύσπορο ψωμί	50	Ψάρι	25
Μούσλι	100	Γαρίδα	42
Δημητριακά	16	Κρέας	25
Τυρί	34	Αυγό	13
Λευκά, ψηρά φασόλια	184	Αμύγδαλο	280
Καφέ, ξηρά φασόλια	131	Φυστίκι	188
Καλαμπόκι	23	Μαύρη Σοκολάτα	130
Σπανάκι	79	Λευκή Σοκολάτα	60
Αβοκάντο	39		
Μπρόκολο	23	Ποτά	
Ντομάτα	10	Γάλα	12
Αγγούρι	10	Καφές	5
Μανιτάρια	13	Τσάι	3
Καστανό ρύζι	110	Μπίρα, χαμηλή περιεκτικότητα σε αλκοόλ	8
Λευκό ρύζι	34	Μπίρα, με υψηλή περιεκτικότητα σε αλκοόλ	11
Πατάτα	24	Κόκκινο κρασί	12
Μήλο	5	Λευκό κρασί	3
Πορτοκάλι	10	Αλκοολούχα ποτά	0

Περίπου το 40% του μαγνησίου που καταναλώνεται στα τρόφιμα απορροφάται κανονικά (Hardwick et al., 1990). Η απορροφούμενη αναλογία σχετίζεται αντιστρόφως με την ποσότητα που προσλαμβάνεται, και έχειδειχθεί ότι κυμαίνεται μεταξύ περίπου 10 και 70% (Fine et al., 1991). Ο ρυθμός απορρόφησης μαγνησίου εξαρτάται επίσης και από την πρόσληψη άλλων τροφίμων. Στοιχεία όπως το ασβέστιο, ο φώσφορος, τα φωσφορικά και τα φυτικά οξέα είναι γνωστό ότι μειώνουν την ταχύτητα απορρόφησης του μαγνησίου (Seelig 1986). Το μεγαλύτερο μέρος του μαγνησίου απορροφάται στο λεπτό έντερο, κυρίως με παθητική διάχυση μέσω της παρακυτταρικής οδού, αλλά και σε μικρότερη έκταση με τη μεταφορά του διαλυτή και την ενεργό μεταφορά (Hardwick et al., 1990).

3.4.3 Επίπεδα μαγνησίου στο νερό και στον οργανισμό

3.4.3.1 Λήψη μαγνησίου από το νερό – σημαντικότητα για την κατάσταση του μαγνησίου στον οργανισμό

Το μαγνήσιο στο νερό προέρχεται από διαβρωμένα πετρώματα με το οποίο έρχεται σε επαφή. Στα πυριγενή πετρώματα, το μαγνήσιο είναι τυπικά ένα συστατικό των σκουρόχρωμων σιδηρομαγνησιακών ορυκτών, τα οποία περιλαμβάνουν τον ολιβίνη, τον πυροξένο, τους αμφίβολους και σκούρες χρωματιστές μαρμαρυγίες. Σε μεταμορφωμένα πετρώματα εμφανίζονται επίσης και μαγνησιούχα ανόργανα ορυκτά όπως ο γλωρίτης, ο μοντμοριλλονίτης και ο σερπεντίνης. Οι ιζηματογενή πετρώματα μαγνησίου περιλαμβάνουν μαγνησίτη (MgCO_3) και δολομίτη ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Το μαγνήσιο είναι ουσιαστικά λιγότερο άφθονο από το ασβέστιο σε όλους τους τύπους των πετρωμάτων και έτσι στα περισσότερα φυσικά νερά η συγκέντρωση μαγνησίου είναι πολύ χαμηλότερη, συνήθως κατά 5-10 φορές, από τη συγκέντρωση ασβεστίου. Οι συγκεντρώσεις μαγνησίου στα γλυκά νερά ελέγχονται από αντιδράσεις καθίζησης που περιλαμβάνουν πυριτικά και ανθρακικά άλατα που περιέχουν συγκεντρώσεις μαγνησίου τυπικά μικρότερες από 50 mg/L αν και καταγράφονται τιμές άνω των 100 mg /L.

Η πρόσληψη μαγνησίου μέσω του νερού εξαρτάται από την περιεκτικότητα στο πόσιμο νερό. Ένα σημαντικό ζήτημα σχετικά με τη σχέση μεταξύ μαγνησίου νερού και AMI είναι το κατά πόσο το μαγνήσιο στο πόσιμο νερό μπορεί να είναι κρίσιμο για την ποσότητα μαγνησίου του σώματος, καθώς το κύριο μέρος της πρόσληψης

μαγνησίου προέρχεται από τα τρόφιμα (Neutra 1999). Έχει προταθεί ότι η ποσοτική συμβολή του μαγνησίου από το νερό μπορεί να είναι κρίσιμη για την ποσότητα μαγνησίου στο σώμα για όσους για όσους θα πρέπει να πίνουν νερό με χαμηλά επίπεδα μαγνησίου (Durlach et al., 1989). Επιπλέον, το μαγείρεμα των τροφίμων με φτωχό σε μαγνήσιο νερό ξεπλένει το μαγνήσιο, ενώ το μαγείρεμα σε πλούσιο σε μαγνήσιο νερό μειώνει αυτή την απώλεια (Haring and van Delft 1981).

Επιπλέον, έχει προταθεί ότι το μαγνήσιο στο νερό, που εμφανίζεται ως ένυδρα ιόντα, έχει υψηλότερη βιοδιαθεσιμότητα από το μαγνήσιο σε τρόφιμα, το οποίο δεσμεύεται σε διαφορετικές ενώσεις που απορροφώνται λιγότερο (Durlach et al., 1989, Theophanides et al., 1990).

Τα φυτά που καλλιεργούνται σε περιοχές με νερό πλούσιο σε μαγνήσιο μπορεί να έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε μαγνήσιο, ειδικά εάν το έδαφος είναι πλούσιο σε μαγνήσιο και η γη αρδεύεται με νερό πλούσιο σε μαγνήσιο. Οι άνθρωποι που ζουν σε τέτοιες περιοχές που τρώνε τοπικά λαχανικά και φρούτα μπορούν επίσης να ωφεληθούν από την πρόσληψη μαγνησίου, ειδικά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει σχέσεις μεταξύ μαγνησίου που υπάρχει στο νερό και της περιεκτικότητας του μαγνησίου στο σώμα.

Οι Anderson και Zdrojewski (1975) βρήκαν σχέσεις μεταξύ περιεκτικότητας μαγνησίου στο νερό και περιεκτικότητας μαγνησίου στον καρδιακό μυ. Το μαγνήσιο του μυοκαρδίου ήταν περίπου 7% χαμηλότερο στους κατοίκους πόλεων με μαλακό νερό. Δεν υπήρξε, ωστόσο, διαφορά στην περιεκτικότητα σε μαγνήσιο στο διάφραγμα ή στον κύριο μυ. Άλλες μελέτες έχουν δείξει σχέσεις μεταξύ των επιπέδων μαγνησίου στο νερό και της περιεκτικότητας σε μαγνήσιο στους σκελετικούς μύες και στις στεφανιαίες αρτηρίες (Landin et al., 1989).

Σε μία μελέτη δέκα ατόμων που συνήθως χρησιμοποιούσαν νερό με επίπεδο μαγνησίου 1,6 mg/L, έλαβαν αντ' αυτού πόσιμο νερό με 20 mg/L μαγνησίου. Μετά από 6 εβδομάδες πρόσληψης νερού εμπλουτισμένο με μαγνήσιο, η έκκριση μαγνησίου αυξήθηκε, γεγονός που έδειξε βελτιωμένη την ποσότητα μαγνησίου στον οργανισμό (Rubenowitz et al., 1998). Μια άλλη μελέτη έδειξε ότι το επίπεδο ιόντων του μαγνησίου που προέκυψε αυξήθηκε μετά από μόλις 6 ημέρες πρόσληψης νερού εμπλουτισμένο με μαγνήσιο, η έκκριση μαγνησίου αυξήθηκε, αλλά όχι το συνολικό

μαγνήσιο του σώματος. Ωστόσο, παρουσιάστηκε συσχέτιση μεταξύ ιονισμένου ορού και ιονισμένου ενδοκυτταρικού μαγνησίου (Altura and Altura 1996).

Από τα διαθέσιμα δεδομένα είναι προφανές ότι η ποσοτική συνεισφορά από το νερό μπορεί να είναι κρίσιμη. Τα επίπεδα μαγνησίου στο πόσιμο νερό στις σουηδικές μελέτες περιπτωσιολογικού ελέγχου κυμαίνονταν από 0 έως 44 mg/ L . Με συνολική ημερήσια πρόσληψη πόσιμου νερού των 2 λίτρων, η αναλογική συνεισφορά μαγνησίου από το νερό κυμαίνεται επομένως από 0 έως 88 mg την ημέρα . Αυτή είναι μια ποσοστιαία συνεισφορά μεταξύ 0 και 25% του RDA των 350 mg την ημέρα . Για όσους έχουν ημερήσια πρόσληψη χαμηλότερη από το RDA και χρησιμοποιούν πλούσιο σε μαγνήσιο νερό, η συμβολή θα είναι ακόμα πιο σημαντική.

Σε μία άλλη μελέτη, η υπολογισμένη πρόσληψη μαγνησίου από τα τρόφιμα κυμάνθηκε από 157 έως 658 mg την ημέρα , μέση τιμή 356 mg την ημέρα . Αυτό σημαίνει ότι ένας μεγάλος αριθμός ατόμων είχε μικρότερη πρόσληψη από το RDA. Ένα άτομο με κατανάλωση 157 mg μαγνησίου ημερησίως χρησιμοποίησε πόσιμο νερό με 3,5 mg /L , πράγμα που σημαίνει προσθήκη 4,5% στην πρόσληψη μαγνησίου από τα τρόφιμα. Εάν αντίθετα είχε χρησιμοποιήσει νερό με 40 mg /L η προσθήκη θα ήταν 50% και η συνολική ημερήσια πρόσληψη 240 mg την ημέρα .

3.5 Ασβέστιο στο πόσιμο νερό και στην καρδιαγγειακή νόσο

Η πλειοψηφία των προηγούμενων μελετών έδειξε μια αντίστροφη σχέση μεταξύ ασβεστίου στο πόσιμο νερό και CVD, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Οι φυσιολογικοί μηχανισμοί που θα μπορούσαν να εξηγήσουν τη σχέση δεν είναι σαφείς. Υπάρχουν όμως ενδείξεις ότι η έλλειψη ασβεστίου μπορεί να προκαλέσει υπέρταση, η οποία είναι γνωστός παράγοντας κινδύνου τόσο για το εγκεφαλικό επεισόδιο όσο και για την AMI (Lau and Eby 1985, Moore 1989, Waeber and Brunner 1994)

3.5.1 Ανεπάρκεια ασβεστίου

Η ανεπάρκεια ασβεστίου είναι κοινή μεταξύ των ηλικιωμένων, ιδιαίτερα των γυναικών. Η απορρόφηση και η νεφρική διατήρηση του ασβεστίου μειώνεται με την ηλικία. Η απορρόφηση ασβεστίου από τα τρόφιμα κυμαίνεται μεταξύ 15 και 75% (Schaafsma 1992), αλλά στις γυναίκες με εμμηνόπαυση η απορρόφηση είναι μόνο

περίπου 20-30% (Heany and Recker 1985). Επιπλέον, η απορρόφηση ασβεστίου μειώνεται συχνά στους ηλικιωμένους. Το RDA για το ασβέστιο στη Σουηδία είναι 800 mg /day για ενήλικες γυναίκες και 600 mg/day για τους άνδρες. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το RDA είναι 1.000-1.500 mg/day για τους ενήλικες.

Μια μελέτη που περιελάμβανε 61.000 γυναίκες στη Σουηδία ηλικίας 40-76 έδειξε ότι η πρόσληψη ασβεστίου μειώθηκε με την ηλικία και ότι η πλειοψηφία των μετεμμηνοπαυσιακών γυναικών είχε πρόσληψη ασβεστίου (Michaelsson 1996). Πολλές μελέτες που διεξήχθησαν στις Ηνωμένες Πολιτείες έδειξαν επίσης ότι η πρόσληψη είναι μικρότερη από τη συνιστώμενη, ιδιαίτερα μεταξύ των γυναικών (Fleming και Heimbach 1994). Για τα άτομα με έλλειψη, το πρόσθετο ασβέστιο από το νερό μπορεί να είναι κρίσιμο. Μαζί με τη συμβολή του πόσιμου νερού, η μαγείρεμα των τροφίμων σε πλούσιο σε ασβέστιο νερό έχει αποδειχθεί όχι μόνο για την πρόληψη της έκπλυσης αλλά και για την αύξηση των επιπέδων ασβεστίου στα τρόφιμα (Haring and van Delft 1981).

3.5.1 Ασβέστιο και αρτηριακή πίεση

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει μια αντίστροφη σχέση μεταξύ της πρόσληψης ασβεστίου και της αρτηριακής πίεσης. Η μετα-ανάλυση που περιλαμβάνει σχεδόν 40.000 άτομα έχει δείξει ότι η υψηλή πρόσληψη ασβεστίου μειώνει τόσο τη συστολική όσο και την αρτηριακή πίεση (Cappuccio et al., 1995). Οι χαμηλές συγκεντρώσεις ιονισμένου ασβεστίου στον ορό έχουν μετρηθεί σε ασθενείς με υπέρταση (McCarron 1982). Υπάρχουν αρκετοί μηχανισμοί που θα μπορούσαν να εξηγήσουν πώς το ασβέστιο μειώνει την αρτηριακή πίεση.

Ένας μηχανισμός μπορεί να είναι ότι η υπασβεστιαμία αναστέλλει τη δραστηριότητα Ca-ATPase, η οποία οδηγεί σε αύξηση του ελεύθερου ενδοκυτταρικού ασβεστίου και συστολή των αγγειακών λείων μυών (McCarron 1985). Η πρόσληψη ασβεστίου έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματική, ιδιαίτερα μεταξύ των υπερτασικών που είναι που δεν επιτστο αλάτι με μια ελαφριά βασική πρόσληψη ασβεστίου (Sowers et al., 1991). Αυτά τα άτομα συχνά έχουν αυξημένα επίπεδα ρυθμιστικών ορμονών του ασβεστίου, παραθορμόνη και δραστική βιταμίνη D (1,25- (OH) 2-D), η οποία μπορεί να προκαλέσει αυξημένη περιφερειακή πίεση. Το διατροφικό ασβέστιο καταστέλλει αυτές τις ορμόνες που προκαλούν μείωση της αρτηριακής πίεσης. Οι ρυθμιστικές

ορμόνες ασβεστίου που μπορούν επίσης να επηρεάσουν τη ρύθμιση της αρτηριακής πίεσης μέσω του κεντρικού νευρικού συστήματος. Το ασβέστιο προκαλεί επίσης νατρίωση, η οποία έχει αποδειχθεί ότι μειώνει την αρτηριακή πίεση σε μετεμμηνοπαυσιακές υπερτασικές γυναίκες (Johnson et al., 1985). Οι μελέτες περιπτώσεων ελέγχου που αναφέρθηκαν παραπάνω δεν έδειξαν σαφή σχέση μεταξύ ασβεστίου και AMI.

3.6 Σκληρότητα νερού και άλλες επιδράσεις στην υγεία

Τα αποτελέσματα πολλών μελετών έχουν δείξει ότι μια ποικιλία άλλων ασθενειών συσχετίζονται επίσης με τη σκληρότητα του νερού, που περιλαμβάνουν διάφορους τύπους καρκίνου. Έχουν αναφερθεί περιπτώσεις συσχέτισης μεταξύ καρκίνου και σκληρότητας ύδατος από μελέτες στη Φινλανδία και την Ταϊβάν. Στη βόρεια Φινλανδία, οι συσχετίσεις ηλικιακά προσαρμοσμένων επιπτώσεων διαφόρων μορφών καρκίνου με τη γεωχημική σύνθεση των υπόγειων υδάτων πραγματοποιήθηκαν με τη σύγκριση γεωχημικών χαρτών που δείχνουν τη σκληρότητα, το ουράνιο, το σίδηρο και το νιτρικό άλας του νερού. Μια στατιστικά σημαντική θετική συσχέτιση εντοπίστηκε μεταξύ της σκληρότητας του νερού και αρκετών μορφών καρκίνου, ειδικά για όλες τις μορφές καρκίνου που συνδυάζονται στον θηλυκό πληθυσμό ($r = 0,66$). Ο Piispanen (1991) πρότεινε ότι η κατανάλωση σκληρού νερού μπορεί να οδηγήσει σε κάποια μορφή καρκίνου, αν και γίνεται δεκτό ότι η θετική συσχέτιση μεταξύ των γεωχημικών και των ιατρικών μεταβλητών δεν αποδεικνύεται αναγκαστικά μια σχέση αιτίου-αποτελέσματος μεταξύ αυτών των μεταβλητών.

Ωστόσο, σε μια μελέτη ελέγχου περιπτώσεων, οι Yang et al. (2002) συνέκρινε μια ομάδα κατοίκων της Ταϊβάν που είχαν πεθάνει από καρκίνο του οισοφάγου με μια ομάδα ελέγχου που απαρτίζεται από ανθρώπους που είχαν πεθάνει από άλλα αίτια εκτός του καρκίνου, τα οποία αντιστοιχούσαν στο φύλο, το έτος γέννησης και το έτος θανάτου. Παραλήφθηκαν δεδομένα για τα επίπεδα ασβεστίου και μαγνησίου στο πόσιμο νερό. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο κίνδυνος θανάτου από καρκίνο του οισοφάγου μειώθηκε σημαντικά με υψηλότερα επίπεδα μαγνησίου. Σε σύγκριση με εκείνες με επίπεδα μαγνησίου κάτω από 7,0 mg /L, οι αναλογίες ήταν 0,75 (0,62-0,91) για την ομάδα με επίπεδα μαγνησίου στο νερό μεταξύ 7,3 και 14,0 mg /L και 0,71 (0,57-0,88) για την ομάδα με επίπεδα μαγνησίου από 14,3 mg /L ή περισσότερο.

Αυτό σημαίνει περίπου 25-30% χαμηλότερο κίνδυνο με υψηλότερα επίπεδα μαγνησίου. Δεν παρατηρήθηκε επίδραση των επιπέδων ασβεστίου στο νερό.

Σε μια μελέτη στην της σκληρότητας του ύδατος, των περιφερειακών γεωλογικών χαρακτηριστικών και της επίπτωσης των πετρωμάτων που περιέχουν στρουβίτη (φωσφορικό ορυκτό), οι Kohri et al. (1993) βρήκε μια θετική συσχέτιση μεταξύ της αναλογίας μαγνησίου-ασβεστίου του νερού της βρύσης και της επίπτωσης των πετρωμάτων που περιέχουν στρουβίτη. Η συχνότητα εμφάνισης των πετρωμάτων από ρητίνη ήταν υψηλή τόσο σε περιοχές βασάλτη και ιζηματογενή πετρώματα όσο και σε περιοχές με γρανίτη και ασβεστόλιθο.

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO 2009) δημοσίευσε πρόσφατα μια περιεκτική έρευνα σχετικά με τα υγειονομικά χαρακτηριστικά του ασβεστίου και του μαγνησίου στο πόσιμο νερό. Η έκθεση περιέχει μια σύνοψη των αποτελεσμάτων της μελέτης που δείχνει μείωση του κινδύνου θνησιμότητας από καρδιαγγειακά νοσήματα με αυξανόμενα επίπεδα μαγνησίου στο πόσιμο νερό. Συζητά επίσης μια προστατευτική σχέση μεταξύ πρόσληψης μαγνησίου και υπέρτασης, καρδιακών αρρυθμιών, προεκλαμψίας (υπέρταση μετά από 20 εβδομάδες κύησης), αθηροσκλήρωσης και σακχαρώδους διαβήτη. Όσον αφορά το ασβέστιο, η έρευνα αναφέρει μια πιθανή θετική επίδραση στην οστεοπόρωση, με την αύξηση της οστικής μάζας με υψηλότερη πρόσληψη ασβεστίου. Η συχνότητα εμφάνισης πετρών στα νεφρά έχουν υποδειχθεί ότι είναι χαμηλότερες με την πρόσληψη ασβεστίου από το νερό και τα τρόφιμα, αλλά υψηλότερες με τα συμπληρώματα ασβεστίου. Επιπλέον, συζητάτε θετική επίδραση στην αντίσταση στην ινσουλίνη, την υπέρταση και το εγκεφαλικά επεισόδια.

3.7 Συμπεράσματα και συνέπειες

Η σημασία προηγούμενων μελετών σχετικά με τη σκληρότητα του νερού και των διαφόρων επιπτώσεων στην υγεία είναι ασαφής και προτείνεται οι αναφερόμενες ενώσεις να αντανakλούν πρότυπα ασθενειών που μπορούν να εξηγηθούν από κοινωνικούς, κλιματολογικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες και όχι από τη σκληρότητα του νερού. Ωστόσο, αρκετές μελέτες τα τελευταία χρόνια έχουν δείξει σημαντική προστατευτική επίδραση μαγνησίου στην κατανάλωση από θνησιμότητα από καρδιαγγειακά νοσήματα, για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε μια συστηματική ανασκόπηση που περιλαμβάνει αρκετές από τις προαναφερθείσες μελέτες

επιδημιολογικής κοόρτης και μελέτης περιπτώσεων. Πραγματοποίησαν μια ανάλυση προηγούμενα μελετών και βρήκαν στοιχεία που υποστηρίζουν μια αντίστροφη συσχέτιση μεταξύ της θνησιμότητας των καρδιαγγειακών νοσημάτων και των επιπέδων μαγνησίου πόσιμου ύδατος. Υπήρχαν περιορισμένα στοιχεία για τη στήριξη της συσχέτισης μεταξύ της καρδιαγγειακής θνησιμότητας και των επιπέδων ασβεστίου. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αυτά τα αποτελέσματα έχουν επίσης συνοψιστεί σε μια έκθεση του ΠΟΥ (WHO 2009).

3.8 Θερμομεταλλικά νερά

Ως θερμομεταλλικά νερά ορίζονται τα νερά των οποίων η συγκέντρωση των συνολικών διαλυμένων στερεών είναι μεγαλύτερη από 1000mg/l και η θερμοκρασία 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. Οι ιαματικές πηγές είναι συνήθως θερμομεταλλικές πηγές, αλλά μπορεί να είναι και ψυχρές. Θεωρείται ότι έχουν ιαματικές ιδιότητες, όταν το νερό τους χρησιμοποιείται για λουτροθεραπεία ή για ποσιμοθεραπεία. 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. Οι θερμομεταλλικές πηγές κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη θερμοκρασία τους σε ψυχρές ή ακρατοπηγές ($T < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$), σε υπόθερμες ($20\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 34\text{ }^{\circ}\text{C}$), μεσόθερμες ($34\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 38\text{ }^{\circ}\text{C}$) και υπέρθερμες ($T > 38\text{ }^{\circ}\text{C}$). Ανάλογα με την ειδική τους αγωγιμότητα ή τη συνολική τους αλατότητα ή την περιεκτικότητα σε μέταλλα διακρίνονται σε νερά με υπερβολική, μέτρια και χαμηλή αλατότητα νερά σιδηρούχα, αρσενικούχα κ.τ.λ. Έτσι για την διάκριση τους χρησιμοποιούνται συνήθως διαγράμματα και κυρίως η ταξινόμηση Piper σύμφωνα με τα οποία τα θερμομεταλλικά νερά μπορεί να είναι ασβεστούχα όξινα ανθρακικά (Ca-HCO_3) ή νατριούχα χλωριούχα (Na-Cl) ή άλλων κατηγοριών. Τέλος οι θερμομεταλλικές πηγές χαρακτηρίζονται από αυξημένες συγκεντρώσεις τόσο διαλυμένων αερίων τα πιο συνήθη είναι τα CO_2 , CH_4 , H_2S κάποια από τα οποία συχνά δίνουν έναν ιαματικό χαρακτήρα στις πηγές, όσο και επιπλέον ιχνοστοιχεία. Η μεταλλικότητά των νερών διαμορφώνεται κατά την πορεία τους στο υπέδαφος. Η θερμοκρασία τους 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.

3.9 Μεταλλικό νερό

3.9.1 Είδη μεταλλικού νερού

Αναμφίβολα, το νερό είναι ένα από τα πιο σημαντικά υγρά στη Γη. Όπως δήλωσε ο von Goethe (Faust II, 1833): "Όλα προέρχονται από το νερό! Και όλα παραμένουν ζωντανά από το νερό!". Το νερό έχει εξαιρετικές ιδιότητες γεύσης και παρέχει ουσιώδη στοιχεία όπως μαγνήσιο, σίδηρο και ασβέστιο, τα οποία έχουν που αποδεδειγμένα θεραπευτικές ιδιότητες. Εξαιτίας αυτού, η εμφιάλωση και κατανάλωση η διαφόρων τύπων εμφιαλωμένου νερού έχουν αυξηθεί στις περισσότερες χώρες.

Οι εταιρίες εμφιάλωσης νερού θα πρέπει 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. Η πιο συνηθισμένη φράση που χρησιμοποιείται είναι "μεταλλικό νερό". Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις, αυτή η φράση χρησιμοποιείται συνειδητά για την ονομασία οποιοδήποτε εμφιαλωμένου νερού: αρτεσιανό, ανθρακούχο, μεταλλικό και επιτραπέζιο.

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

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

Σύμφωνα με το Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων ως «φυσικό μεταλλικό νερό» χαρακτηρίζεται το βακτηριολογικώς υγιές, που προέρχεται από μία υδάτινη φλέβα ή ένα υπόγειο στρώμα και προέρχεται από μια πηγή αξιοποιούμενη από μια ή

περισσότερες διεξόδους φυσικές ή κατόπιν διατρήσεως. (οδηγία 80/777 / ΕΟΚ και 96/79 / ΕΟΚ).

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

Σε ορισμένες χώρες (π.χ. στις Ηνωμένες Πολιτείες), ο ορισμός του τι είναι ένα «μεταλλικό νερό» βασίζεται στην ελάχιστη συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων. Από την άλλη το FDA ορίζει ως μεταλλικό νερό αυτό που περιέχει τουλάχιστον 250 ppm ολικών διαλελυμένων στερεών (TDS), που προέρχονται από πηγή που είναι προστατευμένη από γεωλογικής και φυσικής πλευράς (21CFR165.110, 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.

Συχνό 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 υδροφορέα ή κατάθεση 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 υδροφορέα 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. Τα διαλυμένα χημικά συστατικά των μεταλλικών νερών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.6.

Πίνακας 3.4 : Ενδείξεις μεταλλικού νερού και τα κριτήρια τους (ΟΔΗΓΙΑ 2009/54/EK)

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 1 500 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 3.5 : 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. (2003/40/EK ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ της 16ης Μαΐου 2003)

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 1 ^η Ιανουαρίου 2006	

Πίνακας 3.6 Μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε ανόργανα στοιχεία σε μεταλλικό νερό που έχει θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) και έχει επιλεγεί για το πόσιμο νερό στις ευρωπαϊκές χώρες από την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US EPA) και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO)

Παράμετρος	ΕΥ	Ιταλία	Αυστρία	Γαλλία	Γερμανία	Αγγλία	ΗΠΑ	ΠΟΥ
pH	-	-	-	-	-	-	≥6.5- ≤8.5	-
Αλουμίνιο mg/L	-	-	-	-	-	-	-	200
Αντιμόνιο mg/L	5	5	-	-	-	--	6	20
Αρσενικό mg/L	10	10	-	-	-	-	-	10
Βάριο mg/L	1000	-	1000	1000	1000	1000	2000	700
Βηρύλλιο mg/L	-	-	-	-	-	-	4	-
Βόριο mg/L	-	5000	-	-	-	-	-	2400
Κάδμιο mg/L	3	3	3	3	3	3	5	3
Χρώμιο mg/L	50	50	-	-	-	-	100	50
Χαλκός mg/L	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1300	2000
Φθόριο mg/L	5	5	5	5	5	5	4	1.5
Σίδηρος mg/L	-	-	-	-	-	-	200	-
Μόλυβδος mg/L	10	10	10	10	10	10	15	10
Μαγνήσιο mg/L	500	500	500	500	500	500	-	-
Υδράργυρος mg/L	1	1	-	--	-	-	2	6
Νικέλιο mg/L	20	20	20	20	50	20	-	70
Νιτρικά mg/L	50	50	25	50	50	50	10	50
Νιτρώδη mg/L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1	3
Σελήνιο mg/L	10	10	10	10	10	10	50	40
Θάλλιο mg/L	-	-	-	-	-	-	0.5-2	-
Ουράνιο mg/L	-	-	-	-	-	-	30	30

Το φυσικό μεταλλικό νερό, όπως παρουσιάζεται στην πηγή, δεν μπορεί να υποστεί άλλη επεξεργασία εκτός από τις παρακάτω (Οδηγία 2009/54 / ΕΚ)

1. Διαχωρισμό των ασταθών στοιχείων του, όπως του σιδήρου και των ενώσεων του, που γίνονται με διήθηση ενδεχομένως πριν από την οξυγόνωση, στο βαθμό που δεν μεταβάλλουν τη σύνθεση του νερού όσον αφορά τα κύρια συστατικά που του προσδίδουν τις ιδιότητές του

2. Διαχωρισμό των ενώσεων σιδήρου, μαγγανίου και θείου και του αρσενικού από ορισμένα φυσικά μεταλλικά νερά όπου γίνεται με αέρα εμπλουτισμένο με όζον, στο βαθμό που η επεξεργασία δεν μεταβάλλει τη σύνθεση του νερού όσον αφορά τα κύρια συστατικά που του προσδίδουν τις ιδιότητές του
3. Διαχωρισμό των ανεπιθύμητων συστατικών που καθορίζονται στο σημείο 1 και 2 στο βαθμό που η επεξεργασία αυτή δεν μεταβάλλει τη σύνθεση του νερού όσον αφορά τα κύρια συστατικά που του προσδίδουν τις ιδιότητές του
4. η ολική ή μερική εξάλειψη του ελεύθερου διοξειδίου του άνθρακα αποκλειστικά φυσικές μεθόδους

Το μεταλλικό νερό μπορεί να διατεθεί στην αγορά ή και να αξιοποιηθεί για θεραπευτικό σκοπό μόνο μετά την αναγνώριση από το κατάλληλο φορέα (π.χ. Υπουργείο Υγείας, Ιταλία). Οι κύριες διαδικασίες έγκρισης ισχύουν στην πλειονότητα των χωρών.

- αξιολόγηση των υδρογεωλογικών, χημικών, φυσικών, μικροβιολογικών, χημικο-φαρμακολογικών χαρακτηριστικών και αναγνώριση από τους αρμόδιους επίσημους οργανισμούς
- πράξεις που επιτρέπονται από το διάταγμα αναγνώρισης
- έγκριση ισχυρισμών υγείας
- περιφερειακή άδεια για τη χρήση του νερού στην παρασκευή αναψυκτικών
- περιφερειακή άδεια εμπορίας

Λόγω του αυξημένου ενδιαφέροντος και της κατανάλωσης σε εθνικό επίπεδο, η μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα μεταλλικών στοιχείων στο νερό δημιουργήθηκε από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα και την Κοινότητα επιλεγμένων Ευρωπαϊκών Χωρών και σε πόσιμο νερό από την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US EPA) και την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (WHO) (Πίνακας 3.6).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Δείγματα και χημικές αναλύσεις

4.1 Εισαγωγή κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά των δεδομένων που μετρήθηκαν στο πεδίο όπως οι φυσικοχημικές παράμετροι (θερμοκρασία, pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, ολικώς διαλυμένα στερεά TDS) καθώς και οι χημικές αναλύσεις των νερών σε κύρια ιόντα και σε ιχνοστοιχεία. Η θερμοκρασία (T), η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C), και το pH των δειγμάτων του νερού και τα ολικώς διαλυμένα στερεά (TDS) μετρήθηκαν επί τόπου, με φορητά όργανα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) συνδέεται άμεσα με τον αριθμό των διαλυμένων στερεών (TDS). Τα δείγματα φιλτραρίστηκαν με φίλτρα πορώδους 0.45μm, αποθηκεύτηκαν σε μπουκάλια υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλενίου (HDPE) και συντηρήθηκαν με οξύνιση (HNO₃ 2%). Τα κλάσματα αναλύσεων των κύριων ιόντων και των ιχνοστοιχείων διατηρήθηκαν με οξύνιση HNO₃ (2% τελική συγκέντρωση).

Η ανάλυση των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων διεξήχθη με φασματοσκοπία επαγωγικώς συζευγμένης μάζας λάσματος (ICPMS 7500cx με AutosamplerSeries 3000, AgilentTechnologies (SantaClara, USA)), ενώ των ανιόντων με φασματοφωτομετρία (Hach DR2800).

Τα δείγματα τα οποία συλλέχθηκαν υδροφόρους που φιλοξενούνται εντός πετρωμάτων του Νεογενούς της Δυτικής Κρήτης. Αναλυτικότερα, οι πηγές που μελετήθηκαν είναι Καπεδιανά, Καρές Άγιοι Απόστολοι, Καρές Γερό Δρυς, Καρές Πλατεία, Καβούσι-Βουτουφού, Κυραλή, Sunrise, Βουριέρο, Βουτουφού-Σαρακίνα. Τα περισσότερα δείγματα που συλλέχθηκαν είναι από πηγές που βρίσκονται στο νομό Χανίων, υπάρχουν όμως και δείγματα από τους νομούς Ρεθύμνου και Ηρακλείου.

Οι επιτόπιες μετρήσεις καθώς και τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων παρουσιάζονται στους πίνακες 4.1-4.4. Για εποπτικούς λόγους κατασκευάστηκε ραβδόγραμμα με τις περιεκτικότητες όλων των δειγμάτων σε κύρια στοιχεία (σχήμα 4.1), διάγραμμα Piper για το χαρακτηρισμό των δειγμάτων (σχήμα 4.2) και διάγραμμα Schoeller (σχήμα 4.3).

4.1 Πίνακας Ιδιότητες του νερού όλων των πηγών όπως T (°C), pH, TDS, Αγωγιμότητα.

Πηγές	Ημερομηνία	T	pH	Αγωγιμότητα	TDS	Σκληρότητα
		°C		μS/cm	mg/L	mg/L
Καπεδιανά 1	19/9/2017	18.2	5.5	280	130	4.5
Καπεδιανά 2	9/7/2018	18.1	5.8	339	155	9.96
Καρές Άγιοι Απόαστολοι	12/3/2017	19.4	7.1	1070	530	35
Καρές Γερό Δρυς	12/3/2017	16.2	7.4	920	450	32
Καρές Πλατεία 1	12/3/2017	18.5	7	830	380	30
Καρές Πλατεία 2	13/10/2018	20.1	7	820	400	22.14
Καρές Πλατεία 3	25/3/2019	18.7	7	930	450	13.2
Κυραλή 1	18/9/2016	24.7	7.3	570	280	21.4
Κυραλή 2	3/5/2017	20.6	7.5	838	Δ.Μ	23.1
Κυραλή 3	26/8/2017	24.4	7.1	710	340	21.4
Κυραλή 4	30/1/2018	20.6	7.4	540	250	16.8
Κυραλή 5	9/9/2018	27	8.3	681	332	21.1
Sunrise 1	30/01/2018	22.1	6.9	630	310	18.4
Sunrise 2	9/9/2018	27.9		653	318	19.1
Βουριέρο 1	12/2/2017	18.1	6.9	1280	620	37
Βουριέρο 2	13/10/2019	18.1	6.9	1040	510	34.19
Βουριέρο 3	25/3/2019	17.4	7.1	1080	520	12.5
Βουτουφού Σαρακίνα		16.6	7.8	1390	690	10.7
Καβούσι Βουτουφού		18.4	7.1	1413	Δ.Μ	16.4

*Δ.Μ = Δεν Μετρήθηκε

Πίνακας 4.2 Συγκεντρώσεις Κύριων Ιόντων Ca, Mg, Na, K, Cl, F, HCO₃, SO₄, SiO₂.

Πηγές	Ca	Mg	Na	K	Cl	HCO ₃	SO ₄	SiO ₂	F
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Καπεδιανά 1	5.89	12.44	31.49	0.81	44.50	55.6	36.86	6.23	0.08
Καπεδιανά 2	5.78	6.89	20.86	0.83	39.52	122	30.65	6.29	0.16
Καρές Άγιοι Απόαστολοι	51.14	27.64	24.61	0.75	91.00	431	271	20.00	0.59
Καρές Γερό Δρυς	53.36	17.14	22.14	1.27	79.00	388.4	218	13.90	0.37
Καρές Πλατεία 1	48.21	23.50	31.09	1.53	78.00	372.8	182	15.75	0.37
Καρές Πλατεία 2	56.28	10.09	22.16	1.17	67.40	271.2	136.6	18.18	0.41
Καρές Πλατεία 3	156.90	16.86	34.26	3.27	75.00	162	185	11.43	0.43
Κυραλή 1	43.11	21.18	19.41	1.02	51.10	261.6	26.3	6.72	0.24
Κυραλή 2	42.02	26.92	19.36	0.65	43.20	283.4	29.14	5.71	0.17
Κυραλή 3	56.15	35.12	27.20	1.13	46.60	261.8	35.8	8.13	0.11
Κυραλή 4	42.61	21.18	16.73	0.59	43.10	205.9	19.2	6.59	0.06
Κυραλή 5	36.68	20.95	22.93	1.01	48.80	258.7	36.9	14.65	0.15
Sunrise 1	42.16	19.19	17.13	0.96	47.20	225.3	32.6	6.70	0.21
Sunrise 2	32.13	15.88	19.54	1.41	46.70	234	31.4	12.13	0.16
Βουριέρο 1	54.16	20.89	21.31	2.45	78.00	450.4	239	18.02	0.41
Βουριέρο 2	79.86	12.21	19.25	0.99	63.60	418.8	241.4	25.69	0.503
Βουριέρο 3	203.80	18.34	27.22	1.18	86.00	153	250	14.95	0.51
Βουτουφού Σαρακίνα	197.14	49.48	171.45	0.90	215.00	131	329	18.15	0.49
Καβούσι Βουτουφού	105.50	36.18	65.21	1.97	162.30	201	308.5	18.83	0.43

Πίνακας 4.3 Συγκεντρώσεις Ιχνοστοιχείων

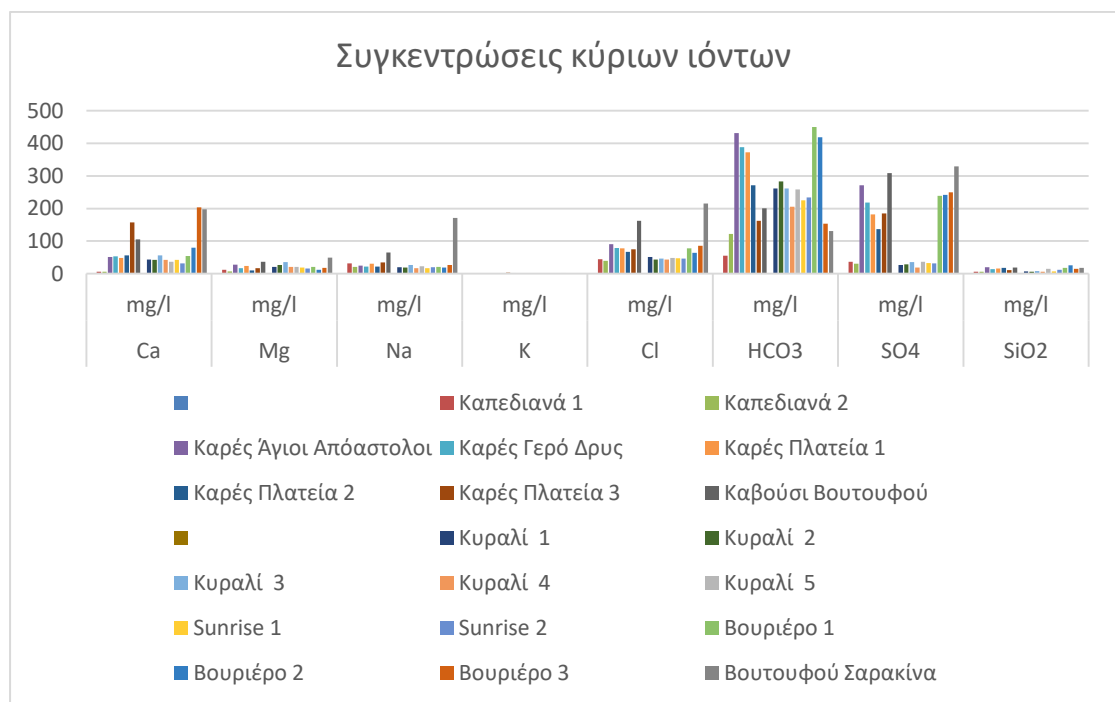
Πηγές	NO2	NO3	Al	B	Ba	Cr	Cu	Fe	Li
	mg/L	mg/L	μg/L	mg/L	mg/L	μg/L	μg/L	mg/L	mg/L
Καπεδιανά 1	DL	0.1	DL	0.001	DL	DL	DL	7.975	0.000
Καπεδιανά 2	0.004	0.173	7.20	0.011	0.01	0.22	1.78	3.106	0.004
Καρές Άγιοι Απόαστολοι	0.002	7.74	DL	0.113	0.04	DL	DL	0.061	0.003
Καρές Γερό Δρυς	0.004	11.4	DL	0.107	0.07	DL	2.13	0.063	0.002
Καρές Πλατεία 1	0.013	5.95	DL	0.147	0.04	DL	DL	0.054	0.003
Καρές Πλατεία 2	0.003	5.08	2.06	0.029	0.03	DL	3.31	0.001	0.005
Καρές Πλατεία 3	0.010	3.64	DL	0.042	0.05	DL	1.06	DL	0.006
Κυραλή 1	0.002	8.34	DL	0.025	0.02	0.49	1.67	0.015	0.000
Κυραλή 2	DL	7.06	DL	0.013	0.02	DL	DL	0.108	0.002
Κυραλή 3	DL	5.37	16.80	0.015	0.03	DL	DL	0.111	DL
Κυραλή 4	0.002	5.31	50.00	0.033	0.02	1.94	1.76	0.107	0.001
Κυραλή 5	0.004	7.33	15.90	0.037	0.03	DL	2.18	0.077	0.002
Sunrise 1	0.002	8.4	DL	0.031	0.03	DL	DL	0.021	0.001
Sunrise 2	0.004	8.52	17.88	0.026	0.03	DL	1.53	0.080	0.002
Βουριέρο 1	0.002	5.09	DL	0.087	0.04	DL	DL	0.069	0.003
Βουριέρο 2	0.004	1.28	DL	0.019	0.04	DL	0.08	DL	0.006
Βουριέρο 3	0.014	3.24	DL	0.027	0.06	DL	0.42	DL	0.008
Βουτουφού Σαρακίνα	DL	DL	DL	0.058	0.02	1.69	DL	0.006	0.012
Καβούσι Βουτουφού	0.005	16.4	DL	0.071	0.02	1.65	DL	0.002	0.013

*DL=Detection Limit (Όριο ανιχνευσιμότητας)

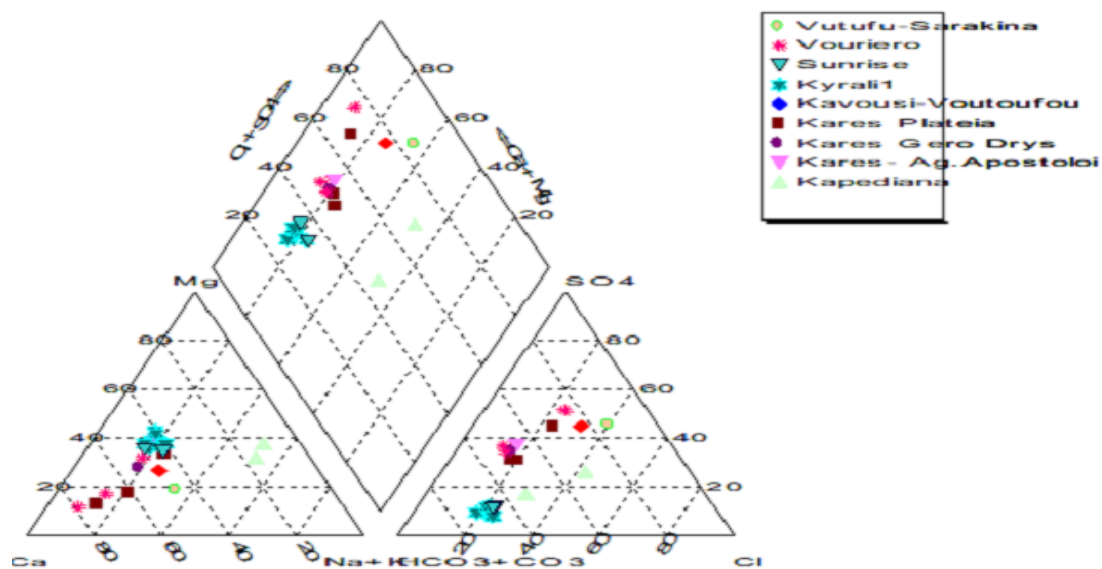
Πίνακας 4.4. Συγκεντρώσεις Ιχνοστοιχείων (συνέχεια)

Πηγές	Mn	Mo	NH4	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	U	Zn
	mg/L	μg/L	mg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	mg/L	μg/L	μg/L
Καπεδιανά 1	0.133	DL	0.29		DL	DL	DL	0.02	DL	6.63
Καπεδιανά 2	0.093	0.29	0.23	7.90	0.300	DL	DL	0.02	0.103	598.21
Καρές Άγιοι Απόαστολοι	DL	5.42	DL	DL	DL	DL	DL	5.00	3.536	DL
Καρές Γερό Δρυς	DL	2.16	DL	DL	DL	DL	DL	2.05	2.996	11.14
Καρές Πλατεία 1	DL	2.54	DL	DL	DL	DL	DL	3.18	DL	DL
Καρές Πλατεία 2	DL	5.90	0.05	1.32	0.032	DL	DL	2.30	2.976	49.34
Καρές Πλατεία 3	DL	4.11	DL	DL	DL	DL	DL	2.42	3.866	DL
Κυραλή 1	DL	DL	0.09	DL	DL	DL	DL	0.15	DL	DL
Κυραλή 2	DL	9.76	0.06	DL	DL	2.53	DL	0.16	2.327	DL
Κυραλή 3	DL	0.61	0.06	DL	DL	3.51	DL	0.17	DL	DL
Κυραλή 4	DL	DL	0.08	DL	0.756	1.60	0.64	0.13	DL	10.10
Κυραλή 5	DL	0.73	0.34	1.61	0.813	DL	0.89	0.15	0.976	4.34
Sunrise 1	DL	2.20	0.04	DL	0.365	1.60	0.61	0.15	DL	1.88
Sunrise 2	DL	1.01	0.08	1.36	0.321	DL	DL	0.13	0.680	1.98
Βουριέρο 1	DL	7.95	DL	DL	DL	DL	DL	2.80	DL	4.16
Βουριέρο 2	2.726	0.25	0.04	2.99	DL	DL	DL	2.69	0.153	32.14
Βουριέρο 3	DL	7.47	0.03	2.36	DL	DL	DL	3.12	5.542	2.55
Βουτουφού Σαρακίνα	DL	1.00	DL	3.25	DL	DL	DL	1.27	2.148	4.58
Καβούσι Βουτουφού	DL	DL	0.23	DL	0.126	1.60	2,88	0.99	1.120	1.17

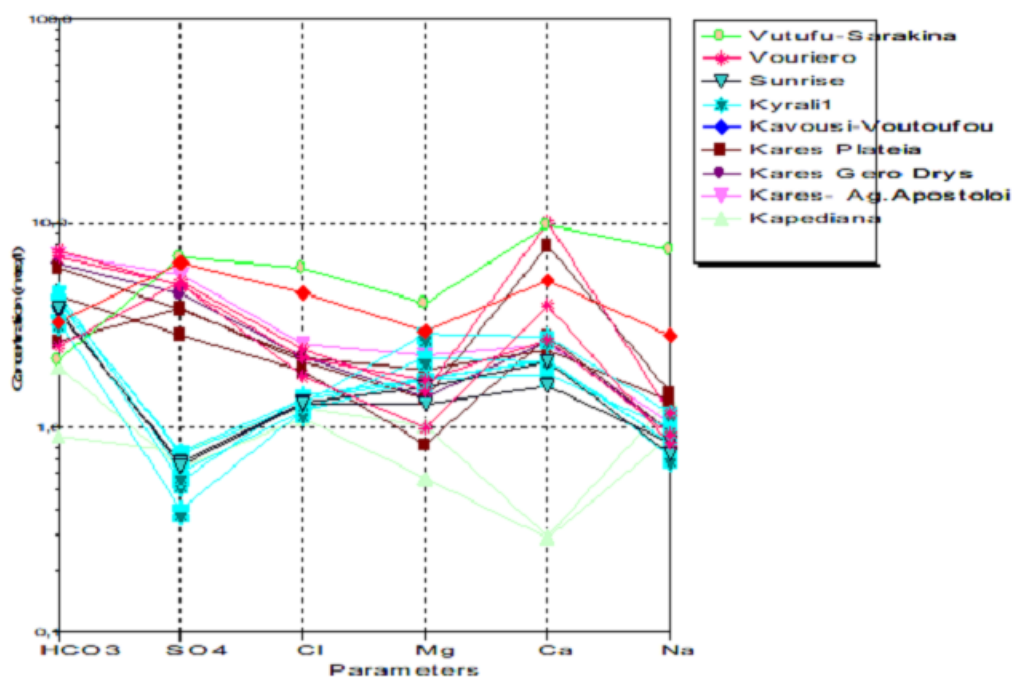
*DL=Detection Limit (Όριο ανιχνευσιμότητας)



Σχήμα 4.1 Συγκεντρώσεις Κύριων Ιόντων Ca, Mg, Na, K, Cl, F, HCO₃, SO₄, SiO₂ για κάθε δείγμα που συλλέχθηκε..



Σχήμα 4.2 :Διάγραμμα Piper για τα δείγματα.



Σχήμα 4.3 Διάγραμμα Schoeller (σε meq/L), παρατίθενται οι συστάσεις όλων των δειγμάτων νερού των περιοχών μελέτης ως προς τα HCO₃, SO₄, CL, Mg, Ca, Na.

4.2 Δείγματα από πηγές του νομού Χανίων

4.2.1 Δείγματα από την πηγή Καρές πλατεία

Το νερό της πηγής Καρές πλατεία κατά την πρώτη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 12/03/2017 είναι τύπου Ca-Mg-HCO₃-Cl έχει pH ίσο με 7 και θερμοκρασία 18.5 °C. Έχει TDS ίσο με 380 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 830 μS/cm. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 30 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 48.21 mg/L , του μαγνησίου (Mg) 23.50 mg/L, του νατρίου (Na) 31.09 mg/l , του καλίου (K) 1.53 mg/L, του χλωρίου (Cl) 78.10 mg/L, των θεικών (SO₄) 182 mg/L , των ανθρακικών (HCO₃) 372.82 mg/L του φθορίου (F) 0.37 mg/L, του διοξειδίου του αζώτου (NO₂).

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 5.95 mg/L , του βορίου (B) 0.15 mg/L του βαρίου (Ba) 0.04 mg/L , του σιδήρου

(Fe) 0.05 mg/L , του μολυβδαίνιου (Mo) 2.54 mg/L του πυριτίου (Si) 5.75 mg/L , του στροντίου (Sr) 3.18 mg/L.

Ενώ οι συγκεντρώσεις του αργιλίου (Al), του αρσενικού (As) , του χρωμίου (Cr) , του χαλκού (Cu), του υδραργύρου (Hg) , του μαγγάνιου (Mn) , του νικελίου (Ni) , των αμμωνίων (NH₄) του υδραργύρου (Pb), του μολύβδου (Sb) , του σεληνίου (Se) του λιθίου (Li) είναι σε πολλή μικρή ποσότητα.

Κατά τη δεύτερη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 13/08/2018 το νερό της πηγής Καρές Πλατεία είναι τύπου είναι τύπου Ca-HCO₃-SO₄-Cl έχει pH ίσο με 7 και θερμοκρασία 20.1 °C .Έχει TDS ίσο με 400 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 820 μS/cm. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 22.14 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 56.28 mg/L , του μαγνησίου (Mg) 10.08 mg/L, του νατρίου (Na) 22.16 mg/L , του καλίου (K) 1.16 mg/L, του χλωρίου (Cl) 67.4 mg/L, των θεικών (SO₄) 136.6 mg/L, των ανθρακικών (HCO₃) 271.2 mg/L του φθορίου (F) 0.41 mg/ L, του διοξειδίου του αζώτου (NO₂).

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω :Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 5.08 mg/ L ,του βορίου (B) 0.02 mg/L του βαρίου (Ba) 0.03 mg/L , του σιδήρου (Fe) 0.001 mg/L του στροντίου (Sr) 2.30 mg/L, του αμμωνίου (NH₄) 0.05 mg/L.

Ενώ οι συγκεντρώσεις, του μολυβδαινίου (Mo) του χαλκού (Cu), του νικελίου (Ni) , του υδραργύρου (Pb), του λιθίου (Li), και του ουρανίου (U) είναι σε πολλή μικρή ποσότητα.

Κατά την Τρίτη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 25/03/2019 το νερό της πηγής Καρές Πλατεία είναι τύπου Ca-SO₄-HCO₃-Cl έχει pH ίσο με το 7 και θερμοκρασία 18.7 °C. Έχει TDS ίσο με 450 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 930 μS/cm. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 13.2 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως πολύ μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 156.9 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 16.85 mg/L, του νατρίου (Na) 34.25 mg/L, του

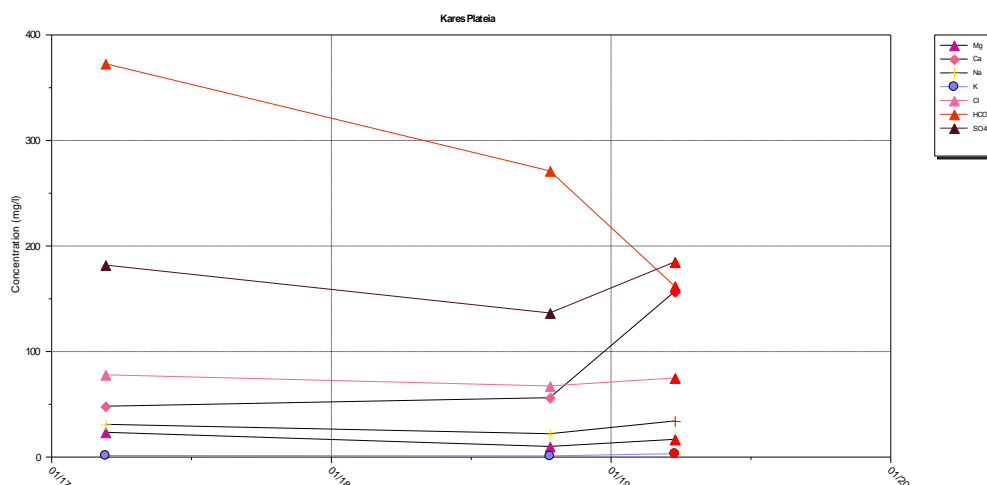
καλίου (K) 3.27 mg/L, του χλωρίου (Cl) 75 mg/L, των θεικών (SO₄) 185 mg/L, των ανθρακικών (HCO₃) 162 mg/L, του φθορίου (F) 0.43 mg/L, του διοξειδίου του αζώτου 0.1 mg/L (NO₂).

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω :Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 3.64 mg/ L ,του βορίου (B) 0.04 mg/L του βαρίου (Ba) 0.04 mg/L, του του στροντίου (Sr) 11.43 mg/L.

Ενώ οι συγκεντρώσεις, του μολυβδαινίου (Mo), του χαλκού (Cu) και του λιθίου (Li) είναι σε πολλή μικρή ποσότητα

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των παραπάνω μετρήσεων παρατηρούμε πως η θερμοκρασία της πηγής κυμαίνεται από 18.5 °C έως 20.1 °C, επομένως δεν παρουσιάζει μεγάλη μεταβολή ενώ το pH είναι σταθερό στο 7. Η σκληρότητα του νερού κυμαίνεται από 13.2 έως 30 mg/L.

Επιπλέον παρατηρούμε ότι στην τρίτη δειγματοληψία μειώνεται σημαντικά η συγκέντρωση των ανθρακικών (HCO₃), ενώ αντίθετα αυξάνεται η συγκέντρωση των μαγνησίου (Mg), καλίου (K), νατρίου (Na), θεικών (SO₄) και η συγκέντρωση του ασβεστίου (Ca) όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4. Χρονοδιάγραμμα που παρουσιάζει την μεταβολή των κύριων στοιχείων σε σχέση με την πάροδο του χρόνου για την πηγή Καρές Πλατεία

4.2.2 Δείγματα από την πηγή Καρές Γερό Δρυς

Το νερό της πηγής Καρές Γερό Δρυς κατά τη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 3/12/2017 είναι τύπου Ca- Mg- HCO₃ -SO₄ -Cl έχει pH ίσο με 7.4 και θερμοκρασία 16.2°C. Έχει TDS ίσο με 450 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 920 μS/cm. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 32 mg/L CaCO₃ χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 53.36mg/L , του μαγνησίου (Mg) 17.14 mg/L, του νατρίου (Na) 22.14 mg/L , του καλίου (K) 1.27 mg/L, του χλωρίου (Cl) 79 mg/L, των θεικών (SO₄) 218 mg/L , των ανθρακικών (HCO₃) 388.4 mg/L του φθορίου (F) 0.37 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω :Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 11.4 mg/L ,του βορίου (B) 0.11 mg/L του βαρίου (Ba) 0.07 mg/L , του σιδήρου (Fe) 0.06 mg/L , του μολυβδαίνιου (Mo) 2.16 mg/L του πυριτίου (Si) 13.9 mg/L , του στροντίου (Sr) 2.05 mg/L του χαλκού (Cu) 2.13 mg/L, του ουρανίου (U) 3μg/L , του ψευδαργύρου (Zn) 11.14 μg/L.

Ενώ οι συγκεντρώσεις του αρσενικού (As), του χρωμίου (Cr) , του υδραργύρου (Hg), του μαγγανίου (Mn), του νικελίου (Ni), των αμμωνίων (NH₄), του υδραργύρου (Pb), του μόλυβδου (Sb) , του σεληνίου (Se) του λιθίου (Li) είναι σε πολλή μικρή ποσότητα.

4.2.3 Δείγματα από την πηγή Καρές Άγιοι Απόστολοι

Το νερό της πηγής Καρές Άγιοι Απόστολοι κατά τη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 3/12/2017 είναι τύπου Ca-Mg-HCO₃- SO₄ - Cl έχει pH ίσο με 7.1 και θερμοκρασία 19.4°C. Έχει TDS ίσο με 530 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 1070 μS/cm. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα mg/L CaCO₃ χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 51.14 mg/L , του μαγνησίου (Mg) 27.64 mg/L, του νατρίου (Na) 24.61 mg/L , του καλίου (K) 0,75 mg/L, του χλωρίου (Cl) 91 mg/L, των θεικών (SO₄) 271 mg/L , των ανθρακικών (HCO₃) 431 mg/L του φθορίου (F) 0.59 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω :Συγκέντρωση των νιτρικών (NO_3) 7.74 mg/L ,του βορίου (B) 0.11 mg/L του βαρίου (Ba) 0.04 mg/L , του σιδήρου (Fe) 0.06 mg/L , του μολυβδαίνιου (Mo) 5.42 mg/L του πυριτίου (Si) 20.0 mg/L , του στροντίου (Sr) 5.0 mg/L, του ουρανίου (U) 3.54μg/L ,

Ενώ οι συγκεντρώσεις του αρσενικού (As) , του χρωμίου (Cr) , του υδραργύρου (Hg) , του μαγγάνιου (Mn) , του νικελίου (Ni) , των αμμωνίων (NH_4) του υδραργύρου (Pb), του μόλυβδου (Sb) , του σεληνίου (Se) του λιθίου (Li), του χαλκού (Cu) , του ψευδαργύρου (Zn) είναι σε πολλή μικρή ποσότητα.

4.2.4 Δείγματα από την πηγή Βουριέρο

Το νερό της πηγής Βουριέρο κατά την πρώτη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 2/12/2017 είναι τύπου $\text{Ca-HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Cl}$ έχει pH ίσο με 6.9 και θερμοκρασία 18.1 °C .Έχει TDS ίσο με 620 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 1280 $\mu\text{S/cm}$. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 37 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 54.16 mg/L , του μαγνησίου (Mg) 20.89 mg/L, του νατρίου (Na) 21.31 mg/L , του καλίου (K) 2.54mg/L, του χλωρίου (Cl) 78 mg/L, των θεικών (SO_4) 239 mg/L των ανθρακικών (HCO_3) 450.4 του φθορίου (F) 0.41 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω :Συγκέντρωση των νιτρικών (NO_3) 5.09 mg/L ,του βορίου (B) 0.09 mg/L του βαρίου (Ba) 0.04 mg/L , του σιδήρου (Fe) 0.068 mg/L του λιθίου (Li) 0.00308 mg/L του μολυβδαίνιου (Mo) 7.05 mg/L του πυριτίου (Si) 18.023 mg/L, του στροντίου (Sr) 2.8 mg/L

Ενώ οι συγκεντρώσεις του αρσενικού (As) , του χρωμίου (Cr) , του χαλκού (Cu), του υδραργύρου (Hg) , του μαγγάνιου (Mn) , του νικελίου (Ni) , των αμμωνίων (NH_4) του υδραργύρου (Pb), του μόλυβδου (Sb) , του σεληνίου (Se) είναι σε πολλή μικρή ποσότητα.

Το νερό της πηγής Βουριέρο κατά την δεύτερη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 13/02/2019 είναι τύπου $\text{Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$ έχει pH ίσο με 6.9 και θερμοκρασία 18.1 °C .Έχει TDS ίσο με 510 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση

με 1040μS/cm. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 34.2 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 79,86mg/L , του μαγνησίου (Mg) 12,21mg/L, του νατρίου (Na) 19,25mg/L , του καλίου (K) 0.09 mg/L, του χλωρίου (Cl) 63,6mg/L, των θεικών (SO₄) 241,4 mg/L των ανθρακικών (HCO₃) 418,8 του φθορίου (F) 0,50mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω :Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 1,28mg/L , του χαλκού (Cu) 0.08 μg/L, του βορίου (B) 0.02 mg/L του βαρίου (Ba) 0.04 mg/L , του σιδήρου (Fe) 0.068 mg/L του λιθίου (Li) 0.01 mg/L του μολυβδαίνιου (Mo) 0.25 mg/L, του στροντίου (Sr) 2.69 mg/L , του μαγγανίου (Mn) 2.73 mg/L, των αμμωνίων (NH₄) 0.04 mg/L, του ψευδαργύρου 32,13 μg/L , του νικελίου (Ni) 2.99 μg/L.

Ενώ οι συγκεντρώσεις του, του υδραργύρου (Hg), του υδραργύρου (Pb), του μόλυβδου (Sb) , του σεληνίου (Se) είναι σε πολλή μικρή ποσότητα.

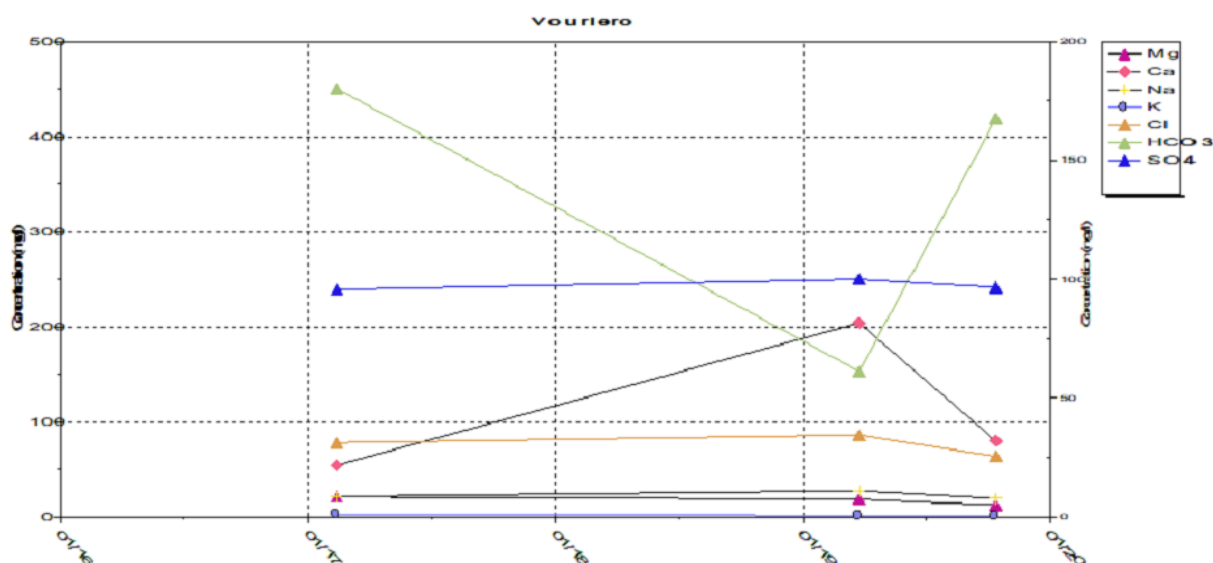
Το νερό της πηγής Βουριέρο κατά την τρίτη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 25/03/2019 είναι τύπου Ca-HCO₃- SO₄ - Cl έχει pH ίσο με 7.1 και θερμοκρασία 18.1 °C .Έχει TDS ίσο με 520 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 1080μS/cm. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 12.5 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως πολύ μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 203,8mg/L , του μαγνησίου (Mg) 18.34mg/L, του νατρίου (Na) 27,21mg/L , του καλίου (K) 1.18 mg/L, του χλωρίου (Cl) 86 mg/L, των θεικών (SO₄) 250 mg/L των ανθρακικών (HCO₃) 153 του φθορίου (F) 0,51mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω :Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 3.2 mg/L , του χαλκού (Cu) 0.42 μg/L, του βορίου (B) 0.03 mg/L του βαρίου (Ba) 0.06 mg/L , του σιδήρου (Fe) 0.068 mg/L του λιθίου (Li) 0.01 mg/L του μολυβδαίνιου (Mo) 7.47 mg/L, του στροντίου (Sr) 3.12 mg/L ,των αμμωνίων (NH₄) 0.03 mg/L, του ψευδαργύρου 2,55 μg/L , του νικελίου (Ni) 2.36 μg/L.

Ενώ οι συγκεντρώσεις του, του υδραργύρου (Hg), του υδραργύρου (Pb), του μόλυβδου (Sb) , του σεληνίου (Se) , του σιδήρου και του μαγγανίου είναι σε πολλή μικρή ποσότητα.

Όπως παρατηρείται στο σχήμα 4.5 κατά την υγρή περίοδο η συγκέντρωση Ca παρουσιάζει μεγάλη αύξηση ενώ των ανθρακικών μείωση.



Σχήμα 4.5 Διάγραμμα Schoeller (σε meq/L), παρατίθενται οι συστάσεις των δειγμάτων νερού της πηγής Βουριέρο ως προς τα HCO₃, SO₄, Cl, Mg, Ca, Na.

4.3.5 Δείγματα από την πηγή Sunrise

Το νερό της πηγής Sunrise κατά την πρώτη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 30/01/2018 είναι τύπου Ca-Mg-HCO₃ -Cl έχει pH ίσο με 6.9 και θερμοκρασία 22.1°C. Έχει TDS ίσο με 310 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 630 μS/cm. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 18.4 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 42.16 mg/l , του μαγνησίου (Mg) 19.18 mg/L, του νατρίου (Na) 17.13 mg/L , του καλίου (K) 0.96 mg/L, του χλωρίου (Cl) 47.2 mg/L, των θεικών (SO₄) 32.6 mg/L , των ανθρακικών (HCO₃) 225.3 mg/L του φθορίου (F) 0.21 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 8.4 mg/L , του βορίου (B) 0.03 mg/L του βαρίου (Ba) 0.03 mg/L , του σιδήρου (Fe) 0.02 mg/L , του μολυβδαίνιου (Mo) 0.002 mg/L του πυριτίου (Si) 20,0 mg/L, του στροντίου (Sr) 5.0 mg/L, του ουρανίου (U) 3.54μg/L ,

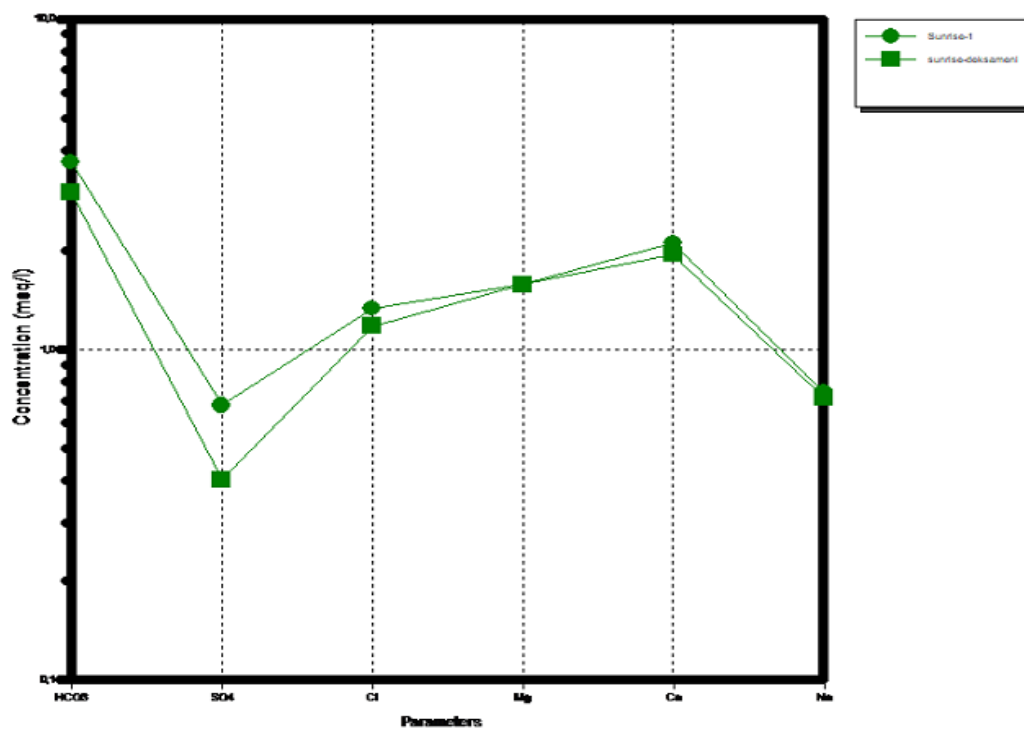
Ενώ οι συγκεντρώσεις του αρσενικού (As) , του χρωμίου (Cr) , του υδραργύρου (Hg), του μαγγανίου (Mn) , του νικελίου (Ni) , των αμμωνίων (NH₄) του υδραργύρου (Pb), του μόλυβδου (Sb) , του σεληνίου (Se) του λιθίου (Li), του χαλκού (Cu) , του ψευδαργύρου (Zn) είναι σε πολλή μικρή ποσότητα.

Κατά τη δεύτερη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 9/09/2018 το νερό της πηγής Καρές Πλατεία είναι τύπου Ca-Mg-HCO₃ -Cl έχει pH ίσο με 7.71 και θερμοκρασία 27.1 °C .Έχει TDS ίσο με 318 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 653 μS/cm. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 19.1 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως μαλακό

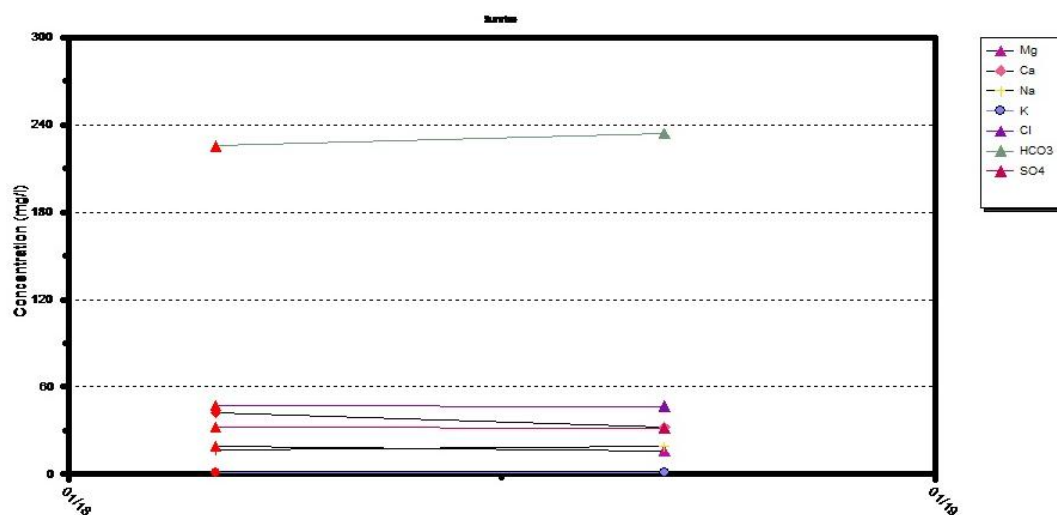
Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 32.13 mg/L , του μαγνησίου (Mg) 15.9 mg/L, του νατρίου (Na) 19.5 mg/L , του καλίου (K) 1.4 mg/L, του χλωρίου (Cl) 46.7 mg/L, των θεικών (SO₄) 31.4 mg/L, των ανθρακικών (HCO₃) 234 mg/L του φθορίου (F) 0.16mg/ L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 5.08 mg/ L ,του βορίου (B) 0.02 mg/L του βαρίου (Ba) 0.03 mg/L , του σιδήρου (Fe) 0.001 mg/L του στροντίου (Sr) 2.30 mg/L, του αμμωνίου (NH₄) 0.05 mg/L.

Σύμφωνα με το διάγραμμα Schoeller (σχήμα 4.4) και το χρονοδιάγραμμα του σχήματος 4.5 παρατηρούνται μόνο μικρές αυξομειώσεις στη συγκέντρωση των κύριων στοιχείων.



Σχήμα 4.6. Διάγραμμα Schoeller (σε meq/L), παρατίθενται οι συστάσεις των δειγμάτων νερού της πηγής Sunrise ως προς τα HCO₃, SO₄, CL, Mg, Ca, Na.



Σχήμα 4.7 Χρονοδιάγραμμα που παρουσιάζει την μεταβολή των κύριων στοιχείων σε σχέση με την πάροδο του χρόνου για την πηγή Sunrise.

4.2.6 Δείγματα από την πηγή Κυραλή

Το νερό της πηγής Κυραλή κατά την πρώτη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 30/01/2018 είναι τύπου Ca-Mg- HCO_3 -Cl έχει pH ίσο με 7.51 και θερμοκρασία 22.6 °C .Έχει TDS ίσο με 250 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 540 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 16.8 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής πολύ μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 42.61mg/L , του μαγνησίου (Mg) 21.18 mg/L, του νατρίου (Na) 16.73 mg/L , του καλίου (K) 0.59mg/L, του χλωρίου (Cl) 43.1 mg/L, των θεικών (SO_4) 19.2 mg/L των ανθρακικών (HCO_3) 205.9 του φθορίου (F) 0.06 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω :Συγκέντρωση των νιτρικών (NO_3) 5.31 mg/L , του αργιλίου (Al) 50 $\mu\text{g}/\text{L}$ του βορίου (B) 0,03 mg/L του βαρίου (Ba) 0.02 mg/L , του σιδήρου (Fe) 0.11 mg/L του λιθίου (Li) 0.0011 mg/L, των αμμωνίων (NH_4) 0.08 mg/L , του πυριτίου (Si) 6.59 mg/L , του στροντίου (Sr) 0.13 $\mu\text{g}/\text{l}$ υδραργύρου (Pb) 0.76 $\mu\text{g}/\text{L}$, του μόλυβδου (Sb) 160 $\mu\text{g}/\text{L}$, του σεληνίου (Se) 0.64 mg/L του ψευδαργύρου (Zn) 10.10 $\mu\text{g}/\text{L}$ του χρωμίου (Cr) 1.94 $\mu\text{g}/\text{l}$,του χαλκού (Cu) 1.76 $\mu\text{g}/\text{L}$.

Ενώ οι συγκεντρώσεις του αρσενικού (As) , του υδραργύρου (Hg) , του μαγγάνιου (Mn) , του νικελίου (Ni) ,του μολυβδαίνιου (Mo) είναι σε πολλή μικρή ποσότητα.

Στην δεύτερη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 03/05/2017 το νερό της πηγής είναι τύπου Ca-Mg- HCO_3 -Cl έχει pH ίσο με 7.3 και θερμοκρασία 20.6 °C .Έχει TDS ίσο με 280 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 570 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 23.1 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 42.02 mg/L , του μαγνησίου (Mg) 26.92 mg/L, του νατρίου (Na) 19.36 mg/L , του καλίου (K) 0.65mg/L, του χλωρίου (Cl) 43.2 mg/L, των θεικών (SO_4) 29.14 mg/L των ανθρακικών (HCO_3) 283.4 του φθορίου (F) 0.17 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω :Συγκέντρωση των νιτρικών (NO_3) 7.06 mg/L , του βορίου (B) 0,01 mg/L του βαρίου (Ba) 0.02 mg/L , του σιδήρου (Fe) 0.11 mg/L του λιθίου (Li) 0.0012 mg/L, των αμμωνίων (NH_4) 0.06

mg/L του μολυβδαίνιου (Mo) 0.01 μg/L , του στροντίου (Sr) 0.16 μg/L του μόλυβδου (Sb) 0.003 μg/L ,του χρωμίου (Cr) 1.94 μg/L, του ουράνιου (U) 0.002 μg/L.

Ενώ οι συγκεντρώσεις του χαλκού (Cu) , του υδραργύρου (Pb), του σεληνίου (Se), και του ψευδαργύρου είναι σε πολλή μικρή ποσότητα.

Στην τρίτη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 26/08/2017 το νερό της πηγής είναι τύπου Ca-Mg- HCO₃ έχει pH ίσο με 7.1 και θερμοκρασία 24.4 °C .Έχει TDS ίσο με 340 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 710 μS/cm. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 21.4 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 56.15 mg/L , του μαγνησίου (Mg) 35.12 mg/L, του νατρίου (Na) 27.2 mg/L , του καλίου (K) 1.13 mg/L, του χλωρίου (Cl) 46.6 mg/L, των θεικών (SO₄) 35.8 mg/L των ανθρακικών (HCO₃) 261.74 του φθορίου (F) 0.11 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω :Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 5.37 mg/L , του βορίου (B) 0,01 mg/l του βαρίου (Ba) 0.03 mg/L , του σιδήρου (Fe) 0.11 mg/, των αμμωνίων (NH₄) 0.06 mg/L, του στροντίου (Sr) 0.12 μg/L, του μόλυβδου (Sb) 0.004 μg/L .

Ενώ οι συγκεντρώσεις του χαλκού (Cu) , του υδραργύρου (Pb), του σεληνίου (Se), και του ψευδαργύρου και του λιθίου είναι σε πολλή μικρή ποσότητα.

Κατά την τέταρτη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 28/02/2018 το νερό της πηγής είναι τύπου Ca-Mg- HCO₃ -Cl έχει pH ίσο με 7.4 και θερμοκρασία 20.6 °C .Έχει TDS ίσο με 250 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 540 μS/cm. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 21.4 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 42.61 mg/L , του μαγνησίου (Mg) 21.18 mg/L, του νατρίου (Na) 16.73 mg/L , του καλίου (K) 0.59 mg/L, του χλωρίου (Cl) 43.1 mg/L, των θεικών (SO₄) 19.2 mg/L των ανθρακικών (HCO₃) 205.9 του φθορίου (F) 0.06 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω :Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 5.31 mg/L , του βορίου (B) 0,03 mg/L του βαρίου (Ba) 0.02 mg/L ,του χαλκού

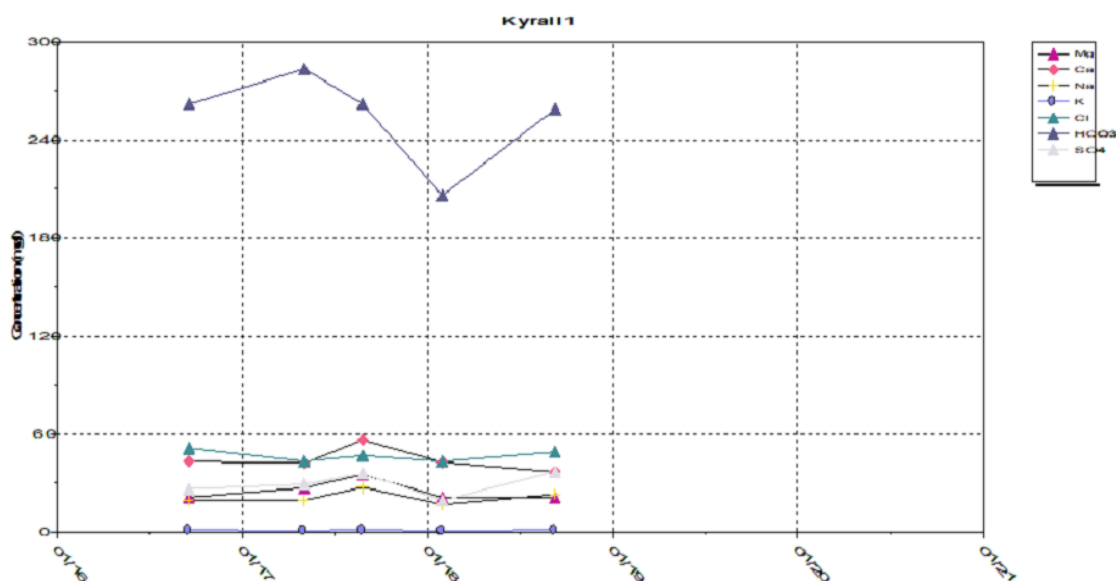
(Cu) 1.75 µg/L, του λιθίου (Li) 0.001 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0.11 mg/L, των αμμωνίων (NH₄) 0.08 mg/L, του στροντίου (Sr) 0.13 µg/L, του μόλυβδου (Sb) 0.02 µg/L, του υδραργύρου (Pb) 0.001 µg/L, του σεληνίου (Se) 0.001 µg/L, του ψευδαργύρου (Zn) 10.1 µg/L, ενώ οι συγκεντρώσεις του μολύβδου (Mo) και του ψευδαργύρου είναι σε πολλή μικρή ποσότητα.

Κατά την πέμπτη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 09/09/2018 το νερό της πηγής είναι τύπου Ca-Mg- HCO₃ -Cl έχει pH ίσο με 8.3 και θερμοκρασία 27°C. Έχει TDS ίσο με 250 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 681 µS/cm. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα 21.1 mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 36.68 mg/L, του μαγνησίου (Mg) 20.45 mg/L, του νατρίου (Na) 22.43 mg/L, του καλίου (K) 1.01 mg/L, του χλωρίου (Cl) 48.8 mg/L, των θεικών (SO₄) 36.9 mg/L των ανθρακικών (HCO₃) 258.7 του φθορίου (F) 0.15 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω : Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 7.33 mg/L, του βορίου (B) 0.04 mg/L του βαρίου (Ba) 0.03 mg/L, του χαλκού (Cu) 2.2 µg/L, του λίθου (Li) 0.002 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0.08 mg/L, του μολύβδου (Mo) 0.73 µg/L, των αμμωνίων (NH₄) 0.05 mg/L, του στροντίου (Sr) 0.15 µg/L, του υδραργύρου (Pb) 0.81 µg/L, του σεληνίου (Se) 0.086 µg/L, του ψευδαργύρου (Zn) 4.34 µg/L.

Σύμφωνα με το σχήμα 4.8, η συγκέντρωση όλων των στοιχείων, πλὴν των ανθρακικών παρουσιάζουν μικρή αύξηση κατά την τρίτη δειγματοληψία, ενώ κατά την τέταρτη δειγματοληψία τα ανθρακικά παρουσιάζουν σημαντική μείωση χωρίς να υπάρχει αντίστοιχη μεταβολή στα υπόλοιπα στοιχεία.



Σχήμα 4.8 Χρονοδιάγραμμα της σύστασης των δειγμάτων νερού της πηγής Κυραλή ως προς τα HCO₃, SO₄, Cl, Mg, Ca, Na.

4.3 Δείγματα από τις πηγές του νομού Ρεθύμνου

4.3.1 Δείγματα από την πηγή Καπεδιανιά

Το νερό της πηγής Καπεδιανιά κατά την πρώτη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 19/09/2017 είναι τύπου Na-Mg-Cl-HCO₃-SO₄ και έχει pH ίσο με 6.48 και θερμοκρασία 18.2 °C. Έχει TDS ίσο με 130 mg/l και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 280 μS/cm. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως 4.5 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) 44,50 mg/L, των θεικών (SO₄) 36.80 mg/L, των ανθρακικών (HCO₃) 55,6 mg/L του φθορίου (F) 0.08 mg/L, του διοξειδίου του αζώτου (NO₂).

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω :Συγκέντρωση των νιτρικών (NO₃) 0,10 mg/L ,του βορίου (B) 0.0014 mg/L , του σιδήρου (Fe) 7,975 mg/L , του μαγγανίου 0,133 mg/L , του πυριτίου (Si) 6,25 mg/L , του στροντίου (Sr) 0.018 mg/L των αμμωνίων 0,29 mg/L

Ενώ οι συγκεντρώσεις του αργιλίου (Al), του αρσενικού (As) , του χρωμίου (Cr) , του χαλκού (Cu), του υδραργύρου (Hg) , του μαγγανίου (Mn) , του νικελίου (Ni) , των

αμμωνίων (NH_4) του υδραργύρου (Pb), του μολύβδου (Sb) , του σεληνίου (Se) του λιθίου (Li) είναι σε πολλή μικρή ποσότητα.

Κατά τη δεύτερη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 13/08/2018 το νερό της πηγής είναι τύπου είναι τύπου $\text{Na-Mg-HCO}_3\text{-Cl-SO}_4$ και έχει pH ίσο με 7 και θερμοκρασία 20.1 °C. Έχει TDS ίσο με 400 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 820 $\mu\text{S/cm}$.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 56.28 mg/L , του μαγνησίου (Mg) 10.08 mg/L, του νατρίου (Na) 22.16 mg/L , του καλίου (K) 1.16 mg/L, του χλωρίου (Cl) 67.4 mg/L, των θεικών (SO_4) 136.6 mg/L, των ανθρακικών (HCO_3) 271.2 mg/L του φθορίου (F) 0.41 mg/L, του διοξειδίου του αζώτου (NO_2).

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω :Συγκέντρωση των νιτρικών (NO_3) 5.08 mg/L , του βορίου (B) 0.02 mg/L του βαρίου (Ba) 0.03 mg/L , του σιδήρου (Fe) 0.001 mg/L του στροντίου (Sr) 2.30 mg/L, του αμμωνίου (NH_4) 0.05 mg/L.

Ενώ οι συγκεντρώσεις, του μολυβδαινίου (Mo) του χαλκού (Cu), του νικελίου (Ni) , του υδραργύρου (Pb), του λιθίου (Li), και του ουρανίου (U) είναι σε πολλή μικρή ποσότητα.

4.4 Δείγματα από πηγές του νομού Ηρακλείου

4.4.1 Δείγματα από την πηγή Καβούσι Βουτουφού

Το νερό της πηγής Καβούσι-Βουτουφού κατά την δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε στις 19/09/2017 είναι τύπου $\text{Ca-Mg-Na-SO}_4\text{-Cl-HCO}_3$, έχει pH ίσο με 6.48 και θερμοκρασία 18.2 °C. Έχει TDS ίσο με 130 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 280 $\mu\text{S/cm}$. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως 4.5 μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 105.5 mg/L , του μαγνησίου (Mg) 36.18 mg/L, του νατρίου (Na) 65.21 mg/L, του καλίου (K) 1.97 mg/L, του χλωρίου (Cl) 162.3 mg/L, των θεικών (SO_4) 308,5 mg/L των ανθρακικών (HCO_3) 201.0 mg/L του φθορίου (F) 0.43mg/L.Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε 16.4 mg/L από το εργαστήριο στα χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω :Συγκέντρωση του διοξειδίου του αζώτου (NO_2) είναι 0.005 mg/L των νιτρικών (NO_3) 3.48 mg/L , του βορίου (B) 0.07 mg/L ,του βαρίου (Ba) 0.016 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0.002 mg/L, των αμμωνίων (NH_4) 0.23 mg/L ,του πυριτίου (Si) 18.82 mg/L, του στροντίου (Sr) 0.98, $\mu\text{g/L}$ του μόλυβδου (Sb) 1.59 $\mu\text{g/L}$, του ψευδαργύρου (Zn) 1.11 $\mu\text{g/L}$, του χρωμίου (Cr) 1.65 $\mu\text{g/L}$, του λιθίου (Li) 0.013 mg/L.

Ενώ οι συγκεντρώσεις του χαλκού (Cu), του υδραργύρου (Hg), του μαγγανίου (Mn), του μολύβδου (Mo), του νικελίου (Ni) είναι σε πολύ μικρή ποσότητα.

4.4.2 Δείγματα από την πηγή Βουτουφού Σαρακίνα

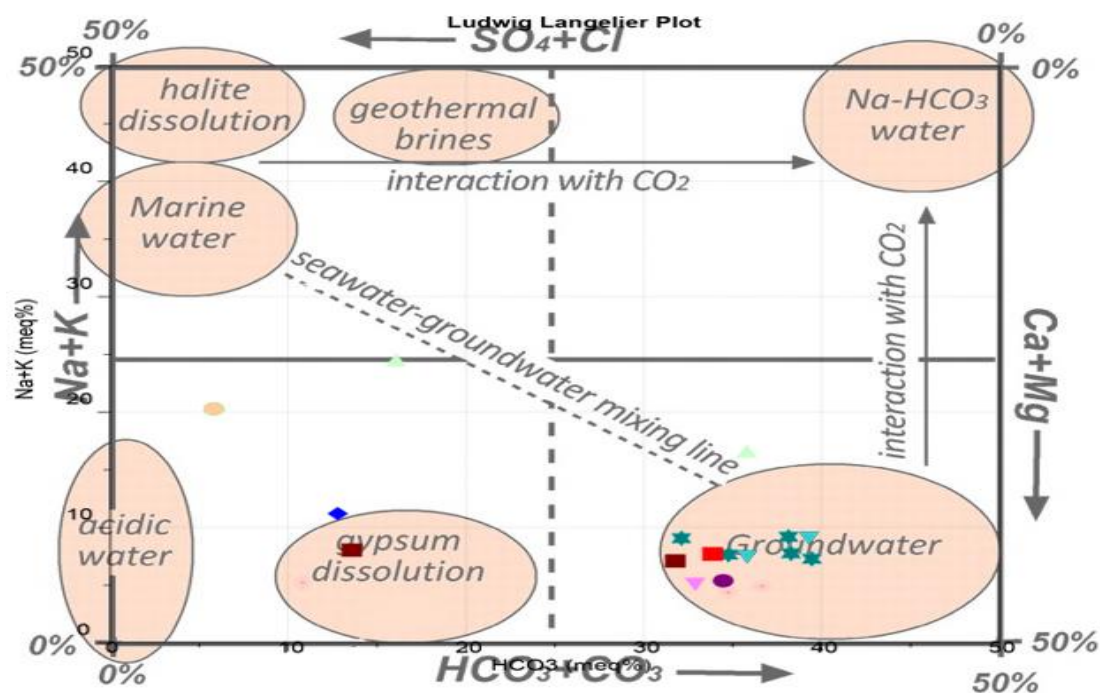
Το νερό της πηγής Βουτουφού-Σαρακίνα είναι τύπου $\text{Ca-Mg-Na-SO}_4\text{-Cl-HCO}_3$ έχει pH ίσο με 7.8 και θερμοκρασία 16.6 °C. Έχει TDS ίσο με 690 mg/L και ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με 1390 $\mu\text{S/cm}$. Τέλος, η σκληρότητα προσδιορίστηκε από το εργαστήριο στα mg/L χαρακτηρίζοντας το νερό της πηγής ως 10.7 μαλακό.

Οι συγκεντρώσεις των κύριων στοιχείων είναι οι εξής : Συγκέντρωση ασβεστίου (Ca) 197.14 mg/L , του μαγνησίου (Mg) 49.48 mg/L, του νατρίου (Na) 171.45 mg/L , του καλίου (K) 0.89 mg/L.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων είναι οι παρακάτω: Συγκέντρωση των νιτρικών (NO_3) 0.94 mg/L, του βορίου (B) 0.057 mg/L, του βαρίου (Ba) 0.024 mg/L, του σιδήρου (Fe) 0.006 mg/L, του στροντίου (Sr) 1,26 $\mu\text{g/L}$, του ψευδαργύρου (Zn) 2.14 $\mu\text{g/L}$ του χρωμίου (Cr) 1.68 $\mu\text{g/L}$, του μολυβδαινίου (Mo) 1.0 $\mu\text{g/L}$.

4.5 Άλλα υδροχημικά διαγράμματα

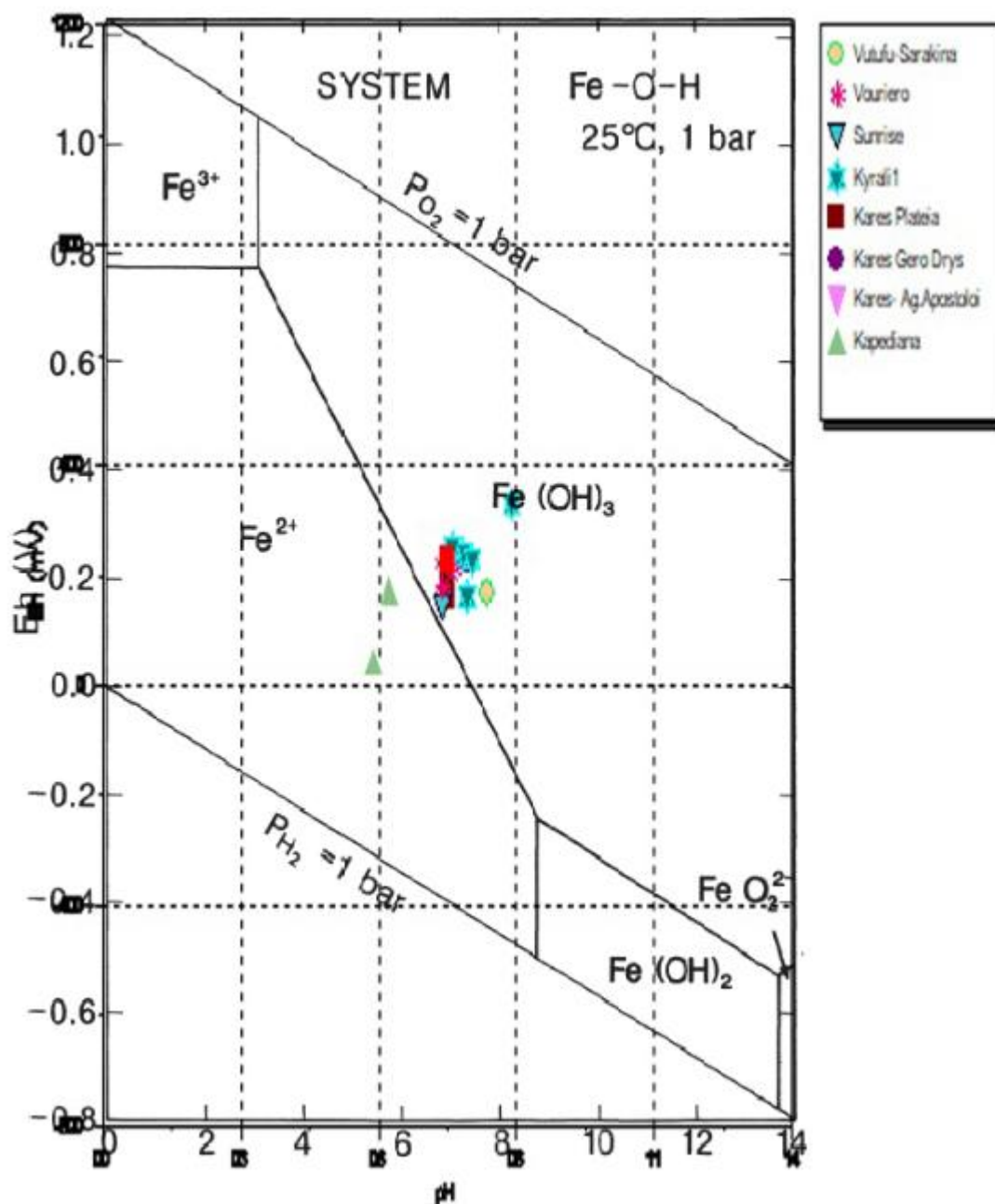
Από το διάγραμμα Ludwig Langelier (σχήμα 4.9) φαίνεται ότι, τα νερά των πηγών περισσότερων πηγών βρίσκονται στην περιοχή των υπόγειων υδάτων με εξαίρεση την πηγή από την πλατεία Καρέ και το Καβούσι-Βουτουφού που προβάλλονται στην περιοχή διαλυτοποίησης γύψου, ενώ τα νερά των Καπεδιανών βρίσκονται κοντά στη γραμμή ανάμιξης με θαλασσινό νερό.



Σχήμα 4.9 Διάγραμμα Ludwig Langelier

Για τη μελέτη του δυναμικού οξειδοαναγωγής των δειγμάτων κατασκευάστηκε διάγραμμα pH-Eh για το σίδηρο και το οποίο υπερτίθεται στο πρότυπο διάγραμμα (σχήμα 4.9)

Όσον αφορά τα δείγματα Καρές Πλατεία-3, Βουρίερο-2, Βουρίερο-3 η συγκέντρωση του σιδήρου είναι κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας (πίνακας 4.3). Για την πηγή των Καπεδιανών οι οξειδο-αναγωγικές συνθήκες προβάλλονται στην περιοχή του δισθενούς σιδηρού, ενώ οι υπόλοιπες πηγές προβάλλονται στην περιοχή του υδροξειδίου του τρισθενούς σιδήρου όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.10.



Σχήμα 4.10 Διάγραμμα Eh-pH με τη βοήθεια πρότυπου διαγράμματος Eh-pH από το βιβλίο του Douglas G. Brookins,(1988).

4.6 Δείκτης κορεσμού

Όταν το νερό κινείται ανάμεσα σε πετρώματα, τα διαλύει μέχρις ότου κορεστεί στα ορυκτά από τα οποία αποτελούνται τα πετρώματα. Η γνώση του βαθμού κορεσμού του νερού στα εκάστοτε ορυκτά είναι πολύ χρήσιμη διότι εκτός του ότι είναι ένας δείκτης του χρόνου επαφής του νερού με τα ορυκτά, έχει επίσης μεγάλη σημασία για τη ποσοτική εκτίμησης της ικανότητάς του να διαβρώνει ή να αποθέτει άλατα. Αν το

νερό είναι σε ισορροπία με ένα ορυκτό, ο δείκτης κορεσμού είναι ίσος με το μηδέν. Εάν είναι ακόρεστο, ο δείκτης κορεσμού είναι αρνητικός, ενώ αν είναι υπέρκορο ο δείκτης κορεσμού είναι θετικός.

Όσον αφορά τις πηγές που ανήκουν στην δυτική Κρήτη στις πηγές στο χωριό Καρές (Άγιοι Απόστολοι, Πλατεία, Γέρο Δρυς) το νερό είναι κορεσμένο σε βαρίτη, χαλκηδόνιο, γκαιτίτη, αιματίτη και SiO_2 , με εξαίρεση την πηγή Καρές Πλατεία -3 όπου το νερό είναι κορεσμένο σε βαρίτη και SiO_2 . Το νερό στην πηγή Κυραλή είναι κορεσμένο σε γκαιτίτη, αιματίτη, SiO_2 και σε μια δειγματοληψία και σε ασβεστίτη. Επίσης το και νερό της Sunrise είναι κορεσμένο σε γκαιτίτη, αιματίτη, SiO_2 . Τέλος το νερό της πηγής Βουριέρο είναι κορεσμένο σε βαρίτη, χαλκηδόνιο και SiO_2 ενώ το νερό της πηγής Βουριέρο- 1 είναι κορεσμένο και σε αιματίτη.

Όσον αφορά το νερό της πηγής Καπεδιανά είναι κορεσμένο σε αιματίτη και SiO_2 . Το νερό της πηγής Καβούσι-Βουτουφού είναι κορεσμένο σε γκαιτίτη, αιματίτη, και SiO_2 . Τέλος τα νερά της πηγής Βουτουφού-Σαρακίνα είναι κορεσμένο σε βαρίτη, χαλκηδόνιο, γκαιτίτη, αιματίτη, SiO_2 και ασβεστίτη.

4.7 Ιοντικοί Λόγοι

Μεγάλη βοήθεια στην αναγνώριση της προέλευσης των νερών δίνουν οι ιοντικές σχέσεις (Mandel- Shiftan, 1981) σε meq/L:

- **Λόγος Mg/Ca**

Θαλασσινό νερό: ~5

Ασβεστολιθικά νερά: 0,5- 0,7 (ασβεστολιθικοί υδροφόροι)

Δολομιτικά νερά: 0,7- 0,9 (δολομιτικοί υδροφόροι)

Πυριτικά νερά: >0,9 (υδροφόροι σε οφιολιθικούς σχηματισμούς ή γενικά σε πυριτικά πετρώματα πλούσια σε Mg^{2+}). Στα οφιολιθικά οι τιμές είναι συνήθως μεγαλύτερες του 1.

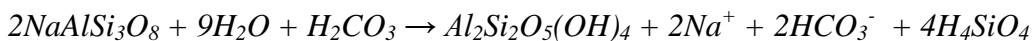
Στους παράκτιους καρστικούς υδροφόρους γίνεται δολομιτίωση (αντικατάσταση Ca^{2+} από Mg^{2+}). Λόγω της δολομιτίωσης ο λόγος Mg/Ca (meq/L) στο θαλασσινό νερό των παράκτιων καρστικών υδροφόρων με το πέρασμα του χρόνου ελαττώνεται και από την τιμή 5 τείνει προς την τιμή 2. Έτσι η τιμή του λόγου καθορίζει την ηλικία του διεισδύοντος θαλασσινού νερού.

- **Λόγος Na/Cl**

Κανονικά νερά: $0,876 \pm 10\%$, όπως και στο θαλασσινό νερό

Νερό προερχόμενο από υδροφόρους σε αλκαλικά μαγματικά ή μεταμορφωμένα πετρώματα (ιοντική ανταλλαγή Ca^{2+} & Mg^{2+} με Na^+): $\text{Na/Cl} > 1$

Πολύ μικρή τιμή Na/Cl, μαρτυράει ρύπανση του υδροφόρου από τη διείσδυση της θάλασσας. Πρέπει να σημειωθεί ότι το Cl^- είναι αδρανές ιόν και απομακρύνεται εύκολα. Τιμές του λόγου $\text{Na/Cl} > 1$ σε χαμηλές τιμές αλατότητας υποδηλώνει ότι το μετεωρικό NaCl δεν είναι μόνο η κύρια πηγή προέλευσης νατρίου. Υψηλές τιμές του λόγου Na/Cl πιθανά συνδέονται με την αποσάθρωση Na-αστρίων, π.χ. του αλβίτη, όπως περιγράφεται με την παρακάτω αντίδραση:



(αλβίτης)

(καολινίτης)

Δείγματα υπογείου νερού με χαμηλές τιμές (< 1) του λόγου Na/Cl πιθανά είναι το αποτέλεσμα της ιοντοανταλλαγής Na^+ στο έδαφος και τις αργίλους (από Βουδούρης, 2015).

- **Λόγος Cl/ SO₄**

Η σχέση Cl/SO₄ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάκριση σύγχρονης θαλάσσιας διείσδυσης από προηγούμενες διεισδύσεις σε νερά με συγκεντρώσεις χλωρίου μεγαλύτερες από 500 mg/L. Οι τιμές της σχέσης Cl/SO₄ είναι υψηλότερες στα παλαιά αλμυρά νερά σε σχέση με το σύγχρονο θαλάσσιο νερό, σαν αποτέλεσμα της αναγωγής των θεικών. Στο θαλασσινό νερό, η τιμή της παραπάνω σχέσης είναι περίπου 10 ενώ αν η τιμή κυμαίνεται από 5 έως 10 τότε το νερό είναι υφάλμυρο:

Cl/SO₄=10 θαλασσινό νερό

Cl/SO₄>5 νερό χλωριούχο

Cl/SO₄=1-5 νερό χλωροθειούχο

Cl/SO₄= 0,2-1 νερό θειούχο-χλωριούχο

Cl/SO₄<0,2 νερό θειούχο

- **Συντελεστής Revelle**

Η αναγνώριση της υφαλμύρωσης που προκαλείται από τη θάλασσα δεν είναι πάντα εύκολη. Ο **Revelle** πρότεινε σαν κριτήριο διεύθυνσης του θαλασσινού νερού, τη χρησιμοποίηση του λόγου:

$$R = \frac{r\text{Cl}^-}{(r\text{CO}_3^{2-} + r\text{HCO}_3^-)}$$

Το r δηλώνει ότι οι συγκεντρώσεις των ιόντων είναι εκφρασμένες σε meq/L. Τιμές του $R \geq 1$ αποτελούν ένδειξη θαλάσσιας διεύθυνσης.

Στον παρακάτω πίνακα (4.5), φαίνεται ο χαρακτηρισμός του νερού με βάση την τιμή του συντελεστή Revelle.

Πίνακας 4.5 Χαρακτηρισμός βαθμού ρύπανσης ρευστού από θαλάσσια διεύθυνση (από Καλλέργης 2000).

Συντελεστής Revelle	Χαρακτηρισμός ρευστού
<1	Καλό υπόγειο νερό χωρίς θαλάσσια διεύθυνση
1-2	Ελαφρά ρυπασμένο νερό
2-6	Μέτρια ρυπασμένο νερό
6-10	Σοβαρά ρυπασμένο νερό
10-150	Επικίνδυνα ρυπασμένο νερό
>150	Θαλασσινό νερό

Πίνακας 4.6 Ιοντικοί δείκτες και συντελεστής Revelle

	Mg/Ca	Na/Cl	Cl/SO ₄	Revelle
Καρές Άγιοι Απόστολοι	0.3	0.5	1,0	0,36
Καρές Γερό Δρυς	0.5	2.2	0,5	0,35
Καρές Πλατεία 1	0.8	0.6	0,6	0,36
Καρές Πλατεία 2	0.3	0.5	0,7	0,43
Καρές Πλατεία 3	0.2	0.7	0,5	0,80
Κυραλή 1	0.8	0.6	2,6	0,34
Κυραλή 2	1.1	0.7	1,1	0,26
Κυραλή 3	0.6	0.5	2,0	0,31
Κυραλή 4	0.9	0.7	1,8	0,36
Κυραλή 5	0.8	0.6	2,0	0,30
Sunrise 1	0.8	0.6	2,0	0,36
Sunrise 2	0.8	0.7	2,0	0,34
Βουριέρο 1	0.6	0.4	0,4	0,30
Βουριέρο 2	0.3	0.5	0,4	0,26
Βουριέρο 3	0.1	0.5	0,5	0,97
Καπεδιανά 1	3.5	1.1	1,6	1,38
Καπεδιανά 2	2.0	0.8	1,7	0,56
Καβούσι Βουτουφού	0.6	0.6	0,7	1,39
Βουτουφού Σαρακίνα	0.4	1.2	0,9	2,82

Σύμφωνα με τον πίνακα 4.6 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

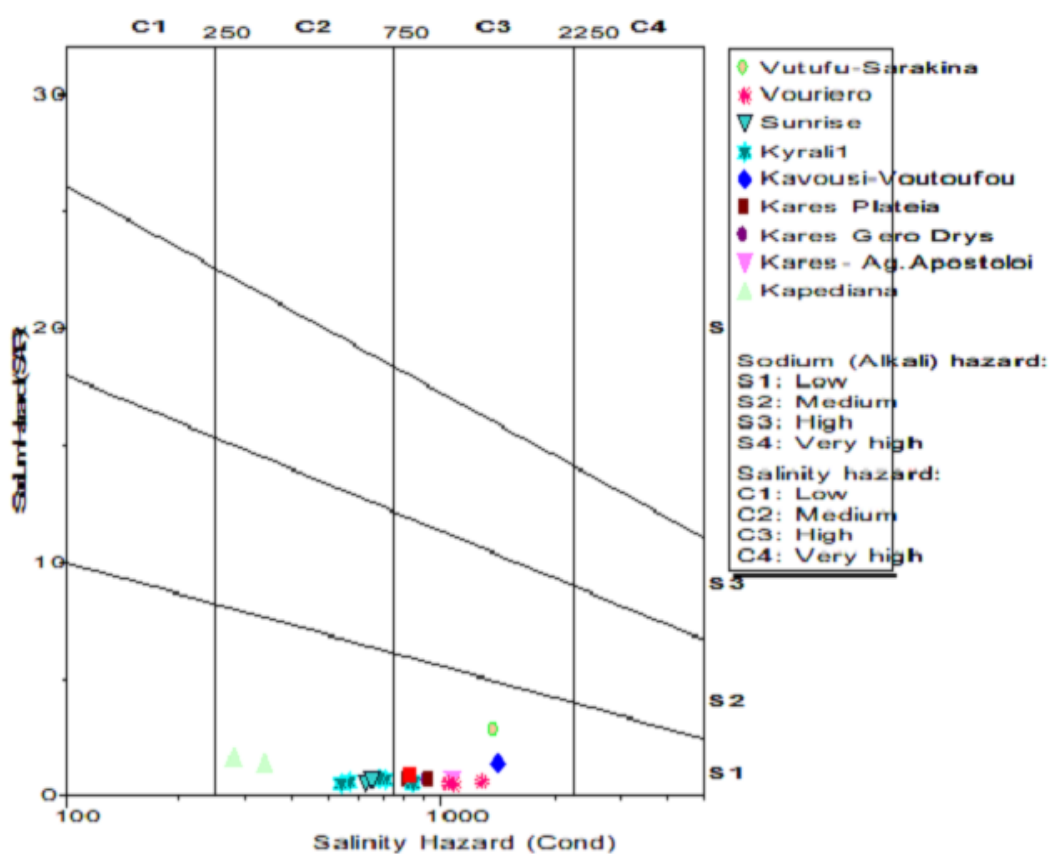
- Οι τιμές του λόγου **Mg/Ca** κυμαίνονται από 0.2-0.9 επομένως δεν υπάρχει θαλάσσια διείσδυση και το ρευστό προέρχεται από ασβεστολιθικά και δολομιτικά υδροφόρα πετρώματα.

Οι τιμές του λόγου **Na/Cl** είναι μικρότερες της μονάδας σε όλες τις πηγές με εξαίρεση τα δείγματα Καρές Γερό Δρυς,Καπεδιανά-1 και Βουτουφου-Σαρακίνα γεγονός που ενδέχεται να είναι αποτέλεσμα είτε θαλάσσιας διείσδυσης

- Οι τιμές του λόγου **Cl/SO₄** κυμαίνονται μεταξύ 0.4-2.6 meq/L το οποίο σημαίνει ότι για όλες οι πηγές στο χωριό Καρές, την πηγή στο Βουριέρο καθώς και για τις πηγές Καβούσι-Βουτουφού και Βουτουφού-Σαρακίνα το νερό χαρακτηρίζεται ως θειούχο-χλωριούχο ενώ για τις υπόλοιπες πηγές το νερό χαρακτηρίζεται ως χλωροθειούχο.

- Ο συντελεστής **Revelle** σε όλες τις πηγές με εξαίρεση τα δείγματα Καπεδιανά-1, Καβούσι-Βουτουφού, Βουτουφού-Σαρακίνα είναι μικρότερος της μονάδας, γεγονός που υποδηλώνει ότι δεν έχουμε θαλάσσια διείσδυση.

Σύμφωνα με το διάγραμμα (σχήμα 4.11) προκύπτει πως τα νερά των πηγών Sunrise, Κυραλή και Καπεδιανά προβάλλονται στην περιοχή S1-C2 (χαμηλός κίνδυνος νατρίου – μέση αλατότητα) είναι μέσης περιεκτικότητας σε άλατα και νάτριο ενώ οι πηγές για τις του χωριού Καρέ, για το Βουριέρο, και Βουτουφού τα νερά των πηγών προβάλλονται στη περιοχή S1-C3 (χαμηλός κίνδυνος νατρίου-υψηλή αλατότητα).



Σχήμα 4.11 Διάγραμμα SAR

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετήθηκαν πηγές που φιλοξενούνται εντός του Νεογενούς της Δ. Κρήτης τα ύδατα των οποίων έχουν καταγραφεί ιστορικά ως ιαματικά. Τα δείγματα ελήφθησαν από τις πηγές και κατά την υγρή και την ξηρή περίοδο (Πίνακας 4.2). Για λόγους συσχετισμού του χημισμού τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις των υδάτων των πηγών στην Δ. Κρήτη θα συγκριθούν με ομόλογα αποτελέσματα από μια πηγή σε περιοχή του νομού Ρεθύμνης και με δύο πηγές από περιοχή του νομού Ηρακλείου και θα εξαχθούν συμπεράσματα. Αναλυτικότερα, μελετήθηκαν 6 πηγές του νομού Χανίων, 1 πηγή του νομού Ρεθύμνου και 2 πηγές του νομού Ηρακλείου.

Κατά το ιστορικό βιβλίο του Ν. Λέκκα (1938) «750 μεταλλικαί πηγαί τις Ελλάδας», οι 101 βρίσκονται στη Κρήτη. Πιο συγκεκριμένα ο Λέκκας αναφέρει για την πηγή Καρές Γερό Δρύς πως είναι σιδηρούχα πηγή με νερά που έχουν έντονο κόκκινο χρώμα. Για την πηγή Βουτουφού αναφέρει πως είναι ιαματική και θεραπευτική για την χολολιθίαση. Τέλος για την πηγή Καπεδιανά αναφέρει πως είναι κ αυτή σιδηρούχα και χρησιμοποιούνταν από του κατοίκους για άρδευση.

Σύμφωνα με επιτόπιες μετρήσεις βρέθηκε ότι η θερμοκρασία όλων των πηγών κυμαίνεται από 16.2 - 27.9 °C, ανεξάρτητα από την περίοδο δειγματοληψίας (υγρή-ξηρή). Αξιολογώντας τις πηγές σύμφωνα με της 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 οι πηγές οι πηγές Καρές Γερό Δρύς, Βουτουφού Σαρακίνα και το δείγμα Βουριέρο-3 χαρακτηρίζονται ψυχρές ενώ οι πηγές Καπεδιανά , Καρές Άγιοι Απόστολοι, Καρές Πλατεία, Καβούσι Βουτουφού, Κυραλή, Sunrise, Βουριέρο χαρακτηρίζονται ως υπόθερμες. (Πίνακας 4.2). Ενώ με βάση τη θερμοκρασία εκδήλωσης ενός μεταλλικού νερού στην επιφάνεια οι πηγές με θερμοκρασία κάτω των 20 °C χαρακτηρίζονται ως ψυχρές ενώ οι πηγές με θερμοκρασία από 20-35 °C χαρακτηρίζονται ως υπόθερμες. Επομένως σύμφωνα με αυτόν τον χαρακτηρισμό οι πηγές Κυραλή και Sunrise χαρακτηρίζονται ως υπόθερμες ενώ οι υπόλοιπες ως ψυχρές.

Το pH των πηγών κυμαίνεται από όξινο μέχρι βασικό (5.5-8.3) και παρουσιάζει ελάχιστη τιμή στην πηγή Καπεδιανά και τη μέγιστη στην πηγή Κυραλή. Η σκληρότητα του νερού των πηγών κυμαίνεται από 4.5-37 mg/L CaCO_3 συμπεραίνοντας πως το νερό των πηγών είναι μαλακό. Οι τιμές Ολικώς Διαλυμένων Στερεών (TDS) για τις πηγές είναι της τάξης των 130-690 mg/L επομένως οι πηγές δεν είναι μεταλλικές.

Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι το νερό των πηγών με επιφύλαξη των τιμών του οργανικού τους φορτίου (που δεν μετρήθηκε) αν και ξεπερνούν τα ανώτερα όρια σε ορισμένα κύρια στοιχεία όπως ασβέστιο, θειικά, μαγγάνιο, μπορεί να χαρακτηριστεί πόσιμο. Επιπλέον από το σχήμα 4.11 προκύπτει ότι το νερό των πηγών είναι κατάλληλο για άρδευση και πιο συγκεκριμένα το νερό των πηγών Sunrise, Κυραλή και Καπεδιανά είναι νερά καλής ποιότητας ακατάλληλα όμως για ευαίσθητα φυτά στα άλατα ή ακατάλληλα για εδάφη με κακή αποστράγγιση ενώ οι πηγές για τις του χωριού Καρέ, για το Βουριέρο, Καβούσι-Βουτουφού, Βουτουφού-Σαρακίνα είναι νερά μέσης ποιότητας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση με περιορισμούς.

Ακόμη η έντονη διαφοροποίηση στον χημισμό τους δείχνει ότι εντός των πετρωμάτων του Νεογενούς, που σε γενικές γραμμές δεν θεωρούνται στην πλειοψηφία τους ούτε υδροπερατά αλλά ούτε και κατάλληλα για την υδροθεραπευτικά τους, έχουν αναπτυχθεί μικροί υδροφορείς που τροφοδοτούν τις πηγές μικρών παροχών αλλά συνεχούς παροχή, που δεν έχουν επηρεαστεί από σχηματισμούς που προήλθαν από ακραίες γεωλογικές καταστάσεις όπως η λατεριτίωση στους υπερκείμενων σχηματισμούς του Νεογενούς, των παγετωδών αποθέσεων του Τεταρτογενούς, που δομούν την πλειονότητα των μεταλλικής ηλικίας σχηματισμών της Δυτικής Κρήτης αλλά μόνο από εβαπορίτες του συμβάντος του Μεσσηνίου.

Πέρα των ανωτέρων αναλύσεων προκύπτει πως οι πηγές που ανήκουν στη Δυτική Κρήτη χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στις πηγές που έχουν θείο χλωριούχα επίδραση και σε εκείνες που έχουν μόνο θειούχα επίδραση. Οι πηγές που ανήκουν στην πρώτη κατηγορία είναι η πηγή Καρές Πλατεία όπου τα ύδατα μπορούν να χαρακτηριστούν $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Cl}$, $\text{Ca-HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Cl}$, $\text{Ca-SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Cl}$. Αντίστοιχα και τα δείγματα της πηγής Βουριέρο μπορούν να χαρακτηριστούν ως

Ca-HCO₃-SO₄-Cl, Ca-HCO₃-SO₄, Ca-SO₄-HCO₃-Cl. Τα ύδατα της πηγής Καρές Γερό Δρυς χαρακτηρίζονται ως Ca-Mg-HCO₃-SO₄-Cl ενώ τα ύδατα της πηγής Καρές Άγιοι Απόστολοι είναι Ca-Mg-HCO₃-SO₄-Cl. Ενώ στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα ύδατα των πηγών στο Κυραλή που μπορούν να χαρακτηριστούν Ca-Mg-HCO₃-Cl, Mg-Ca-HCO₃ και Mg-Ca-HCO₃-Cl, καθώς τα ύδατα της πηγής Sunrise είναι τύπου Ca-Mg-HCO₃-Cl.

Αντίθετα, συγκρίνοντας τα παραπάνω με τα ύδατα της πηγής στα Καπεδιανά παρατηρούμε πως είναι εντελώς διαφορετικά καθώς αυτά μπορούν να χαρακτηριστούν ως Na-Mg-Cl-HCO₃-SO₄. Όπως επίσης το ίδιο συμβαίνει και με τα νερά των πηγών Καβούσι – Βουτουφού ως Ca-Mg-Na-SO₄-Cl-HCO₃ και τέλος της πηγής Βουτουφού – Σαρακίνα χαρακτηρίζονται ως Ca-Na-Mg-Cl-HCO₃.

Επιπροσθέτως σύμφωνα με τον πίνακα 3.4 (Ενδείξεις μεταλλικού νερού και τα κριτήρια τους) διαπιστώνεται πως τα ύδατα των πηγών δεν ξεπερνούν σε τα όρια για την περιεκτικότητα σε όξινα ανθρακικά άλατα (HCO₃), την περιεκτικότητα σε χλώριο (Cl), την περιεκτικότητα σε νάτριο (Na), και τέλος την περιεκτικότητα σε φθόριο (F).

Οι πηγές Καβούσι-Βουτουφού και Βουτουφού Σαρακίνα παρουσιάζουν συγκέντρωση των θεικών (SO₄) ανώτερη από 250 mg/L σύμφωνα με το ΦΕΚ 3282B της 19-09-2017. Τέλος μόνο το νερό των πηγών Sunrise και Κυραλή συνιστώνται για δίαιτα πτωχή σε νάτριο καθώς η περιεκτικότητά τους δεν ξεπερνά τα 20 mg/L στις περισσότερες τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν. Τέλος σύμφωνα με τον πίνακα 4.4. οι πηγές των Καπεδιανών καθώς και η δειγματοληψία για την Βουριέρο-2 περιέχουν μαγγάνιο πάνω από το επιτρεπτό όριο που είναι 0.5 mg/L.

Όσον αφορά στα ιχνοστοιχεία, σχεδόν όλες οι πηγές περιέχουν NO₂ που κυμαίνεται από 0.002- 0.014 mg/L, όπως επίσης περιέχουν και NO₃ που κυμαίνεται από 0.1-16.4 mg/L. Επιπλέον 6 από τις 19 δειγματοληψίες περιέχουν Al που κυμαίνεται από 2.05-291,34 μg/L. Όλες οι δειγματοληψίες περιέχουν B και Ba εκτός από την πηγή Καπεδιανά-1 που δεν περιέχει Ba, το B κυμαίνεται από 0.0014- 0.147042 mg/L ενώ το Ba από 0.005- 0.077 mg/L. Οι μισές πηγές περιέχουν Cu που κυμαίνεται από 0.082-45.09 μg/L. Ακόμη Fe και Li περιέχουν όλες οι πηγές που μελετήθηκαν, εκτός από 3 πηγές η τιμή του Fe κυμαίνεται από 0.001-7.975 mg/L ενώ του Li από 0.0002 – 0.0133 mg/L. Πέντε μόνο από τις πηγές περιέχουν Mn που κυμαίνεται από 0.0004 –

2.725 mg/L. Με εξαίρεση 5 πηγές οι υπόλοιπες περιέχουν Mo που κυμαίνεται 0.248- 9.760 µg/L. Από τις 19 δειγματοληψίες οι 13 περιέχουν NH_4 που κυμαίνεται από 0.03 – 0.34 µg/L. Μόνο 8 πηγές περιέχουν Ni και Pb, το Ni κυμαίνεται από 1.323- 7.898 µg/L και ο Pb από 0.032 – 6.043 µg/L. Ακόμη 5 δειγματοληψίες περιέχουν Sb που κυμαίνεται από 1.597- 3.51 µg/L, ενώ 4 πηγές περιέχουν Se που κυμαίνεται από 0.605- 2,882 µg/L. Όλες οι πηγές περιέχουν Sr που κυμαίνεται από 0,018 - 4.998 mg/L. Τέλος οι σχεδόν οι μισές πηγές που μελετήθηκαν περιέχουν Zn, ο οποίος κυμαίνεται από 1,165 - 598,205 µg/L.

Σύμφωνα με το διάγραμμα Piper (σχήμα 4.2) στο οποίο προβάλλονται τα νερά των πηγών προκύπτει ότι είναι διαφορετικού τύπου νερά. Τα δείγματα των πηγών της Δυτικής Κρήτης Καρές Άγιοι Απόστολοι, Καρές Γερό Δρυς, Καρές Πλατεία, εμφανίζουν υψηλή συγκεντρώσεις Ca. Επίσης οι πηγές Καρές Γερό Δρυς Καρές Πλατεία και Βουρίερο όπως και ύδατα των πηγών του Ηράκλειου (Καβούσι Βουτουφού, Βουτουφού Σαρακίνα) παρουσιάζουν υψηλή συγκέντρωση σε SO_4 το οποίο συνεπάγεται ύπαρξη εβαποριτών. Αντίθετα το νερό της πηγής του Ρεθύμνου εμφανίζουν πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις ως προς στα κύρια στοιχεία σε σχέση με τις υπόλοιπες πηγές της πηγές της Δυτικής Κρήτης (Πίνακας 4.2).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής

1. Altura B.M., Altura B.T. (1996) Role of magnesium in patophysiological processes and the clinical utility of magnesium ion selective electrodes. *Scand J. Clin. Lab. Invest.* Vol. 56 (Supplement 224), pp. 211–234.
2. Altura B.M., Altura B.T., Carella A, Turlapaty P.D.M.V. (1981). Hypomagnesemia and vasoconstriction: possible relation to etiology of sudden death ischemic heart disease and hypertensive vascular disease. *Artery* Vol. 9, pp. 212–231.
3. Anderson T.W., Neri L.C., Schreiber G.B., Talbot F.D.F., Zdrojewski A. (1975). Ischemic heart disease, water hardness and myocardial magnesium. *Can. Med. Assoc. J.* Vol. 113, pp. 199–203.
4. Appelo CAJ, Postma D. (1994). *Geochemistry groundwater and pollution*. AA Balkema-Rotterdam-Brookfield, pp. 536.
5. Astel, A. (2016). Mineral Water: Types of Mineral Water. *Encyclopedia of Food and Health*, Academic Press, pp. 763-766.
6. Braun J.J., Dupre B., Viers J., Ngoupayou J.R.N, Bedimo J.P.B, Nkamdjou L.S., Freydier R., Robain H., Nyeck B., Bodin J., Oliva P., Boeglin J.-L., Stemmler S., Berthelin J. (2002) Biogeohydrodynamic in the forested humid tropical environment: the case study of the Nsimi small experimental watershed (south Cameroon). *Bulletin de la Société Géologique de France* Vol. 173, pp. 347-358.
7. Brindley GW (1978). The structure and chemistry of hydrous nickel-containing silicate and aluminium minerals. *Bull BRGM II.* Vol. 3, pp.233-245.
8. Brindley G.W., Hang P.T. (1973). The nature and of garnierites-I Structures chemical compositions and colour characteristics. *Clay and Clay minerals.* Vol. 21, pp. 27-40.
9. Brindley G.W., Maksimovic Z. (1974).The nature and nomenclature of hydrous nickel-containing silicates. *Clay Mineral Bull.* Vol. 10, pp. 271-277.
10. Cappucio F., Elliot P., Allender P.S., Pryer J., Follman P.A., Cutler J.A. (1995). Epidemiologic association between dietary calcium intake and blood pressure: a meta-analysis of published data. *Am J. Epidemiol.* Vol. 142, pp. 935–945.
11. Dissanayake C.B. (1991). The fluoride problem in the groundwater of Sri Lanka – environmental management and health. *Int J. Environ Stud.* Vol. 38, pp. 137–156.

12. Dissanayake C.B., Senaratne A., Weerasooriya V.R. (1982). Geochemistry of well water and cardiovascular diseases in Sri Lanka. *Int J. Environ Stud.* Vol 19, pp. 195–203.
13. Dissanayake C.B. (1984a). Weathering of nickeliferous serpentinites in humid tropical terrains. In: Roy S. Ghosh S.K. (eds). *Products and Processes of Rock Weathering: Recent Researches in Geology*, Hindustan Publishing Corporation India, pp. 1-15.
14. Douglas G. Brookins, (1988). *Eh-pH Diagrams for Geochemistry*. Department of Geology University of New Mexico Albuquerque. NM 87 t 3 t. USA
15. Durlach J. (1989). Recommended dietary amounts of magnesium: magnesium RDA. *Magnes Res.* Vol. 2, pp. 195–203.
16. Durlach J., Bara M., Guiet-Bara A. (1989). Magnesium level in drinking water: its importance in cardiovascular risk. In: Itokawa Y., Durlach J. (eds) *Magnesium in health and disease*. John Libbey & Co., London.
17. Edmunds W.M. (1996) Indicators in the groundwater environment of rapid environmental change. In: Berger A.R., Iams W.J. (eds) *Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems*, Balkema Rotterdam, pp. 135– 150.
18. FAO (Food and Agriculture Organization) (1978). *Food and Agriculture production year book*. United Nations Rome.
19. FAO (1991) *Fertilizer yearbook-1990*. United Nations, Rome, Stat Ser 99. Vol 40.
20. Fine K.D., Santa Ana C.A., Porter J.L., Fordtran J.S. (1991) Intestinal absorption of magnesium from food and supplements. *J. Clin Invest* 88:396–402
21. Fleming K.H., Heimbach J.T. (1994). Consumption of calcium from the US: food sources and intake levels. *J Nutr.* Vol. 124, pp. 1426–1430.
22. Freeze R.A., J.A. Cherry (1979). *Groundwater*. Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, NJ, pp. 604.
23. Fyfe W.S., Kronberg B.I., Leonardos O.H., Olorunfemi N. (1983). Global tectonics and agriculture a geochemical perspective. *Agric Ecosys Environ.* Vol 9, pp. 383-399.
24. Hardwick L.L., Jones M.R., Brautbar N., Lee D.B.N. (1990). Site and mechanism of intestinal magnesium absorption. *Min Electrolyte Metab* Vol. 16, pp.174–180.

25. Haring B.S.A., van Delft W. (1981). Changes in the mineral composition of food as a result of cooking in “hard” and “soft” waters. *Arch Environ Health*. Vol. 36, pp. 33–35.
26. Heany R.P., Recker R.R. (1985). Estimation of true calcium absorption. *Ann Int Med* Vol. 103, pp. 516–521.
27. Hem J.D. (1985). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, 3rd edn. United States geological survey water supply paper 2254.
28. Johnson N.E., Smith I.L., Freudenhim J.L. (1985). Effects on blood pressure of calcium supplementation of women. *Am J Clin Nutr*. Vol 42, pp. 12–17.
29. Jones K., Moon G. (1987) .Health, disease and society: a critical medical geography. Routledge & Kegan Paul, London, pp. 134–140.
30. Kehew A.E. (2000). Applied chemical hydrogeology. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, pp. 365.
31. Kerndorff H., Schnitzer M. (1980) .Sorption of metals on humic acid. *Geochim Cosmochim Acta*. Vol. 44. pp, 1701-1708.
32. Kobayashi J (1957) .On geographical relations between the chemical nature of river water and death rate from apoplexy. *Ber Ohara Inst Landwirtsch Biol*. Vol. 11, pp. 12–21.
33. Kohri K, Ishikawa Y., Iguchi M., Kurita T., Okada Y., Yoshida O. (1993) Relationship between the incidence of infection stones and the magnesium-calcium ratio of tap water. *Urol Res*. Vol. 21, pp. 269–272.
34. Köppen W. (1936). Das geographische System der Klimate.
35. Kronberg B.I, Fyfe W.S., Leonardos O.H. Jr., Santos A.M. (1979). The chemistry of some Brazilian soils: Element mobility during intense weathering. *Chem Geol*. Vol 24, pp. 211-219.
36. Kühnel R.A. (1987). The role of cationic and anionic scavengers in laterites. *Chem Geol*. Vol. 60, pp. 31-40.
37. Landin K., Bonevik H., Rylander R., Sandstro 'm B. (1989.) Skeletal muscle magnesium and drinking water magnesium level. *Magnes Bull*. Vol. 11, pp. 177–179.
38. Lau K, Eby B. (1985). The role of calcium in genetic hypertension. *Hypertension*. Vol. 7, pp. 657–667.
39. Luoma H., Aromaa A., Helminen S., Murtomaa H., Kiviluoto L., Punsar S., Knekt P. (1983). Risk of myocardial infarction in Finnish Men in relation to

- fluoride, magnesium and calcium concentration in drinking water. *Acta Med Scand.* Vol. 213, pp. 171–176.
40. Marier J.R. (1986a). Role of magnesium in the “hard-water story”. *Magnes Bull.* Vol. 8, pp. 194–198.
 41. Marier J.R (1986b). Magnesium content of the food supply in the modern-Day world. *Magnesium* Vol. 5, pp.1–8.
 42. Mavrommatis T. & Voudouris K., 2007, Relationships between hydrological parameters using correlation and trend analysis, *Journal of environmental hydrology*.
 43. McCarron D.A. (1982). Low serum concentrations of ionized calcium in patients with hypertension. *N. Engl J. Med.* Vol. 307, pp. 226–228.
 44. McCarron D.A. (1985). Is calcium more important than sodium in the pathogenesis of essential hypertension? *Hypertension* Vol. 7, pp. 607–627.
 45. Michaelsson K. (1996) Diet and osteoporosis. Medical dissertations, Uppsala University
 46. Neri L.C., Hewitt D., Schreiber G.B., Anderson T.W., Mandel J.S., Zdrojewsky A. (1975). Health aspects of hard and soft waters. *J Am Water Works Assoc* 67:403–409
 47. Neutra R.R. (1999). Epidemiology vs. Physiology? Drinking water magnesium and cardiac mortality. *Epidemiology.* Vol. 10, pp. 4–6.
 48. Paepe, R., Mariolagos, I., Van Overloop, E., and Keppens, E., 1990. Last Interglacial-Glacial Geosol Traverse (from stratotypes in the North Sea Basin and in the Eastern Mediterranean), *Quaternary International*, 5, 5770.
 49. Paepe et al., 2004
 50. Pedro G. (1985). Grandes tendencias des sols mondiaux. *Cultivar* Vol. 184, pp. 78-81.
 51. Piispanen R. (1991). Correlation of cancer incidence with groundwater geochemistry in Northern Finland. *Environ Geochem Health.* Vol. 13, pp.66–69.
 52. Plant J.A., Baldock J.W., Smith B. (1996). The role of geochemistry in environmental and epidemiological studies in developing countries: a review. In: Appleton J.D., Fuge R., McCall G.J.H. (eds) *Environmental Geochemistry and health*. Geological society Special Publication UK, Vol. 113, pp. 7-22.

53. Plant J., Smith D., Smith B., Williams L. (2000). Environmental geochemistry at the global scale. *J Geol Soc Lond.* Vol. 157, pp. 837-849.
54. Pocock S.J., Shaper A.G., Cook D.G., Packham R..F, Lacey R.F., Powell P, Russell PF (1980). British regional heart study: geographic variations in cardiovascular mortality, and role of water quality. *Br Med J.* Vol. 280, pp. 1243–1249.
55. Punsar S., Karvonen M.J. (1979). Drinking water quality and sudden death: observations from West and East Finland. *Cardiology.* Vol. 64, pp. 24–34.
56. Rajasooriyar L.D. (2003). A study of the hydrochemistry of the Uda Walawe Basin, Sri Lanka, and the factors that influence groundwater quality. Ph.D. thesis, University of East Anglia, Norwich
57. Reinhardt R.A. (1988). Magnesium metabolism: a review with special reference to the relationship between intracellular content and serum levels. *Arch Int Med.* Vol 148, pp. 2415–2420.
58. Reinhardt R.A. (1991). Clinical correlates of the molecular and cellular actions of magnesium on the cardiovascular system. *Am Heart J.* Vol. 121, pp. 1513–1521.
59. Robbins D.J., Sly M.R. (1981). Serum zinc and demineralized water. *Am J. Clin Nutr.* Vol. 34, pp. 962–963.
60. Rubenowitz E., Axelsson G., Rylander R (1996). Magnesium in drinking water and death from acute myocardial infarction. *Am J. Epidemiol.* Vol 143, pp. 456–462.
61. Rubenowitz E., Axelsson G., Rylander R. (1998). Magnesium in drinking water and body magnesium status, measured using an oral loading test. *Scand J Clin Lab Invest* Vol 58, pp. 423–428.

62. Rubenowitz E., Molin I., Axelsson G., Rylander R. (2000). Magnesium in drinking water in relation to morbidity and mortality from acute myocardial infarction. *Epidemiology*. Vol. 11, pp. 416–421.
63. Schaafsma G. (1992). The scientific basis of recommended dietary allowances for calcium. *J. Int Med* . Vol. 231, pp. 187–194.
64. Schroeder H.A. (1960). Relation between mortality from cardiovascular disease and treated water supplies. Variations in states and 163 largest municipalities of the United States. *J Am Med Assoc*. Vol. 172, pp. 1902–1908.
65. Seelig M.S. (1986). Nutritional status and requirements of magnesium: with consideration of individual differences and prevention of cardiovascular disease. *Magnes Bull*. Vol. 8, pp. 170–185.
66. Sowers J.R., Zemel M.B., Zemel P.C., Standley P.R. (1991). Calcium metabolism and dietary calcium in salt sensitive hypertension. *Am J. Hypertens* Vol. 4, pp. 557–563.
67. Sprinkle C..L. (1989). Geochemistry of the Florida Aquifer System in Florida and in parts of Georgia, South Carolina, and Alabama, United States geological survey professional paper 1403-I.
68. Theophanides T., Angiboust J.-F, Polissiou M., Anastassopoulous J., Manfait M. (1990) .Possible role of water structure in biological magnesium systems. *Magnes Res*. Vol. 3, pp. 5–13.
69. Tóth J. (1963). A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 68, pp. 4795–4812.
70. Tóth J. (1999). Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes processes and manifestations. *Hydrogeology Journal* 7:1–14

71. Trescases J.J. (1992) Chemical weathering. In: Butt CRM, Zeegers H (eds) Regolith exploration geochemistry in tropical and subtropical terrains. Handbook of Exploration Geochemistry: Vol. 4, Elsevier Amsterdam, pp. 25-40.
72. Turekian K.K., Wedepohl K.H. (1961). Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. Geol Soc Amer Bull. Vol. 72, pp. 175-192.
73. Waeber B., Brunner H.R. (1994). Calcium deficiency in the elderly: a factor contributing to the development of hypertension. Eur J. Endocrinol Vol 130, pp. 433.
74. WHO (2002). Environmental health criteria-225. Principles and methods for the assessment of risk from essential trace elements. WHO Publication Geneva.
75. WHO (2002). World Health Organization guidelines for drinking water quality. Hardness. http://www.who.int/water_sanitation_health/GDWQ/Chemicals/hardnfull.htm
76. Wilkinson S.R., Stuedemann J.A., Grunes D.L., Devine O.J. (1987). Relation of soil and plant magnesium to nutrition of animals and man. Magnesium Vol. 6, pp. 74–90.
77. Yang C.Y. (1998). Calcium and magnesium in drinking water and risk of death from cerebrovascular disease. Stroke 29 Vol. 2, pp. 411–414.
78. Yang C.Y., Chiu HF (1999). Calcium and magnesium in drinking water and the risk of death from hypertension. Am J Hypertens. Vol. 12, pp. 894–899.
79. Yang C.Y., Chiu H.F., Tsai S.S., Wu T.N., Chang C.C. (2002). Magnesium and calcium in drinking water and the risk of death from esophageal cancer. Magnes Res. Vol. 15, pp. 215–222.

Ελληνική

1.Θεωρία Δασικής Εδαφολογίας (Β. Τάντος)

<https://eclass.teilar.gr/modules/document/file.php/DAS128/%CE%98%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%AF%CE%B1%20%CE%94%CE%B1%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82%20%CE%95%CE%B4%CE%B1%CF%86%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1%CF%82%20%28%CE%92.%20%CE%A4%CE%AC%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%82%29.pdf>

2. Τσιτσίας, Κ.Κ. 1997. Εδαφολογία. Λάρισα

<https://eclass.teiimt.gr/modules/document/file.php/FD111/%CE%B5%CE%B4%CE%B1%CF%86%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%B12.pdf>

3.Μπορνόβας, Ι. & Ροντογιάννη-Τσιαμπάου, Θ. (1983). Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας σε κλίμακα 1:500.000. Έκδοση ΙΓΜΕ.

4. Περιφέρεια Κρήτης, Σχέδιο Διαχείρισης Υδατικών Πόρων-Υδατικό Διαμέρισμα Κρήτης, 2013

[1] : <http://www.pepkritis.gr/%CF%83%CF%87%CE%AD%CE%B4%CE%B9%CE%BF-%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%87%CE%B5%CE%AF%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B7%CF%82-%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CE%B1%CE%BD%CF%8E%CE%BD-%CE%B1%CF%80%CE%BF%CF%81%CF%81%CE%BF%CE%AE%CF%82/>



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 «Για 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 Κлиматικής 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 αιτιολογημένη 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 αριθμ. 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 αναδιατυπώθηκε 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 βυτίο, 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 υγειονομικής 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 υγειονομικής διάταξης, το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης είναι υγιεινό και καθαρό εφόσον:

α) είναι απαλλαγμένο μικροοργανισμών και παρασίτων, και οποιονδήποτε 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 ποσίου νερού.

Άρθρο 5

Ποιοτικές προδιαγραφές

(Άρθρο 45 Οδηγίας 98/83/ΕΚ)

σία με τις αρμόδιες Αρχές εξασφαλίζουν παράλληλα 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 παράγραφος 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 εστιατόρια, 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 ελεγχεται 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 παραπρόϊοντων 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 Υγιονομικού Ελέγχου των Περιφερειακών Ενότητων παρακολουθούν συστηματικά την κατάσταση των συστημάτων ύδρευσης στην περιοχή αρμοδιότητάς τους. Για το σκοπό αυτό διενεργούν υγιονομικούς 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 ομοιομορφική.

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 υγιονομικός έλεγχος περιλαμβάνει:

- υγιονομική 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 διερευνηθεί 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,

λαμβάνουν όλα τα αναγκαία μέτρα ώστε να εξασφαλίζεται ότι κάθε ουσία ή κάθε υλικό νέων εγκαταστάσεων, που χρησιμοποιείται σύμφωνα με τις κείμενες διατάξεις, την τεχνολογία και τα επισήμως αναγνωρισμένα μέσα και τις Αρχές ελέγχου και πιστοποίησης για την παραγωγή ή τη διανομή νερού ανθρώπινης κατανάλωσης καθώς και οι προσμείξεις 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 (θεοποίηση ζωνών προστασίας, κ.λπ.) 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. "Αρμοδίες 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/νσης 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 αξιολόγηση 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 καταρτίζει 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 Ενοτήτων και σε επιτελικό βαθμό το Υπουργείο Υγείας.

1.1. Οι Υπηρεσίες Περιβαλλοντικής Υγιεινής και Υγειονομικού Ελέγχου των Περιφερειακών Ενοτήτων, 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 εκστομίστηκε, 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	Σημειώσεις
<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

ΜΕΡΟΣ Β'
Χημικές παράμετροι

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα	Σημειώσεις
Ακρυλαμίδιο	0,10	μg/L	Σημείωση 1
Αντιμόνιο	5,0	μg/L	
Αρσενικό	10	μg/L	
Βενζόλιο	1,0	μg/L	
Βενζο-α-πυρένιο	0,010	μg/L	
Βόριο	1,0	mg/L	
Βρωμικά	10	μg/L	Σημείωση 2
Κάδμιο	5,0	μg/L	
Χρώμιο	50	μg/L	Σημείωση 3
Χαλκός	2,0	mg/L	Σημείωση 3
Κυανιούχα	50	μg/L	
1,2 -διχλωροαιθάνιο	3,0	μg/L	
Επιχλωρυδρίνη	0,10	μg/L	Σημείωση 1
Φθοριούχα	1,5	mg/L	
Μόλυβδος	10	μg/L	Σημείωση 3
Υδράργυρος	1,0	μg/L	
Νικέλιο	20	μg/L	Σημείωση 3
Νιτρικά	50	mg/L	Σημείωση 4
Νιτρώδη	0,50	mg/L	Σημείωση 4
Παρασιτοκτόνα	0,10	μg/L	Σημειώσεις 5 και 6
Σύνολο παρασιτοκτόνων	0,50	μg/L	Σημειώσεις 5 και 7
Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες	0,10	μg/L	Άθροισμα συγκεντρώσεων συγκεκριμένων ενώσεων σημείωση 8
Σελήνιο	10	μg/L	
Τετραχλωραιθέριο και Τριχλωραιθέριο	10	μg/L	Άθροισμα συγκεντρώσεων συγκεκριμένων παραμέτρων
Ολικά τριαλογονομεθάνια	100	μg/L	Άθροισμα συγκεντρώσεων συγκεκριμένων ενώσεων Σημείωση 9
Βινυλοχλωρίδιο	0,50	μg/L	Σημείωση 1

Σημείωση 1: Η παραμετρική τιμή αναφέρεται στην συγκέντρωση καταλοίπων μονομερούς στο νερό όπως υπολογίζεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές περί μεγίστης μετανάστευσης εκ του αντιστοίχου πολυμερούς όταν βρίσκεται σε επαφή με το νερό.

Σημείωση 2: Εάν είναι δυνατόν, οι Αρμόδιες Αρχές, πρέπει να επιδιώκουν χαμηλότερη τιμή χωρίς να θίγεται η απολύμανση.

Σημείωση 3: Η τιμή ισχύει για δείγμα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης που λαμβάνεται στη βρύση με μέθοδο δειγματοληψίας που ικανοποιεί τις απαιτήσεις της παρ. 2α του Μέρους Δ του Παραρτήματος II.

Οι υπεύθυνοι σε συνεργασία με τις αρμόδιες Αρχές λαμβάνουν υπόψη τα περιστατικά μεγίστων επιπέδων που ενδέχεται να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

Σημείωση 4: Οι αρμόδιες Αρχές εξασφαλίζουν ότι τηρείται ο όρος $[\text{νιτρικά}]/50 + [\text{νιτρώδη}]/3 < 1$, οι αγκύλες υποδηλούν συγκέντρωση σε mg/l για νιτρικά (NO_3) και για τα νιτρώδη άλατα (NO_2), καθώς και ότι η τιμή 0,10 mg/l για τα νιτρώδη τηρείται για το νερό που προέρχεται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας.

Σημείωση 5: Ως «παρασιτοκτόνα» νοούνται:

-οργανικά εντομοκτόνα,

