



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**



**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ & ΕΔΑΦΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ**

Διερεύνηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των υπόγειων υδάτων Δήμου Καρπενησίου



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γιώργος Τσούμας

Επιβλέπων: Καθηγητής Γεώργιος Σταυρουλάκης

ΧΑΝΙΑ 2018



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**



**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ & ΕΔΑΦΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ**

**Διερεύνηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των υπόγειων
υδάτων Δήμου Καρπενησίου**

Γιώργος Τσούμας

Επιβλέπων : Καθηγητής Σταυρουλάκης Γιώργος

Επιτροπή: Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Κατσίβελα Ελευθερία
Αξιολόγησης Νέος Διδάκτορας Παπαφιλιππάκη Ανδρονίκη

Ημερομηνία παρουσίασης

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας : 72

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Σταυρουλάκη Γεώργιο, για την ανάθεση και επίβλεψη της πτυχιακής μου εργασίας, καθώς και για την σημαντική προσφορά στην υλοποίησή της, καθ' όλη τη διάρκεια αυτής.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην κ. Παπαδοπούλου Μαρία, προϊστάμενη της Διεύθυνσης Τεχνικών Υπηρεσιών του Δήμου Καρπενησίου, για την προσφορά ιστορικών στοιχείων.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους συμφοιτητές μου Μάλαμα Ραφαέλα και Ανδρούτσου Νάγια για τις συμβουλές και την πολύτιμη βοήθειά τους καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης του πειραματικού μέρους αυτής της εργασίας, καθώς και για την πολύ καλή συνεννόηση και συνεργασία μας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
---------------	---

ABSTRACT.....	2
---------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

1.1 Το νερό και η σημασία του.....	3
1.2 Η κατανομή του νερού στη γή.....	3
1.3 Η δομή του καθαρού νερού.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
1.4 Ο υδρολογικός κύκλος.....	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΠΟΓΕΙΟ ΝΕΡΟ

2.1 Ορισμός/σηματισμός.....	6
2.2 Γεωλογικοί σχηματισμοί.....	7
2.3 Φυσική ανάβλυση νερού.....	9
2.4 Γεωτρήσεις.....	9
2.4.1 Υδρογεωτρήσεις.....	10
2.5 Επίδραση των γεωλογικών στρωμάτων στα ποιοτικά υπόγειων υδάτων	χαρακτηριστικά των
2.6 Εξάντληση και υπαλμύριση των υπόγειων υδάτων.....	11
2.7 Τάσεις που παρουσιάζουν τα φυσικά υδατικά αποθέματα.....	12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

3.1 Ρύπανση των υπόγειων νερών.....	13
3.2 Μεταφορά των ρύπων στους υδροφορείς.....	13
3.3 Φυσικοί μηχανισμοί μεταφοράς ρύπων.....	14
3.4 Επιπτώσεις της ρύπανσης στην υγεία και στο περιβάλλον.....	16
3.5 Πηγές ρύπανσης.....	18
3.5.1 Ρύπανση από βιομηχανικές δραστηριότητες.....	18
3.5.2 Ρύπανση από αγροτικές δραστηριότητες.....	19
3.5.3 Ρύπανση από αστικές και οικιακές δραστηριότητες.....	20
3.5.4 Ρύπανση από ραδιενεργές ουσίες.....	21
3.5.5 Ρύπανση από φυσικές διεργασίες.....	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

ΣΧΕΤΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ.....	23
------------------------	----

4.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά	26
4.1.1 Θερμοκρασία	26
4.1.2 Οξύτητα (pH).....	26
4.1.3 Αλκαλικότητα	26
4.1.4 Αγωγιμότητα και αλατότητα.....	27
4.1.5 Θολερότητα.....	27
4.1.6 Οσμή και γεύση	28
4.1.7 Χρώμα.....	28
4.1.8 Στερεές ουσίες	29
4.1.9 Άλατα και σκληρότητα	29
4.1.10 Κατιόντα (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺)	31
4.1.11 Ανιόντα (Cl ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , PO ₄ ³⁻).....	32
4.1.12 Ιχνοστοιχεία – Βαρέα μέταλλα (Fe, Mn, Al, Cu, Zn, Cd, Cr, Pb, As)	33
4.2 Βιοχημικά χαρακτηριστικά.....	36
4.2.1 Διαλυμένο Οξυγόνο (DO).....	36
4.2.2 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD).....	37
4.2.3 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD).....	37
4.2.4 Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC).....	38
4.3 Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά	38
4.3.1 Ολικά κολοβακτηριοειδή (Total Coliforms).....	39
4.3.2 Κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή (Fecal Coliforms).....	40
4.3.3 Κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι (Fecal streptococci).....	40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΚΑΡΠΕΝΗΣΙΟΥ

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	41
Γεωμορφολογία της ευρύτερης περιοχής	41
Κλιματολογικές συνθήκες	41
Η Γεωλογική δομή του Ν. Ευρυτανίας.....	42
Υδρογεωλογία της ευρύτερης περιοχής.....	42
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	43
Δειγματοληψία.....	43
5.1 Βιοχημικές μέθοδοι ελέγχου δειγμάτων νερού.....	46
5.1.1 Οξύτητα (pH) -θερμοκρασία	46
5.1.2 Αγωγιμότητα – TDS - Αλατότητα	47
5.1.3 Θολότητα	48
5.1.4 Σκληρότητα.....	49
5.1.5 Χλωριόντα Cl ⁻	50
5.1.6 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD).....	51
5.1.7 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD).....	52
5.1.8 Νιτρικά ιόντα (NO ₃ ⁻)	53
5.1.9 Αμμωνιακά ιόντα (NH ₄ ⁻)	53
5.1.10 Φωσφορικά ιόντα (PO ₄ ⁻).....	54

5.1.11 Θειικά ιόντα (SO ₄ ⁻).....	54
5.1.12 Προσδιορισμός των συγκεντρώσεων K-Na-Ca.....	55
5.1.13 Προσδιορισμός μικροβιολογικού φορτίου	56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων των αναλύσεων σε συγκεντρωτικά γραφήματα.....	58
6.2 Συμπεράσματα	84
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	87

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η αξιολόγηση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Καρπενησίου, μέσω της μελέτης χημικών, φυσικοχημικών και μικροβιολογικών παραμέτρων σε δείγματα νερού τα οποία συλλέχθηκαν από συγκεκριμένα σημεία δειγματοληψίας.

Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν συνολικά έξι δειγματοληψίες σε φυσικές πηγές κατά την περίοδο 26 Μαρτίου 2017 – 6 Νοεμβρίου 2017. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Υδατικών & Εδαφικών Πόρων του Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος της Σχολής Εφαρμοσμένων Επιστημών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Κρήτης.

Από τα δείγματα που συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν, προέκυψε ότι η ευρύτερη περιοχή του Δήμου Καρπενησίου δεν αντιμετωπίζει πρόβλημα υποβάθμισης του υπόγειου νερού, καθώς όλες οι φυσικοχημικές και μικροβιολογικές παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν στα όρια που ορίζει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό.

Οι μετρήσεις όμως πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιόδου και σε συνδυασμό το ότι δεν κατέστη δυνατόν να ευρεθούν ιστορικά δεδομένα των πηγών, δεν βοηθά στην εξαγωγή σωστών συμπερασμάτων, παρά το γεγονός ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι κατάλληλα για να κριθεί το νερό ως πόσιμο.

Study of the physicochemical characteristics of the groundwater of the Municipality of Karpenissi

Abstract

The purpose of this dissertation was to evaluate the groundwater quality in the wider area of the Municipality of Karpenissi by studying chemical, physico-chemical and microbiological parameters in water samples collected from specific sampling points.

For this purpose a total of six samples were taken in natural sources during the period March 26, 2017 - November 6, 2017. The analyzes were carried out at the Laboratory of Water and Soil Quality Control of the Department of Natural Resources and Environment Engineering at the School of Applied Sciences of the Technological Educational Institute of Crete.

The analyzed samples showed that the area of the Municipality of Karpenissi does not have a problem of degradation of the groundwater, as all the physicochemical and microbiological parameters measured were within the limits set by the drinking water legislation.

However, the measurements were carried out over a given period, and in combination that historical sources could not be found, it does not help to draw proper conclusions, although the results of the measurements are suitable for judging drinking water.

1. Η σημασία του νερού

1.1 Το νερό και η σημασία του

Το καθαρό νερό είναι άχρουν, άοσμο και είναι επίσης ένα μέσο που μπορεί να διαλυτοποιεί αρκετές από τις ουσίες με τις οποίες έρχεται σε επαφή. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο δεν υπάρχει καθαρό νερό ελεύθερο στη φύση, αφού πάντοτε περιέχει διάφορες ουσίες ή συστατικά

Το νερό έχει μεγάλη σημασία για όλες τις μορφές ζωής στον πλανήτη. Αποτελεί περίπου το 70% του βάρους του ανθρώπινου σώματος και πάνω από το 80% του βάρους σε αρκετά φυτικά είδη. Το νερό είναι βασικό βιολογικό υγρό και το φυσικοχημικό μέσο που συμμετέχει στις μεταβολικές αντιδράσεις με τις οποίες γίνεται μετατροπή της τροφής σε ενέργεια και νέο κυτταρικό υλικό. Επίσης, είναι το μέσο που επιτυγχάνει τη διατήρηση της θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος δια μέσου των θερμοδυναμικών μηχανισμών της διαπνοής, εφίδρωσης και αναπνοής. Ακόμα, αποτελεί βασικό συστατικό του αίματος και επιτελεί πολύ σημαντικές λειτουργίες απομακρύνοντας τις τοξικές και άχρηστες ουσίες από το ανθρώπινο σώμα. Το νερό παίζει σημαντικό ρόλο στην φωτοσύνθεση και μέσω αυτής στην διατήρηση του επιπέδου του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα.[7]

Η σημασία του νερού για τη ζωή και ως συστατικού του παγκόσμιου οικοσυστήματος γίνεται συνεχώς σαφέστερη. Είναι ένας πόρος που όχι μόνο καλύπτει βασικές ανάγκες για τον ανθρώπινο πληθυσμό και αποτελεί το κλειδί για την ανάπτυξη, ιδιαίτερα με τη δημιουργία και διατήρηση του πλούτου μέσω της γεωργίας, της επαγγελματικής αλιείας, της παραγωγής ενέργειας, της βιομηχανίας, των μεταφορών και του τουρισμού, αλλά είναι ζωτικός παράγοντας για όλα τα παγκόσμια οικοσυστήματα.

Σύμφωνα με την Οδηγία-Πλαίσιο περί Υδάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το νερό δεν αποτελεί εμπορικό προϊόν όπως οποιοδήποτε άλλο, αλλά θα πρέπει να θεωρείται περισσότερο ως κληρονομιά. Ωστόσο, είναι σημαντικό να δοθεί στο νερό μια τιμή, επειδή η τιμολόγηση ενεργεί ως κίνητρο για την ενθάρρυνση περισσότερο βιώσιμης χρήσης και για αυτό πολλές ευρωπαϊκές χώρες τιμολογούν το νερό εδώ και χρόνια.[6]

1.2 Η κατανομή του νερού στη γη

Οι πρώτοι ζωντανοί οργανισμοί αναπτύχθηκαν στο νερό, το οποίο παίζει πρωτεύοντα ρόλο σε όλες τις διαδικασίες της έμβριας ύλης. Είναι μια μοναδική χημική ουσία που παρεμβαίνει με διάφορους τρόπους σε μια πολύ μεγάλη ποικιλία χημικών αντιδράσεων που σχετίζονται με την ύπαρξη και τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη. Μια από τις σημαντικότερες ιδιότητες του νερού είναι ότι εμφανίζεται σε συνηθισμένες συνθήκες και στις τρεις καταστάσεις της ύλης (στερεή, υγρή, αέρια) (πίνακας 1).

Το νερό του πλανήτη θα μπορούσε να διαχωριστεί σε αλμυρό και γλυκό ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε άλατα και κυρίως σε χλωριούχο νάτριο. Έτσι, περίπου το 97% του συνολικού νερού αποτελεί το αλμυρό νερό που βρίσκεται στους ωκεανούς και στις θάλασσες, ενώ το υπόλοιπο 3% αποτελεί το γλυκό νερό που κατανέμεται στους πάγους και τους παγετώνες, στα υπόγεια νερά και στα επιφανειακά νερά. [8]

Πίνακας 1 Οι τρεις καταστάσεις του νερού [8].

Στερεή κατάσταση	Υγρή κατάσταση	Αέρια κατάσταση
Το 2% περίπου του νερού που υπάρχει στον πλανήτη	Περίπου το 98% του νερού που υπάρχει στον πλανήτη	Το 0,001 του νερού που υπάρχει στον πλανήτη
Προσωρινά παγωμένο (χιόνι, πάχνη) ή μόνιμα παγωμένο (παγόβουνα, παγετώνες)	Ωκεανοί, θάλασσες, ποτάμια, λίμνες, υπόγεια νερά	Με μορφή υδρατμών

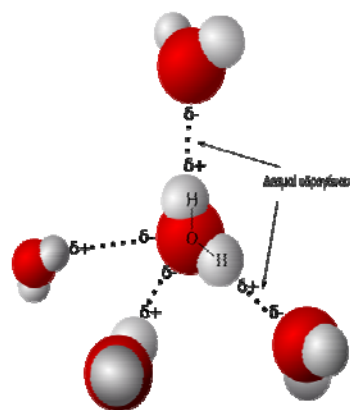


Σχήμα 1 Λεπτομερής περιγραφή της κατανομής του νερού της Γης[8]

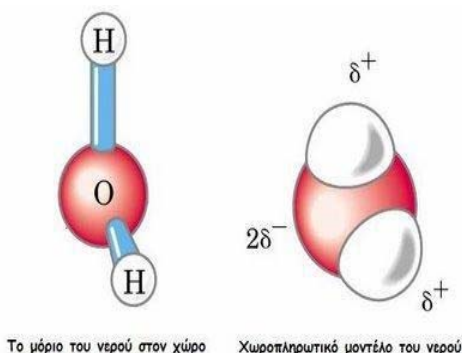
1.3 Η δομή του καθαρού νερού

Στη δομή του μορίου του νερού συμμετέχουν τέσσερα μοριακά τροχιακά τα οποία περιέχουν τέσσερα ζεύγη ηλεκτρονίων (έξι ηλεκτρόνια από το οξυγόνο και ένα από κάθε ένα από τα δυο άτομα υδρογόνου) (σχήμα 2). Δύο τροχιακά σχηματίζουν ομοιοπολικούς δεσμούς O-H και τα άλλα δύο τροχιακά παραμένουν ελεύθερα και αντιστοιχούν στα δύο μονήρη ηλεκτρονικά ζεύγη. Η ηλεκτρονική αυτή διαμόρφωση έχει ως αποτέλεσμα το διαχωρισμό των δύο κέντρων θετικών φορτίων από τα δύο κέντρα αρνητικών φορτίων που προκύπτουν (σχήμα 2.β). Το ηλεκτρικά ουδέτερο λοιπόν μόριο του νερού είναι στη λεπτομέρειά του ένα ηλεκτρικό δίπολο.

Η διαμοριακή σύνδεση με δεσμούς υδρογόνου που παρατηρείται κυρίως στη στερεή κατάσταση του νερού και σε μικρότερο βαθμό στην υγρή κατάσταση είναι αποτέλεσμα του διαχωρισμού των κέντρων των θετικών φορτίων (δ^+) από τα κέντρα των αρνητικών φορτίων (δ^-). Τα άτομα του οξυγόνου στο μόριο του νερού ασκούν ελκτικές ηλεκτροστατικές δυνάμεις κατά τις διευθύνσεις των μονήρη ηλεκτρονικών ζευγών σε άτομα υδρογόνου άλλων μορίων νερού. Ο δεσμός που επιτυγχάνεται κατά τον τρόπο αυτό είναι ηλεκτροστατικού τύπου και γνωστός ως δεσμός υδρογόνου.



2.α Δεσμοί υδρογόνου μεταξύ μορίων νερού



2.β Κέντρα θετικών και αρνητικών φορτίων στο μοριακό δίπολο

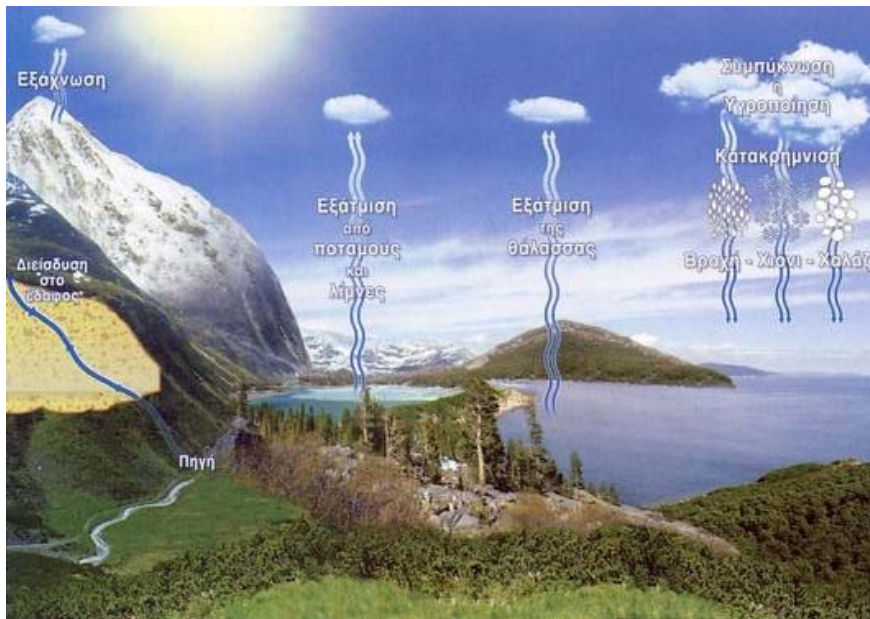
Σχήμα 2 Δομή του νερού και σύνδεση μορίων νερού με δεσμούς υδρογόνου [34]

Αποτέλεσμα του δεσμού υδρογόνου είναι η διευθέτηση των μορίων στη στερεή κατάσταση του πάγου κατά τέτοιο τρόπο, ώστε κάθε άτομο οξυγόνου να αντιστοιχεί στη κορυφή ενός τετραέδρου και να περιβάλλεται από τέσσερα άλλα άτομα οξυγόνου που ανήκουν σε γειτονικά μόρια. Στην τετραεδρική αυτή κρυσταλλική διευθέτηση οι αποστάσεις μεταξύ των μορίων νερού είναι μεγαλύτερες από τις διαστάσεις του μορίου του νερού και έτσι είναι δυνατή η συνύπαρξη τετραεδρικών κρυσταλλικών συμπλεγμάτων μορίων νερού καθώς και ελεύθερων μορίων νερού. Στο υγρό νερό θεωρείται ότι εξακολουθεί να διατηρείται κατά ένα μέρος η ταξινομημένη μοριακή διευθέτηση που αντιστοιχεί στον πάγο. Η δομή του υγρού νερού αντιστοιχεί σε συμπλέγματα διευθετημένων μορίων με δεσμούς υδρογόνου, τα οποία βρίσκονται μαζί με μη διευθετημένα και ελεύθερα κινούμενα απλά μόρια νερού.[42]

1.4 Ο υδρολογικός κύκλος

Το νερό απαντάται στον πλανήτη σε στερεή μορφή (πάγος), σε υγρή και σε αέρια μορφή (υδρατμοί). Η θάλασσα, τα ποτάμια, οι λίμνες, η ατμόσφαιρα και το έδαφος βρίσκονται διαρκώς σε δυναμική κατάσταση μεταφοράς ποσοτήτων νερού. Η μεταφορά αυτή επιτυγχάνεται αρχικά με τους μηχανισμούς της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής, στη συνέχεια με τη συμπύκνωση των υδρατμών (βροχή, χιόνια και άλλες κατακρημνίσεις) και συμπληρώνεται με την επιφανειακή απορροή, τη διείσδυση στο έδαφος και την υπόγεια ροή του νερού (εικόνα 1).

Καθώς το νερό πέφτει με μορφή βροχής δια μέσου της ατμόσφαιρας διαλυτοποιεί οξυγόνο, άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα και άλλα αέρια. Επίσης, έρχεται σε επαφή με διάφορους σωματιδιακούς και αέριους ρύπους που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα. Όταν το νερό πέφτει στο έδαφος συμπαρασύρει αιωρούμενο υλικό, μικροοργανισμούς και μια μεγάλη ποικιλία οργανικών και ανόργανων ουσιών. Τα επιφανειακά νερά που ρέουν στα ποτάμια έχουν συνήθως μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αιωρούμενου υλικού από τα επιφανειακά νερά που αντιστοιχούν σε λιμναία συστήματα. Το υπόγειο νερό περιέχει διάφορα συστατικά τα οποία διαλυτοποιήθηκαν κατά τη δίοδό του δια μέσου των εδαφικών στρωμάτων. Οι ποσότητες και τα είδη των συστατικών που περιέχονται στο υπόγειο νερό, εξαρτώνται από το χρόνο επαφής του με τα διάφορα εδαφικά στρώματα και από την ορυκτολογική και χημική σύσταση των στρωμάτων αυτών.[45]



Εικόνα 1 Ο υδρολογικός κύκλος [36] .

2. Υπόγειο νερό

2.1 Ορισμός/σηματισμός

Τα υπόγεια νερά είναι αυτά που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και η κυριότερη προέλευσή τους είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι, υδρατμοί). Το νερό εισέρχεται στο υπέδαφος από την επιφάνεια του εδάφους, είτε κατευθείαν από τις βροχοπτώσεις, είτε από ποτάμια ή λίμνες. Στη συνέχεια, κινείται αργά σε ποικίλες αποστάσεις μέχρι να επιστρέψει στην επιφάνεια του εδάφους είτε με φυσική ανάβλυση, είτε με ανθρώπινη παρέμβαση (γεωτρήσεις, πηγάδια), είτε τέλος με τη διαπνοή των φυτών.

Γενικά το υπόγειο νερό που προέρχεται από την κατείσδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων διαχωρίζεται σε:

- **Βαρυτικό νερό** → Είναι το νερό που καλύπτει τους πόρους, δηλαδή τα διάκενα των γεωλογικών σχηματισμών και υπακούει στους νόμους της βαρύτητας και στις υδροστατικές πιέσεις και συνεπώς παίρνει μέρος στην υπόγεια κυκλοφορία.
- **Νερό κατακράτησης** → Είναι το νερό που καλύπτει τους πόρους, δηλαδή τα διάκενα των γεωλογικών σχηματισμών, αλλά για διάφορους λόγους δεν υπακούει στους νόμους της βαρύτητας και επομένως δεν συμμετέχει στην υπόγεια κυκλοφορία.

Τα υπόγεια νερά αποτελούν μέρος του υδρολογικού κύκλου και αντιστοιχούν σε 0.6% του συνολικού νερού στον πλανήτη. Όμως θα πρέπει να σημειωθεί ότι πάνω από το μισό περίπου των υπόγειων νερών βρίσκεται σε τόσο μεγάλα βάθη που δεν είναι εκμεταλλεύσιμο, λόγω του μεγάλου κόστους άντλησης αλλά και γιατί συνήθως σε αυτά τα βάθη το νερό είναι πολύ κακής ποιότητας. Από την άλλη, τα υπόγεια ύδατα που βρίσκονται σε πιο επιφανειακά στρώματα προσφέρουν, συνήθως μια εξαιρετική ποιότητα καθώς η ποιοτική τους σταθερότητα στο χρόνο και η δυνατότητα αυτοκαθαρισμού τους, τα καθιστά κατάλληλα για όλες τις χρήσεις.

2.2 Γεωλογικοί σχηματισμοί

Τα υπόγεια νερά συνήθως καταλαμβάνουν τον κενό χώρο μεταξύ των πετρωμάτων. Η υπόγεια περιοχή στην οποία συγκρατείται το νερό ονομάζεται υδροφορέας. Η ροή του νερού αναφέρεται συνήθως ως ροή σε πορώδη μέσα, κυρίως αμμώδη εδάφη. Μεταξύ των μικρών σωματιδίων που συνθέτουν τα πορώδη εδάφη, υπάρχουν κενά τα οποία επιτρέπουν την αποστράγγιση του νερού. Οι υδροφορείς συμβάλλουν στην τροφοδότηση γεωτρήσεων ή πηγών με σημαντικές ποσότητες νερού, καθώς έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν και να μεταβιβάζουν νερό.[10]

Πολύ σημαντικό κριτήριο για την γενική ταξινόμηση των υδροφορέων αποτελεί το ύψος της στάθμης του νερού στο έδαφος (εικόνα 2). Κάνοντας μια κατακόρυφη τομή του εδάφους παρατηρούνται δυο ζώνες στις οποίες η κίνηση του νερού γίνεται με τελείως διαφορετικό τρόπο (εικόνα 3). Οι ζώνες είναι οι εξής:

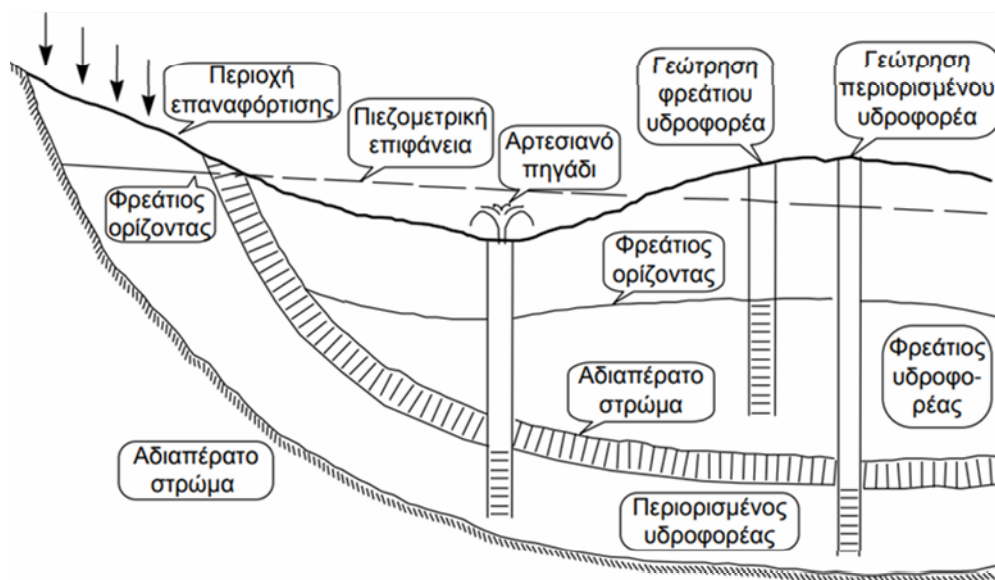
❶ Ζώνη αερισμού (ακόρεστη ζώνη)

Η ζώνη αερισμού αποτελείται από διάκενα, που κατέχονται μερικώς από νερό και μερικώς από αέρα. Υποδιαιρείται σε:

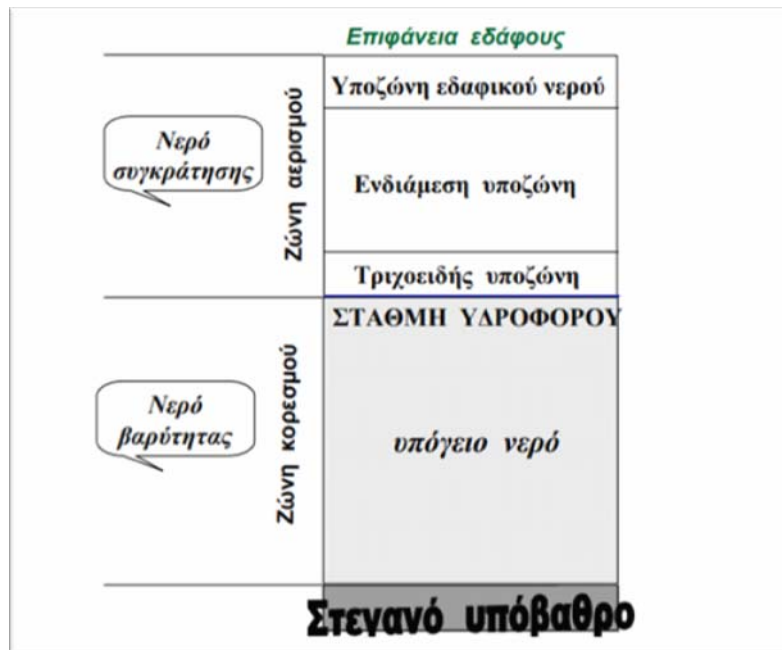
- Υποζώνη εδαφικού νερού μικρού πάχους, ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και τη βλάστηση, όπου η υγρασία μεταβάλλεται ανάλογα με τους κλιματικούς παράγοντες.
- Ενδιάμεση ζώνη, όπου το νερό συγκρατείται με υγροσκοπικές και τριχοειδείς δυνάμεις και από την οποία το νερό πρέπει να περάσει κινούμενο προς τη ζώνη κορεσμού.
- Τριχοειδή υποζώνη με ύψος που μεταβάλλεται ανάλογα με το μέγεθος των διακένων.

❷ Ζώνη κορεσμού (κορεσμένη ζώνη)

Στη ζώνη κορεσμού όλα τα διάκενα είναι γεμάτα νερό που βρίσκεται υπό πίεση. Ουσιαστικά αντιπροσωπεύει το υδροφόρο στρώμα και η επάνω επιφάνεια της ζώνης αυτής είναι η ελεύθερη επιφάνεια. Η ζώνη αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς μπορεί να τροφοδοτεί με νερό.



Εικόνα 2 Κατακόρυφη τομή εδάφους [10]



Εικόνα 3 Υποδιαίρεσεις του υπεδαφικού νερού στο έδαφος [37]

Εφόσον υπάρχει το άνω όριο της ζώνης κορεσμού, αυτό ονομάζεται υδροφόρος ορίζοντας, ενώ όταν μελετώνται ειδικά προβλήματα κίνησης των υπόγειων νερών χρησιμοποιείται και ο όρος ελεύθερη επιφάνεια. Η ταξινόμηση των υπόγειων υδροφορέων γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τη γεωλογική δομή και έτσι οι κυριότεροι τύποι υδροφορέων είναι:

❶ Ελεύθεροι υδροφορείς

Αυτή η κατηγορία αφορά αυτούς τους υδροφορείς όπου, ενώ το κάτω όριο συμπίπτει με ένα στεγανό στρώμα, το πάνω όριό τους είναι η ελεύθερη επιφάνεια του υπόγειου νερού. Κύριο χαρακτηριστικό αυτών των υδροφορέων είναι ότι τροφοδοτούνται απευθείας με νερό από την επιφάνεια του εδάφους, εκτός και αν περιορίζονται από κάποιο υπερκείμενο αδιαπέρατο στρώμα το οποίο όμως, θα πρέπει να βρίσκεται ψηλότερα από τη θέση της ελεύθερης επιφάνειας.

❷ Υπό πίεση υδροφόροι ή αρτεσιανοί

Στα υδροφόρα αυτά στρώματα το νερό περιορίζεται από πάνω και από κάτω από αδιαπέρατα στρώματα. Οι υδροφορείς είναι γεμάτοι σε όλο το πάχος τους και η πίεση του νερού είναι πολύ μεγάλη. Για τον λόγο αυτό η πιεζομετρική επιφάνεια, η οποία είναι μια εικονική επιφάνεια που συμπίπτει με το επίπεδο της υδροστατικής επιφάνειας στον υδροφόρο, βρίσκεται ψηλότερα από το πάνω όριο του αδιαπέρατου στρώματος. Όταν η πιεζομετρική επιφάνεια βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, τότε παρατηρείται αυτόματη ροή με τη μορφή πίδακα.

❸ Ημιαρτεσιανοί (υπό μερική πίεση) υδροφορείς

Πρόκειται για υπόγειους υδροφορείς, οι οποίοι είναι ανάλογοι με τους υπό πίεση με τη διαφορά ότι το πάνω ή το κάτω ή και τα δυο στρώματα που οριοθετούν ένα περιορισμένο υδροφόρα είναι ημιπερατά.

2.3 Φυσική ανάβλυση νερού

Κατά το παρελθόν, πολύ σημαντικός παράγοντας για την δημιουργία νέων οικισμών, υπήρξε η παρουσία των πηγών. Οι φυσικές πηγές και οι αναβλύσεις έχουν άμεση σχέση με τον κύκλο του νερού στη φύση. Τα νερά των βροχών διεισδύουν στο υπέδαφος, όπου συγκεντρώνονται σε υπόγειους ταμιευτήρες και στην συνέχεια βρίσκουν διέξοδο στην επιφάνεια μέσω των πηγών. Πηγή θεωρείται μια συγκεντρωμένη εκροή υπόγειου νερού που εμφανίζεται στην επιφάνεια του εδάφους, το οποίο ρέει ελεύθερα. Η πηγή επεκτείνεται από τη διαρροή νερού που είναι μια πιο αργή κίνηση υπόγειου νερού προς την επιφάνεια του εδάφους συνήθως μη σημειακή, αλλά συνεχιζόμενη. Οι διαρροές νερού μπορούν να σχηματίζουν λίμνες ή ποτάμια ή ακόμα και να εξατμίζονται, ανάλογα με την παροχή της διαρροής, την τοπογραφία και το κλίμα.

Οι πηγές και γενικά οι αναβλύσεις αποτελούν στην πραγματικότητα υπερχειλίση των υδροφόρων στρωμάτων. Ουσιαστικά οι αναβλύσεις εκφορτίζουν τα υδροφόρα στρώματα, καθώς αυτά τροφοδοτούνται από τα κατακρημνίσματα και ανεβαίνει η στάθμη τους. Οι πηγές εμφανίζονται εκεί που η στάθμη των υδροφόρων στρωμάτων έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του εδάφους. Μεγάλος αριθμός μικρών πηγών στις παρυφές λόφων ή κοιλάδων είναι ένδειξη ρηχού υδροφόρου ορίζοντα με μικρή περατότητα. Αντίθετα, μεγάλες πηγές στον πυθμένα κοιλάδων, είναι ένδειξη ύπαρξης μεγάλου υδροφόρου με σημαντική περατότητα. Γενικά, οι πηγές και οι αναβλύσεις υποδηλώνουν την υδροφορία μιας περιοχής.[13]

2.4 Γεωτρήσεις

Οι γεωτρήσεις γενικά έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών και πρόκειται για κυλινδρικές οπές, που ξεκινούν από την επιφάνεια και εισέρχονται στο υπέδαφος, συνήθως κατακόρυφα. Υπάρχουν διαφορετικά είδη γεωτρήσεων τα οποία είναι:

- 1) Εκμεταλλευτικές → Χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση των υδροφόρων στρωμάτων ή των στρωμάτων με υδρογονάνθρακες ή με φυσικό αέριο
- 2) Ερευνητικές → Έρευνα για υδροφόρα στρώματα και στρώματα με υδρογονάνθρακες
- 3) Δειγματοληπτικές → Διερευνάται η γεωλογική δομή του υπεδάφους
- 4) Ειδικού σκοπού → Για τσιμεντοενέσεις, υδατοενέσεις και αερισμό

Σε σχέση με το παρελθόν, η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στις γεωτρήσεις έχει εξελιχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό, αφού πλέον η διάτρηση γίνεται με πολύπλοκα μηχανικά συγκροτήματα που επιτρέπουν τη διάνοιξη οπών μικρής σχετικά διαμέτρου σε οποιοδήποτε γεωλογικό σχηματισμό και σε βάθος εκατοντάδων έως μερικών χιλιάδων μέτρων. Μέσω των γεωτρήσεων μελετούνται τα χαρακτηριστικά των διατρυνόμενων πετρωμάτων, σχηματισμών και κοιτασμάτων. Τα τοιχώματά τους προφυλάσσονται κατά τη διάρκεια και κυρίως μετά τη διάτρηση, όταν χρησιμοποιούνται για παραγωγικούς σκοπούς, οπότε εφοδιάζονται με κατάλληλα συστήματα άντλησης.

Οι γεωτρήσεις πρέπει να προγραμματίζονται έγκαιρα και σωστά, και να προσδιορίζονται οι σκοποί και οι στόχοι που καλούνται να πραγματοποιήσουν. Έτσι χρειάζεται συγκεκριμένο πρόγραμμα (βάθος, διάμετρος, σωληνώσεις, δειγματοληψία κλπ.) και επιλογή κατάλληλου γεωτρύπανου, που θα τις πραγματοποιήσει με τον αρτιότερο και συγχρόνως λιγότερο δαπανηρό τρόπο.[14]

2.4.1 Υδρογεωτρήσεις

Οι υδρογεωτρήσεις αποτελούν τεχνικά έργα, τα οποία επιτρέπουν την ανεύρεση και εκμετάλλευση του υπόγειου νερού (εικόνα 4). Ανήκουν στην κατηγορία των αβαθών γεωτρήσεων, καθώς το βάθος τους δεν ξεπερνά τα 600-650 m. Η διάμετρός τους κυμαίνεται μεταξύ 0,3-0,6 m.



Εικόνα 4 Υδρογεώτρηση [38]

Το νερό που χρειάζεται ο άνθρωπος για τις καθημερινές του ανάγκες αυξάνει συνεχώς, όσο ανεβαίνει το βιοτικό του επίπεδο. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι στην Ελλάδα, πάνω από το 50% του πληθυσμού καλύπτει τις ανάγκες του από την εκμετάλλευση του υπόγειου νερού μέσω των υδρογεωτρήσεων. Αυτή η εκμετάλλευση προέρχεται κυρίως από την εντατικοποίηση της γεωργίας που απαιτεί όλο και μεγαλύτερες ποσότητες νερού άρδευσης, καλής σχετικά ποιότητας, που είναι αδύνατον να εξασφαλισθούν μόνο από τους επιφανειακούς πόρους, ιδιαίτερα σε μερικές μη ευνοημένες από τη φύση χώρες ή περιοχές. Επίσης, η ελάττωση των βροχοπτώσεων, που παρατηρείται γενικά τα τελευταία χρόνια, οδηγεί στην αναζήτηση όλο και περισσότερου και καλής ποιότητας νερού ύδρευσης και άρδευσης, με όλο και πιο βαθιές γεωτρήσεις. Έτσι, οι γεωτρήσεις αναζήτησης, εντοπισμού και παραγωγής νερού αυξάνονται συνεχώς σε αριθμό και βάθος, με τις προβλέψεις για παραπέρα ανάπτυξή τους να φαίνονται βέβαιες.[14]

2.5 Επίδραση των γεωλογικών στρωμάτων στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων υδάτων

Σημαντική επίδραση στην ποιότητα του υπόγειου νερού ασκούν η ταχύτητα μεταβολής των ορυκτολογικών συστατικών, το μέγεθος και η διάρκεια επαφής των επιφανειών μεταξύ πετρώματος και νερού, το pH κ.ά.

Το νερό των υδροφόρων υπόκειται σε διαγενετικές μεταβολές που εμφανίζονται ως διάλυση, υδρόλυση, καθίζηση, προσρόφηση-απορρόφηση και ιοντική ανταλλαγή, οξείδωση, αναγωγή καθώς και μικροβιολογικές μεταβολές. Όσο πιο ευδιάλυτα είναι τα ορυκτολογικά συστατικά του υδροφορέα τόσο πιο σημαντική είναι η επίδραση του στη διαμόρφωση της ποιότητας του νερού που περιέχει. Γενικά, η χημική σύσταση του υπόγειου νερού, μαρτυρά τη λιθολογική σύσταση του υδροφορέα που το περιέχει.[44]

2.6 Εξάντληση και υφαλμύριση των υπόγειων υδάτων

Τα υπόγεια νερά αποτελούν, μαζί με τα επιφανειακά, ένα από τα κυριότερα αποθέματα νερού που χρησιμοποιούνται εδώ και χιλιάδες χρόνια. Η εξασφάλιση της καλής κατάστασης των υπογείων υδάτων επιβάλλει έγκαιρη δράση και σταθερό, μακροπρόθεσμο σχεδιασμό μέτρων προστασίας, λόγω της φυσικής καθυστέρησης στο σχηματισμό και στην ανανέωσή τους.

Τα υπόγεια ύδατα αναπληρώνονται φυσικά μέσω της διήθησης των κατακρημνισμάτων. Όταν, όμως αντλούνται με εντατικούς ρυθμούς, οι οποίοι υπερβαίνουν το ρυθμό ανανέωσής τους, μπορούν να εξαντληθούν. Τα υπόγεια ύδατα δέχονται ιδιαίτερη πίεση σε περιοχές με ξηρά καλοκαίρια, όπως η Μεσόγειος. Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, η ροή των επιφανειακών υδάτων είναι μειωμένη, ενώ οι απαιτήσεις σε νερό αυξάνονται λόγω της μεγαλύτερης ανάγκης των καλλιεργειών για άρδευση και της εποχιακής αύξησης του πληθυσμού, ως αποτέλεσμα της έντονης τουριστικής δραστηριότητας στην περιοχή. Αυτοί οι παράγοντες οδηγούν στην ανάγκη μεγαλύτερης άντλησης των υπογείων υδάτων στην περιοχή. Οι κίνδυνοι εξάντλησης των υπογείων υδάτων στην Ελλάδα είναι οι παρακάτω:

- Η απουσία μηχανισμών ελέγχου των γεωτρήσεων και η έλλειψη συντονισμού ανάμεσα στις υπηρεσίες καθιστούν τις ιδιωτικές γεωτρήσεις μια εύκολη και φτηνή λύση για τους γεωργούς. Αυτό το γεγονός, σε συνδυασμό με την έλλειψη συλλογικών συστημάτων άρδευσης, οδηγεί στην εκμετάλλευση χιλιάδων ανεξέλεγκτων παράνομων γεωτρήσεων και, επομένως, σε υπεράντληση.
- Η άνιση κατανομή των βροχοπτώσεων στο χρόνο λόγω κλιματικής αλλαγής. Όταν το νερό έρχεται με βροχοπτώσεις μεγάλης έντασης, δεν προλαβαίνει να διηθηθεί στο έδαφος, με αποτέλεσμα να περιορίζεται σημαντικά ο εμπλουτισμός των φυσικών δεξαμενών του νερού.
- Εκμετάλλευση χωρίς να προηγείται η εκτίμηση της φυσικής αναπλήρωσης νερού, με αποτέλεσμα την υπερεκμετάλλευση.
- Μη αποτελεσματική πολιτική διαχείρισης υπόγειων νερών, με αποτέλεσμα :
 - Να υπάρχουν καλλιέργειες με μεγάλες απαιτήσεις νερού.
 - Να προωθείται η ανάπτυξη υδροβόρων δραστηριοτήτων (πχ ιδιωτικές πισίνες, γήπεδα γκολφ κ.λπ.).

Τα αποτελέσματα της υπεράντλησης των υπογείων υδάτων είναι η υποβάθμιση της ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασής τους. Οι επιπτώσεις της ποιοτικής υποβάθμισης των υπόγειων υδάτων είναι:

- Στην οικολογική κατάσταση των επιφανειακών υδάτων:
 - Μείωση της ροής των ποταμών και των πηγών.
 - Έμμεσες επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα.
- Στην οικολογική ποιότητα των χερσαίων οικοσυστημάτων που συνδέονται με αυτό το σύστημα υπόγειων υδάτων:
 - Υποβάθμιση των εδαφών.
 - Αύξηση του κινδύνου του φαινομένου της απερίμωσης σε ορισμένες περιοχές.
- Αύξησης της συγκέντρωσης των νιτρικών, λόγω μειωμένης φυσικής αναπλήρωσης
- Υφαλμύριση των υπογείων υδάτων

Με τον όρο υφαλμύριση υπογείων υδάτων, εννοείται η ύπαρξη όχι μόνο γλυκού, αλλά και αλμυρού νερού σε αυτά τα ύδατα. Το φαινόμενο της υφαλμύρισης παρατηρείται, κυρίως, στους

παράκτιους υδροφορείς, δηλαδή σε αυτούς που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα. Με την πτώση της στάθμης των υπογείων υδροφορέων, λόγω της υπεράντλησης, διευκολύνεται η διείσδυση του θαλάσσιου νερού στους υδροφορείς. Το αποτέλεσμα είναι πως το αλμυρό νερό αντικαθιστά ίσες ποσότητες γλυκού νερού. Η εισροή του αλμυρού νερού μπορεί να έχει μόνιμη ή συνηθέστερα, μη μόνιμη ροή. Η υφαλμύριση παράκτιων υδροφορέων μπορεί, επίσης, να οφείλεται και σε φυσικούς παράγοντες, όπως είναι η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Το πρόβλημα της υφαλμύρισης, στις περισσότερες περιπτώσεις, αναγνωρίζεται από τους υπεύθυνους υδρογεωλόγους και μηχανικούς. Η έκταση του φαινομένου της υφαλμύρισης είναι, συνήθως, δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί. Με την υφαλμύρισή του, ένας υδροφορέας δεν χρησιμεύει πλέον ως πηγή γλυκού νερού και μπορεί να καταστρέψει τις καλλιέργειες εάν χρησιμοποιείται για άρδευση. Το φαινόμενο της υφαλμύρισης δε μπορεί να θεωρηθεί αναστρέψιμο, για αυτό η αντιμετώπισή του συνδέεται πρακτικά με πρόβλεψη και με την ορθή διαχείριση των υπογείων υδάτων.[44]

2.7 Τάσεις που παρουσιάζουν τα φυσικά υδατικά αποθέματα

Τα επιφανειακά υδατικά αποθέματα χρησιμοποιούνται όλο και πιο εντατικά προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις σε πόσιμο νερό και η αυξανόμενη ζήτηση νερού βιομηχανικών και αρδευτικών εφαρμογών. Σημαντικές αρδευτικές χρήσεις επιφανειακών νερών έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση των κατάντη παροχών και την εντονότερη ποιοτική υποβάθμιση από διάθεση σημειακών ή μη ρυπαντικών φορτίων. Σε περιπτώσεις μακροχρόνιας έντονης άντλησης από υπόγειους υδροφορείς ενδέχεται να προκαλείται υποβάθμιση της ποιότητας του αποθέματος, όπως αύξηση της συγκέντρωσης σε σίδηρο, μαγγάνιο ή στα ολικά διαλυτά στερεά.

Από τη διάθεση επεξεργασμένων ή μη αστικών, βιομηχανικών και αγροτικών αποβλήτων ένα μέρος καταλήγει είτε άμεσα είτε έμμεσα σε φυσικά υδατικά αποθέματα. Έτσι, εισέρχονται βακτήρια, ιοί, θρεπτικά συστατικά, διαλυτά στερεά, ενώσεις που προκαλούν οσμή και γεύση κ.ά. Οι επιστρεφόμενες ροές από νερά άρδευσης προκαλούν σε μερικές περιπτώσεις σημαντική αύξηση των ολικών διαλυτών στερεών σε επιφανειακά ρεύματα ή σε υπόγειους υδροφορείς.

Η υπηρεσία ύδρευσης κάθε περιοχής πρέπει να φροντίζει να χρησιμοποιεί νερό από το καλύτερο διαθέσιμο υδατικό απόθεμα και να το υποβάλλει σε κατάλληλη επεξεργασία ώστε να διασφαλίζεται ότι θα είναι ασφαλές για ανθρώπινη χρήση καθώς και αισθητικά αποδεκτό από τους καταναλωτές.[46]

3. Ρύπανση των υδάτων

3.1 Ρύπανση των υπόγειων νερών

Για αρκετά χρόνια οι άνθρωποι θεωρούσαν ότι οι υπάρχοντες υδατικοί πόροι είναι άφθονοι και η ποιότητα του πόσιμου νερού δεν κινδυνεύει ιδιαίτερα. Όμως μετά το 1960 οι καταναλωτές σε όλο τον κόσμο άρχισαν να συνειδητοποιούν ότι οι υδατικοί πόροι μπορούν πολύ εύκολα να μολυνθούν από παθογόνους μικροοργανισμούς, οργανικά απόβλητα, ανόργανα χημικά, φυτικά θρεπτικά συστατικά, ραδιενεργά συστατικά ή ακόμα και από θερμική ρύπανση.

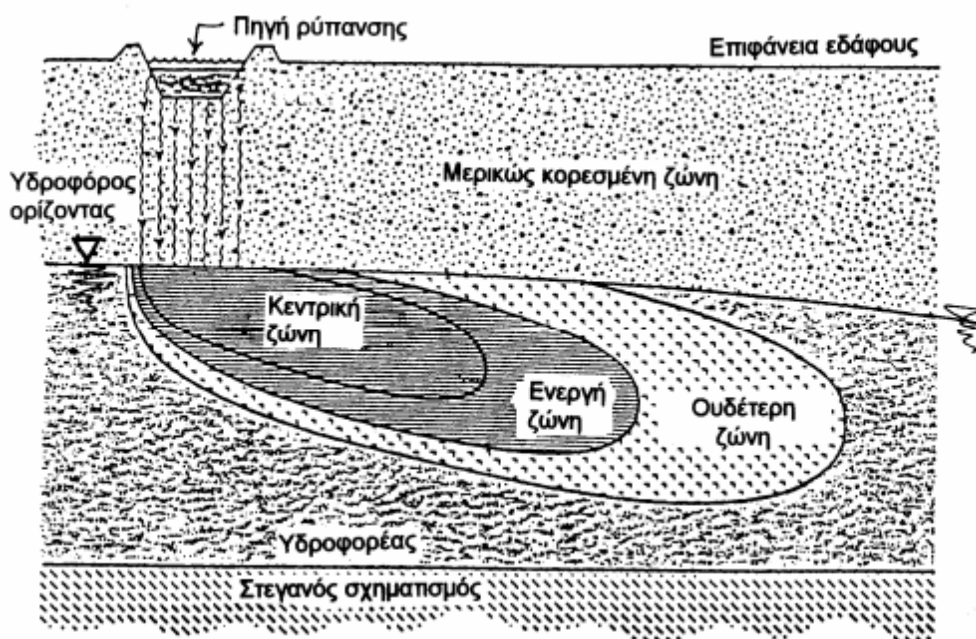
Ως ρύπανση θεωρείται η δυσμενής μεταβολή των φυσικοχημικών ή βιολογικών συνθηκών ενός συγκεκριμένου περιβάλλοντος ή και η βραχυπρόθεσμη ή μακροπρόθεσμη βλάβη στην ποιότητα ζωής και στην υγεία των ανθρώπων και των άλλων ειδών του πλανήτη. Η ρύπανση των

υπόγειων νερών προκαλείται από ανόργανες και οργανικές χημικές ουσίες και από μικροοργανισμούς. Όταν η ρύπανση οφείλεται σε κάποιον ή κάποιους μικροοργανισμούς ονομάζεται μόλυνση. Οι πιο συχνά παρατηρούμενες ουσίες που μπορεί να προκαλέσουν ρύπους είναι τα νιτρικά, τα χλωριούχα, τα θειικά ιόντα, τα βαρέα μέταλλα και τα οξέα.[5]

Η ρύπανση των υδατικών πόρων οφείλεται σε σημειακές ή μη σημειακές πηγές. Τις σημειακές πηγές μόλυνσης αποτελούν αγωγοί, βόθροι, εργοστάσια, διυλιστήρια, εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων, ορυχεία και πετρελαιοπηγές. Οι σημειακές πηγές βρίσκονται σε καθορισμένες θέσεις. Επομένως, τουλάχιστον θεωρητικά, όλες οι σημειακές πηγές εντοπίζονται και ελέγχονται από τις αρμόδιες αρχές αρκετά εύκολα. Οι μη σημειακές πηγές μόλυνσης δεν βρίσκονται σε συγκεκριμένες τοποθεσίες αλλά είναι αρκετά μεγάλες και απροσδιόριστες περιοχές όπως τα λιβάδια, οι αγροκαλλιέργειες και οι αυτοκινητόδρομοι. Οι πλέον συνηθισμένοι ρύποι που προέρχονται από σημειακές πηγές είναι φυτοφάρμακα, λιπάσματα, κοπριά και διάφορα άλατα.[5]

3.2 Μεταφορά των ρύπων στους υδροφορείς

Όταν οι ρύποι διαφύγουν από ένα χώρο διάθεσης αποβλήτων, μια δεξαμενή αποθήκευσης ή άλλο χώρο εγκιβωτισμού (σχήμα 3) κινούνται διαμέσου της μερικώς κορεσμένης ζώνης. Ένα μέρος των ρύπων συγκρατείται στην επιφάνεια των εδαφικών κόκκων είτε λόγω γεωχημικής εισρόφησης είτε λόγω μηχανικής συγκράτησης μέσω τριχοειδών δυνάμεων και το υπόλοιπο τελικώς φθάνει στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Οι διαλυμένοι στο νερό ρύποι που φθάνουν στον υδροφόρο ορίζοντα παρασύρονται από το υπόγειο νερό κατά την κίνησή του και μεταφέρονται προς τα κατάντη παρακολουθώντας ουσιαστικά την κίνηση του υπόγειου νερού. Κατά την κίνησή τους οι ρύποι υπόκεινται σε διάφορες μηχανικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που έχουν ως αποτέλεσμα την επέκταση της ρύπανσης, την αραίωση των ρύπων και την βαθμιαία εξασθένηση του ρυπαντικού φορτίου.[39]



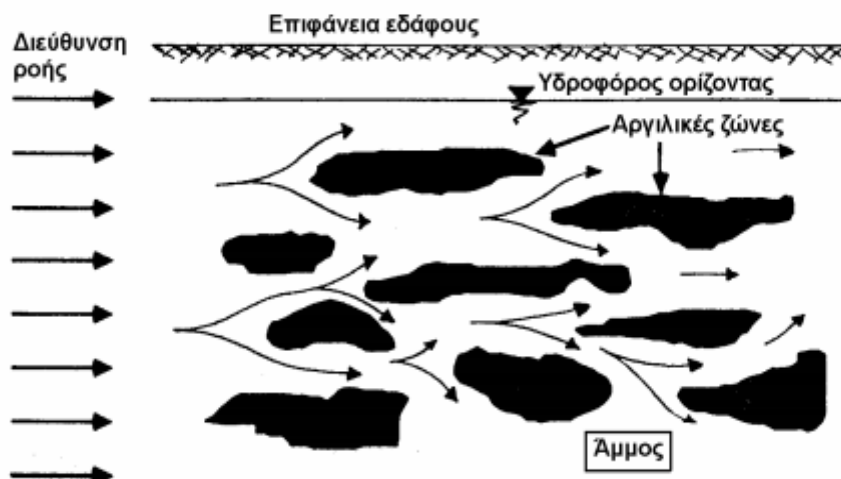
Σχήμα 3 Κίνηση ρύπων εντός του εδάφους[39]

3.3 Φυσικοί μηχανισμοί μεταφοράς ρύπων

Οι ρύποι μεταφέρονται είτε σε διάλυση είτε σε αιώρηση εντός του ύδατος των εδαφικών πόρων μέσω των ακόλουθων τριών μηχανισμών:

- ❶ **Μεταγωγή ή υδραυλική μεταφορά**, κατά την οποία ο ρύπος παρασύρεται από το υπόγειο νερό κατά την κίνησή του διαμέσου των πόρων λόγω υδραυλικής κλίσης (δηλαδή από περιοχές υψηλής ενέργειας προς περιοχές χαμηλής ενέργειας). Κατά τη μεταγωγή η συγκέντρωση του ρύπου σε μια συγκεκριμένη θέση γενικώς μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, καθώς από τη θέση αυτή διέρχονται συνεχώς νέα μόρια νερού στα οποία η συγκέντρωση του ρύπου γενικώς διαφέρει. Αντίθετα, κατά τη μεταγωγή η συγκέντρωση του ρύπου σε κάποιον συγκεκριμένο όγκο νερού δεν μεταβάλλεται καθώς ο όγκος αυτός μετακινείται παρακολουθώντας τη ροή, λόγω της αρχής διατηρήσεως της μάζας του ρύπου εντός του όγκου. Τέλος, αν δεν υπάρχει ροή του υπογείου νερού (δηλαδή αν η υδραυλική κλίση είναι μηδενική), η μεταγωγή δεν προκαλεί μεταφορά του ρύπου από θέση σε θέση.[4]
- ❷ **Διάχυση ή μοριακή διάχυση**, κατά την οποία ο ρύπος διαχέεται εντός του υπογείου νερού λόγω διαφοράς συγκέντρωσης από θέση σε θέση. Συγκεκριμένα, η κίνηση του ρύπου γίνεται από περιοχές υψηλής συγκέντρωσης προς περιοχές χαμηλής συγκέντρωσης, έως ότου τελικώς οι συγκεντρώσεις εξισωθούν παντού. Σύμφωνα με τον μηχανισμό αυτό, η διάχυση του ρύπου δεν εξαρτάται από την κίνηση του νερού, και συνεπώς διάχυση συμβαίνει ακόμη και στην περίπτωση που το νερό των πόρων ηρεμεί.[4]
- ❸ **Διασπορά ή μηχανική διασπορά**, κατά την οποία η κίνηση του ρύπου οφείλεται στην παρουσία αλληλοσυνδεδεμένων πόρων του εδαφικού σκελετού με τυχαίες διευθύνσεις και σχήματα. Έτσι, στην μικροκλίμακα των εδαφικών πόρων, η ταχύτητα κίνησης του νερού εντός των πόρων μεταβάλλεται ακανόνιστα με αποτέλεσμα να αποκλίνει σημαντικά από τη μέση ταχύτητα της υπόγειας ροής (σχήμα 4). αυτό έχει ως συνέπεια ο ρύπος που παρασύρεται από το νερό να διασπείρεται τόσο κατά μήκος όσο και εγκάρσια προς τη μέση διεύθυνση της κίνησης του υπογείου νερού. Επειδή το αποτέλεσμα της διάχυσης και της διασποράς είναι το ίδιο είναι το ίδιο μακροσκοπικά (δηλαδή στη κλίμακα του πεδίου ροής), στη μαθηματική ανάλυση της μεταφοράς των ρύπων τα δύο αυτά φαινόμενα αντιμετωπίζονται από κοινού. Για το συνδυασμένο μηχανισμό της διάχυσης και της διασποράς χρησιμοποιείται ο όρος υδροδυναμική διασπορά. Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι ενώ η διάχυση είναι μοριακό φαινόμενο, η διασπορά πρόκειται ουσιαστικά για μεταγωγή σε μικροσκοπική κλίμακα, δηλαδή στην κλίμακα των εδαφικών πόρων.[4]

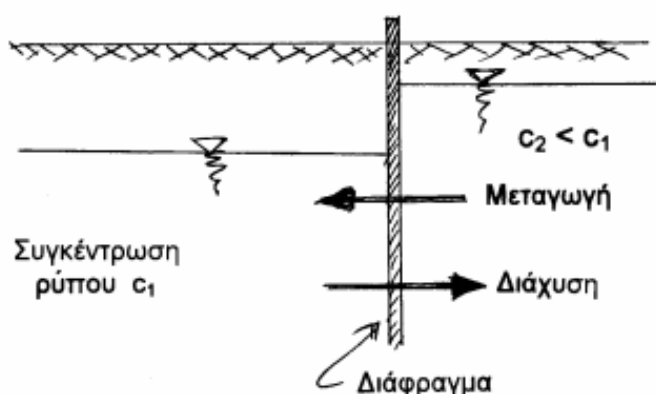
Συνήθως, οι ανωτέρω μηχανισμοί δρουν ταυτοχρόνως και βέβαια μπορούν να δράσουν και ανταγωνιστικά. Μια τέτοια περίπτωση παρουσιάζεται στο σχήμα 5, κατά την οποία ο μηχανισμός της μεταγωγής προκαλεί κίνηση του ρύπου από δεξιά προς τα αριστερά (δηλαδή από την περιοχή υψηλού υδραυλικού φορτίου προς την περιοχή χαμηλότερου υδραυλικού φορτίου), ενώ η μοριακή διάχυση προκαλεί κίνηση του ρύπου από αριστερά προς τα δεξιά (δηλαδή από την περιοχή υψηλής συγκέντρωσης του ρύπου προς την περιοχή χαμηλότερης συγκέντρωσης).



Σχήμα 4 Μηχανική διασπορά της ρύπανσης κατά την κίνηση του υπογείου νερού διαμέσου των εδαφικών πόρων[40]

Εκτός από τους ανωτέρω φυσικούς μηχανισμούς που διέπουν τη μεταφορά των ρύπων σε πορώδη υλικά, η μεταφερόμενη μάζα των ρύπων επηρεάζεται και από άλλες μη μηχανικές διεργασίες, που έχουν ως αποτέλεσμα τη βαθμιαία μείωση (υποβάθμιση) του ρυπαντικού φορτίου. Οι διεργασίες αυτές είναι οι εξής:

- **Βιολογικές και βιοχημικές διεργασίες**, όπως η αποσύνθεση των οργανικών ρύπων και η αποδόμηση ποικίλων ρύπων μέσω μικροοργανισμών αερόβιων αλλά και αναερόβιων.
- **Χημικές διεργασίες**, όπως η εισρόφηση ρύπων στην επιφάνεια των αργιλικών ορυκτών που αποτελούν τους εδαφικούς κόκκους, η ανταλλαγή ιόντων μεταξύ ρύπων και εδαφικών κόκκων και η καθίζηση, οξείδωση και αναγωγή ρύπων ανάλογα με τις υδρογεωχημικές συνθήκες του υπογείου νερού και των εδαφικών σχηματισμών.
- **Πυρηνικές διεργασίες**, όπως η βαθμιαία διάσπαση των ραδιενεργών ισοτόπων με την πάροδο του χρόνου.



Σχήμα 5 Ανταγωνιστική δράση των μηχανισμών μεταγωγής και διάχυσης ρύπων στο υπόγειο νερό[41]

3.4 Επιπτώσεις της ρύπανσης στην υγεία και στο περιβάλλον

Η υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων νερών προκαλείται από την ασυνήθιστα μεγάλη ποσότητα ανόργανων και οργανικών χημικών ουσιών και βιολογικών δεικτών που το καθιστούν

ακατάλληλο για μια σειρά από ωφέλιμες χρήσεις. Η παρουσία τοξικών ουσιών είναι από τα πιο σοβαρά προβλήματα όταν αυτό προορίζεται για οικιακές και αγροτικές ανάγκες. Το αρσενικό για παράδειγμα είναι δηλητήριο που επηρεάζει την υγεία των ανθρώπων, ενώ η περίσσεια βορίου είναι επιζήμια στις γεωργικές καλλιέργειες. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις, το φθόριο είναι ωφέλιμο και περιορίζει τη φθορά των δοντιών. Σε λίγο υψηλότερες συγκεντρώσεις, περίπου στα 2,5 mg/L, αυξάνει η βλαβερή οδοντική φθορίωση και σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις το φθόριο είναι τοξικό για τον άνθρωπο, καθώς προκαλεί καταστροφή των οστών. Στο πόσιμο νερό σπουδαίο κριτήριο ποιότητας είναι η παρουσία ή όχι παθογόνων για τον άνθρωπο μικροοργανισμών. Η παρουσία κολοβακτηριδίων που βρίσκονται σε μεγάλους αριθμούς στα περιττώματα των ανθρώπων και των ζώων, δείχνει πιθανή παρουσία και άλλων μικροοργανισμών που προκαλούν ασθένειες.[16]

Από τα μέταλλα ο χαλκός προκαλεί προβλήματα στο δέρμα και στους βλενογόνους, ο υδράργυρος προσροφάται από το γαστρεντερικό σύστημα και επηρεάζει το νευρικό σύστημα, το κάδμιο εισέρχεται από το αναπνευστικό και γαστρεντερικό σύστημα προκαλώντας πνευμονικό οίδημα, βήχα, δυσκολία στην αναπνοή και πόνους στο στήθος. Σύμφωνα με την U.S.EPA (Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του περιβάλλοντος), οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο πόσιμο νερό και των νερών υποστήριξης της υδρόβιας ζωής είναι:

Πίνακας 2 Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο πόσιμο νερό και στα νερά υποστήριξης της υδρόβιας ζωής[42]

Κατηγορία του νερού	Κάδμιο	Χρόμιο	Χαλκός	Μόλυβδος	Υδράργυρος	Ουράνιο
Πόσιμο νερό (μg/L)	5	100	1000	15	2	20
Νερό για την υδρόβια ζωή (μg/L)	12	100	20	100	0.005	-

Οι ανόργανες ενώσεις και τα άλατα που περιέχονται στο νερό άρδευσης παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον στην γεωργία σε ξηρά και ημίξηρα κλίματα. Τα κριτήρια ποιότητας που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη περίπτωση, έχουν σχέση με τα ολικά διαλυμένα στερεά, τα χλωριόντα, το νάτριο, το βόριο και τα όξινα ανθρακικά και τη σχέση νατρίου προς το άθροισμα ασβεστίου και μαγνησίου. Αν και το νερό με μικρή αλατότητα είναι κατάλληλο για άρδευση, υπάρχουν πολλές περιοχές στις οποίες το μόνο διαθέσιμο νερό περιέχει σημαντικές ποσότητες αλάτων ανά μονάδα όγκου. Οι μεγάλες ποσότητες νερού που εξατμίζονται από την επιφάνεια του εδάφους και η ελλιπής στράγγιση μπορούν να προκαλέσουν συσσώρευση αλάτων στη ζώνη των ριζών με αποτέλεσμα τη μείωση των αποδόσεων των καλλιεργειών. Η επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση του νερού για άρδευση είναι μια σοβαρή διαδικασία συσσώρευσης των αλάτων στα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά. Στον πίνακα 3 δίνεται μια κατάταξη των νερών ως προς την περιεκτικότητα σε άλατα και ολικά διαλυμένα άλατα, τη χρήση και την προέλευσή τους.[16]

Πίνακας 3 Κατάταξη των νερών ως προς την περιεκτικότητα σε άλατα, τη χρήση και την προέλευσή τους[41]

Κατηγορία νερού	EC (dS/m)	TDS (mg/L)	Κλάση νερού
Πόσιμο και αρδευτικό νερό	<0.7	<0.5	Γλυκό
Αρδευτικό νερό	0.7-2	0.5-1.5	Υφάλμυρο
Στραγγιστικό νερό δευτερευουσών τάφρων και υπόγειο	2-10	1.5-7	Μέσης αλατότητας
Στραγγιστικό νερό δευτερευουσών τάφρων και υπόγειο	10-20.5	7-15	Υψηλής αλατότητας
Πολύ αλατούχο νερό	20-45	15-35	Πολύ αλατούχο
θαλασσινό	>45	>35	Αλμυρό

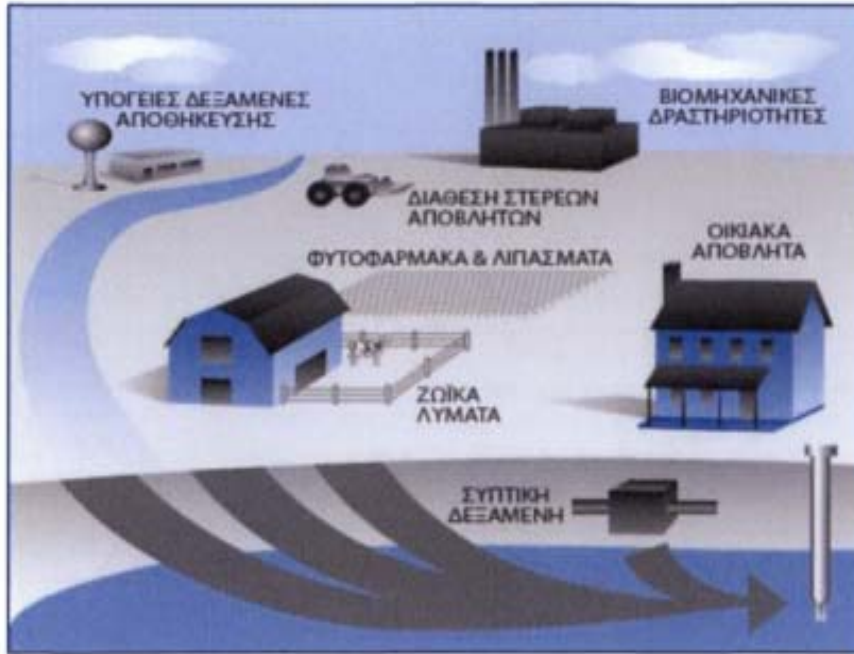
Η ρύπανση από τις οργανικές χημικές ενώσεις αναφέρεται στα παράγωγα του πετρελαίου, τις φαινολικές ενώσεις και τα φυτοφάρμακα. Η βενζίνη και οι άλλοι υδρογονάνθρακες προέρχονται από τη διαρροή δεξαμενών, από ρωγμές στους αγωγούς μεταφοράς ή από το πλύσιμο των δαπέδων των διυλιστηρίων και πρατηρίων υγρών καυσίμων. Οι φαινόλες που βρίσκονται στα απόβλητα των διυλιστηρίων ή χημικών βιομηχανιών, φθάνουν στα υπόγεια νερά σε συγκεντρώσεις λίγων μικρογραμμαρίων στο λίτρο. Τα φρεάτια πόσιμου νερού που έχουν ρυπανθεί με τα παράγωγα του πετρελαίου ή με φαινόλες είναι προτιμότερο να εγκαταλείπονται, παρά να γίνεται προσπάθεια αποκατάστασής τους. Τα φυτοφάρμακα μπορούν να εκπλυθούν προς τα υπόγεια νερά με την άρδευση σε περίσσεια ή με τις βροχοπτώσεις και όταν δεν αποικοδομούνται μπορεί να επανεμφανιστούν στα φρεάτια άρδευσης ή του πόσιμου νερού που βρίσκονται κοντά σε καλλιεργούμενες εκτάσεις.

Όταν τα υπόγεια νερά χρησιμοποιούνται για οικιακές χρήσεις, τα προβλήματα υγείας που σχετίζονται με τη μόλυνση τους παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Ο πιο συνηθισμένος κίνδυνος είναι η βρεφική μεθαιμογλοβιναιμία που προκαλείται από υψηλή συγκέντρωση νιτρικών στο νερό. Ορισμένες χημικές ενώσεις μπορεί να προκαλέσουν καρκινογένεσεις. Το αρσενικό, το κάδμιο και ο μόλυβδος προκαλούν ορισμένες ασθένειες, ενώ η μολυσματική ηπατίτιδα αποδίδεται σε παθογόνους μύκητες.[16]

3.5 Πηγές ρύπανσης

Οι σπουδαιότερες πηγές ρύπανσης, οι οποίες επιβαρύνουν αρχικά τα επιφανειακά νερά και στη συνέχεια τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, μπορεί να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες:

- **Βιομηχανικά υγρά απόβλητα**, που μπορεί να είναι παρόμοια με τα αστικά λύματα ή να περιέχουν και επικίνδυνα ή και τοξικά στοιχεία.
- **Γεωργικά υγρά απόβλητα**, τα νερά απορροής εντατικά καλλιεργούμενων εκτάσεων που μπορεί να περιέχουν λιπάσματα ή και φυτοφάρμακα.
- **Αστικά λύματα**, ακάθαρτα νερά πόλεων και οικισμών που προέρχονται από τις κατοικίες και διάφορες άλλες δραστηριότητες (σχολεία, πανεπιστήμια, δημόσιες επιχειρήσεις, χώροι εργασίας, τουριστικές μονάδες, νοσοκομεία, βιοτεχνίες κ.ά.).
- **Ραδιενεργές ουσίες**
- **Φυσικές διεργασίες**



Εικόνα 5 Πηγές ρύπανσης υπόγειων νερών[5]

3.5.1 Ρύπανση από βιομηχανικές δραστηριότητες

Η ρύπανση των υπόγειων νερών από βιομηχανικές δραστηριότητες χαρακτηρίζεται από την τεράστια ποικιλία οργανικών και ανόργανων ουσιών και ενώσεων που μπορούν να χαρακτηρισθούν ως ρύποι. Γενικά διακρίνονται τρεις ομάδες πηγών ρύπανσης:

- Απόβλητα από διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες που διατίθενται στον αέρα, το έδαφος, τα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά. Τα υγρά απόβλητα αποτελούνται συνήθως από υψηλές συγκεντρώσεις διάφορων αλάτων, μπορεί όμως να είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα οξέα ή οργανικές ενώσεις. Ο πιο κοινός τρόπος διάθεσής τους είναι απευθείας σε επιφανειακές δεξαμενές, λεκάνες ή βαθιά πηγάδια. Τα στερεά απόβλητα κατά κανόνα διατίθενται σε ειδικούς χώρους ταφής, απ' όπου όμως οι ρύποι διασταλάζουν με τη βοήθεια του διηθούμενου νερού της βροχής ή των υγρών αποβλήτων που πιθανών διατίθενται στον ίδιο χώρο. Για αυτό και η Οδηγία 99/31/ΕΕ θέτει συγκεκριμένες προδιαγραφές και απαιτήσεις για τη μόνωση του πυθμένα των χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.[5]
- Οι διαρροές αφορούν κυρίως στους αγωγούς μεταφοράς και στις δεξαμενές αποθήκευσης ρευστών (πχ πετρελαιοειδή ή διάφορα χημικά προϊόντα). Οι διαρροές από αγωγούς μπορούν να χαρακτηρισθούν και ως ατυχήματα, εφόσον η διάρκειά τους είναι μικρή.
- Η ρύπανση από ατυχήματα, εκτός των διαρροών από αγωγούς, προκαλείται και από τη μεταφορά χημικών ή πετρελαιοειδών με φορτηγά ή τρένα που ανατρέπονται ή εκτροχιάζονται αντίστοιχα. Επειδή ο άμεσος κίνδυνος στις περιπτώσεις αυτές αφορά στη φωτιά και στις εκρήξεις, η πρώτη επέμβαση μετά από κάθε τέτοιο ατύχημα είναι η έκπλυση της περιοχής με μεγάλες ποσότητες νερού. Συνέπεια όμως της διαδικασίας αυτής είναι η ταυτόχρονη μεταφορά νερού και ρύπων μέσω των στραγγιστικών συστημάτων στο έδαφος απ' όπου διηθούνται στους υποκείμενους υδροφορείς.[5]

Τα χαρακτηριστικά των ρύπων που προέρχονται από βιομηχανικές δραστηριότητες διαφοροποιούνται ανάλογα με το αν πρόκειται για ανόργανα στοιχεία ή οργανικές ενώσεις. Στην πρώτη κατηγορία κυριαρχούν τα μέταλλα, παρόλο που συνήθως βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις, είναι επικίνδυνα γιατί η τοξικότητα ορισμένων από αυτά είναι πολύ υψηλή. Ακόμα, στην ίδια κατηγορία ανήκουν διάφορα άλατα μικρής ή μεγάλης τοξικότητας, οξέα και βάσεις. Στην κατηγορία των οργανικών ενώσεων, που προέρχονται τόσο από βιομηχανικά απόβλητα, όσο και από διαρροές και ατυχήματα, μπορεί κανείς να καταμετρήσει χιλιάδες βλαβερών ουσιών. Οι πιο επικίνδunami είναι αυτοί που προέρχονται από βιομηχανίες εντομοκτόνων και φυτοφαρμάκων, ενώ εδώ ανήκουν και όλα τα πετρελαιοειδή που έχουν το κοινό χαρακτηριστικό ότι είναι αδιάλυτα στο νερό. Τέλος, οι οργανικές ενώσεις από άλλες βιομηχανίες (πχ επεξεργασίας τροφίμων, χαρτιού), αποτελούν σημαντικό ποσοστό του συνόλου των διατιθέμενων στο έδαφος ρύπων, όμως η μόνη ίσως συνέπεια που έχει η διάθεσή τους στο έδαφος είναι η αύξηση του οργανικού του φορτίου.[5]

3.5.2 Ρύπανση από αγροτικές δραστηριότητες

Το πιο χαρακτηριστικό στοιχείο της ρύπανσης από αγροτικές δραστηριότητες είναι ότι στις περισσότερες περιπτώσεις είναι κατανεμημένη στον χώρο, σε αντίθεση με τον σημειακό χαρακτήρα των άλλων πηγών. Από τια αγροτικές γενικά δραστηριότητες, ρύπανση του υπόγειου νερού προκαλούν τα ζωικά λύματα, τα άλατα των αρδεύσεων και τα διάφορα χημικά (φυτοφάρμακα, λιπάσματα, ζιζανιοκτόνα) που εφαρμόζονται στους αγρούς. Στην τελευταία κατηγορία ανήκουν οι οργανικές και ανόργανες ενώσεις του αζώτου, του φωσφόρου και του καλίου που υπάρχουν στα εμπορικά λιπάσματα καθώς και τα εντομοκτόνα και τα ζιζανιοκτόνα. Μικρής έκτασης, δηλαδή σημειακή, ρύπανση μπορεί να προκληθεί από δραστηριότητες τοπικού χαρακτήρα, που αφορούν στη διάθεση αποβλήτων, ζωικών, γεωργοχημικών ή φυτικών, ή από την αποθήκευση διάφορων χημικών ουσιών, λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. [5]

Σήμερα, ο μεγαλύτερος κίνδυνος για τα υπόγεια νερά, που προέρχεται από αγροτικές δραστηριότητες, αφορά στα λιπάσματα και μάλιστα στα αζωτούχα. Αυτό οφείλεται στην τεράστια διάδοση και έκταση της εφαρμογής τους, που έχει ως στόχο την αύξηση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών. Στον πίνακα 4, αναφέρονται τα προβλήματα που δημιουργούνται από ενέργειες γεωργικής χρήσης.

Πίνακας 4 Προβλήματα από ενέργειες γεωργικής χρήσης[5]

Γεωργική μέθοδος	Προβλήματα
Μηχανική καλλιέργεια	Ιζηματογένεση (ζημιά φυσικά και χημικά)
Οργανικά λιπάσματα	Βαρέα μέταλλα, παθογόνοι μικροοργανισμοί
Φυτοφάρμακα	Δυσλειτουργία οικοσυστημάτων Τοξικότητα στην τροφική αλυσίδα του ανθρώπου Έκπλυση στους υπόγειους υδροφορείς Μεταφορά ρυπασμένων εδαφικών

	τεμαχιδίων με τον αέρα
Άρδευση	Απορροή ή έκπλυση αλάτων Έκπλυση θρεπτικών ή αλάτων στους υπόγειους υδροφορείς
Λίπανση	Απορροή φωσφορικών και αζωτούχων λιπασμάτων Ευτροφισμός Έκπλυση νιτρικών
Αλλαγή χρήσης γης	Διάβρωση Ιζηματογένεση

3.5.3 Ρύπανση από αστικές και οικιακές δραστηριότητες

Δύο είναι οι τύποι ρύπανσης των υπόγειων νερών που προέρχονται από αστικές και οικιακές δραστηριότητες, τα στερεά απορρίμματα και τα αστικά λύματα. Επιπλέον αν τα επεξεργασμένα κατάλοιπα των δύο αυτών κατηγοριών διατίθενται στο έδαφος, τότε εμφανίζεται και ένας τρίτος τύπος ρύπανσης από την ίδια πηγή. Αν τα στερεά απορρίμματα διατίθενται ανεπεξέργαστα σε ανοιχτούς λάκκους στο έδαφος ο κίνδυνος για ρύπανση των υπόγειων νερών από τα διασταλάζοντα νερά είναι άμεσος. Διάφορες σύγχρονες τεχνικές υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων αναπτύχθηκαν ακριβώς για να μειωθεί αυτή η επικινδυνότητα. Όσον αφορά στα αστικά λύματα, οι κίνδυνοι που δημιουργούνται, όχι μόνο από την απευθείας διάθεσή τους στο έδαφος αλλά και από τη διάθεση της λάσπης των επεξεργασμένων καταλοίπων τους, αφορούν μικροβιακής και χημικής προέλευσης επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Σημαντικό είναι ότι στην κατηγορία των αστικών λυμάτων περιλαμβάνονται τόσο αυτά των συλλογικών δικτύων όσο και αυτά των μεμονωμένων κατοικιών, που διατίθενται στο έδαφος μέσω των βόθρων. Τέλος, στην κατηγορία των αστικών δραστηριοτήτων συμπεριλαμβάνονται και τύποι ρύπανσης που αφορούν σε χημικές ουσίες που διαρρέουν μέσω των οδοστρωμάτων (κυρίως από ατυχήματα, σε χρήση αλατιού για ξεπάγωμα δρόμων, σε διαρροές των αγωγών αποχέτευσης κ.ά.[5]

3.5.4 Ρύπανση από ραδιενεργές ουσίες

Η πηγή προέλευσης της ρύπανσης που χαρακτηρίζει την κατηγορία αυτή είναι η βιομηχανία που σχετίζεται με την ατομική ενέργεια και τις κάθε μορφής πυρηνικές τεχνολογίες. Εξ ορισμού η ρύπανση αυτή αφορά σε ραδιενεργές ουσίες που βρίσκονται στο υπόγειο νερό και που σε αντίθεση με τις υπόλοιπες κατηγορίες, είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία ακόμα και σε πολύ μικρές τιμές των συγκεντρώσεών τους. Οι πιο σημαντικές πηγές της κατηγορίας αυτής είναι:

- Η ύπαρξη στο υπόγειο νερό ραδιενεργών ουσιών ή στοιχείων φυσικής προέλευσης.
- Αστοχίες δοκιμών ατομικών όπλων
- Ειρηνικές χρήσεις της ατομικής ενέργειας

Γενικά για το περιβάλλον ο μεγαλύτερος κίνδυνος προέρχεται από τους πυρηνικούς αντιδραστήρες και τις αντίστοιχες βιομηχανίες. Ειδικά για τα υπόγεια νερά το υπ' αριθμόν ένα πρόβλημα αποτελεί η διάθεση των ραδιενεργών αποβλήτων στο έδαφος. Η διάθεση αυτή πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη μελέτη και προσοχή ώστε να μη συνιστά πηγή κινδύνων για τις ανθρώπινες δραστηριότητες στο μέλλον.[5]

3.5.5 Ρύπανση από φυσικές διεργασίες

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται περιστατικά ρύπανσης υπόγειων νερών που η πηγή προέλευσής τους μπορεί να είναι μια από τις εξής:

- Διείσδυση θαλασσινού νερού
- Ρύποι της ατμόσφαιρας
- Επαγωγικός εμπλουτισμός υδροφορέων με ακάθαρτα επιφανειακά νερά
- Θερμική ρύπανση
- Τεχνητός εμπλουτισμός

Η διείσδυση θαλασσινού νερού αποτελεί έναν τύπο ρύπανσης που προκαλείται κυρίως από υπεραντλήσεις παράκτιων υδροφορέων και συνεπώς είναι ανθρωπογενούς προέλευσης. Επειδή όμως διάφορα κλιματικά και γεωλογικά φαινόμενα και μεταβολές σε παλιότερες γεωλογικές περιόδους είχαν ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση αλάτων σε σχηματισμούς που σήμερα αποτελούν εκμεταλλεύσιμους υδροφορείς και γενικά το φαινόμενο της διείσδυσης θαλασσινού νερού σε παράκτιους υδροφορείς είναι ένα μάλλον φυσικό φαινόμενο, γίνεται αποδεκτή η ταξινόμηση του στην κατηγορία αυτή. Πρόκειται ίσως για τον σημαντικότερο τύπο ρύπανσης φυσικής προέλευσης, ειδικά για την Ελλάδα που έχει ένα τεράστιο μήκος ακτών κατά μήκος των οποίων έχουν αναπτυχθεί πολλοί οικισμοί, χωριά ή πόλεις.

Η ρύπανση των υπόγειων νερών από ρύπους που υπάρχουν γίνεται μέσω των σταγόνων της βροχής. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις αποτελούν ρύποι κυρίως ανθρωπογενούς προέλευσης, όπως οι αέριες εκπομπές βιομηχανιών, τα καυσαέρια καθώς και διάφορες μορφές αστικών πηγών (καυστήρες θέρμανσης κατοικιών).

Ακόμα, ο επαγωγικός εμπλουτισμός από επιφανειακούς αποδέκτες, όπως ποτάμια ή λίμνες, που συνδέονται υδραυλικά με αυτούς, έχει ως συνέπεια τη μεταφορά ρύπων από τα επιφανειακά στα υπόγεια νερά. Οι ρύποι αυτοί είναι συνήθως οργανικές και ανόργανες ενώσεις αλλά μπορεί να είναι και βακτήρια ή ιοί. Ο τύπος αυτής της ρύπανσης εμφανίζει έξαρση κυρίως σε περιοχές με βαριά βιομηχανία.

Τέλος, η θερμική ρύπανση των υπόγειων νερών καθώς και η ρύπανση από τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφορέων είναι δύο τύποι ρύπανσης μικρής συνήθως έκτασης.[5]

4. Ποιοτικά χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού

Το νερό αποτελεί βασικό στοιχείο για τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη. Τόσο το υπόγειο νερό όσο και το επιφανειακό νερό (λίμνες, ποτάμια) χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση. Το νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση, πρέπει να είναι από κάθε άποψη αβλαβές για την υγεία των ανθρώπων και απολύτως καθαρό, απαλλαγμένο από παθογόνους μικροοργανισμούς και οποιεσδήποτε ουσίες σε αριθμούς και συγκεντρώσεις που αποτελούν ενδεχόμενο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Με βάση τα ποιοτικά χαρακτηριστικά προσδιορίζεται ο βαθμός, τα στάδια και οι μέθοδοι επεξεργασίας του, όταν αυτό προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού μπορούν να διακριθούν σε φυσικοχημικά, βιοχημικά και μικροβιολογικά (πίνακας 5).

Στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά ανήκουν η θερμοκρασία, η οξύτητα, η αλκαλικότητα, η αγωγιμότητα, η αλατότητα, η θολερότητα, η οσμή, η γεύση, το χρώμα, οι στερεές ουσίες, διάφορα άλατα, η σκληρότητα του νερού, διάφορα κατιόντα όπως αυτά του ασβεστίου (Ca^{2+}), του μαγνησίου (Mg^{2+}), του νατρίου (Na^+) και του καλίου (K^+), διάφορα ανιόντα όπως τα ανθρακικά (CO_3^{2-}), τα όξινα ανθρακικά (HCO_3^-), τα χλωριούχα (Cl^-), τα θειικά (SO_4^{2-}), τα θρεπτικά συστατικά όπως τα άλατα του αζώτου (αμμωνιακά NH_4^+ , νιτρώδη NO_2^- , νιτρικά NO_3^-),

τα άλατα του φωσφόρου (PO_4^{3-}), του θείου (S) και του πυριτίου (Si), διάφορα ιχνοστοιχεία και τα βαριά μέταλλα όπως ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg), το κάδμιο (Cd) και το χρώμιο (Cr).[32]

Στα βιοχημικά χαρακτηριστικά του νερού ανήκει το διαλυμένο οξυγόνο (D.O), η οργανική ύλη, ουσίες δηλαδή οι οποίες προσδιορίζονται με το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) και τον ολικό οργανικό άνθρακα (TOC).

Στα μικροβιολογικά χαρακτηριστικά ανήκουν οι μικροοργανισμοί, δηλαδή τα βακτήρια, οι ιοί, οι μύκητες, τα φύκια, τα πρωτόζωα, οι έλμινθες (σκουλήκια) και τα μαλακόστρακα.[32]

Πίνακας 5 Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού[32]

Ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού	Παράμετρος
Φυσικοχημικά	Θερμοκρασία
	Οξύτητα (pH)
	Αλκαλικότητα
	Αγωγιμότητα και αλατότητα
	Θολερότητα
	Οσμή και γεύση
	Χρώμα
	Στερεές ουσίες
	Άλατα και σκληρότητα
	Διάφορα κατιόντα (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+)
	Διάφορα ανιόντα (Cl^- , F^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-})
	Ιχνοστοιχεία – Βαρέα μέταλλα
	Βιοχημικά
Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)	
Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)	
Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)	
Μικροβιολογικά	Ολικά κολοβακτηριοειδή (Total Coliforms)
	Κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή (Fecal Coliforms)
	Κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι (Fecal streptococci)

Σχετική νομοθεσία

Η πιο πρόσφατη κοινή υπουργική απόφαση, ΚΥΑ 3282/2017 αναφέρεται στην “Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης” σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 98/93/EK, του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της 3^{ης} Νοεμβρίου 1998. Η συγκεκριμένη Κοινή Υπουργική Απόφαση έχει στόχο τη προστασία της ανθρώπινης υγείας από τις δυσμενείς επιπτώσεις που οφείλονται στη ρύπανση ή στη μόλυνση του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης διασφαλίζοντας ότι αυτό είναι υγιεινό και καθαρό.

Ως “νερό ανθρώπινης κατανάλωσης” νοείται το νερό, είτε στη φυσική του κατάσταση είτε μετά από επεξεργασία, που προορίζεται για πόση, μαγείρεμα, παρασκευή 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. Το νερό, επίσης, που χρησιμοποιείται στις επιχειρήσεις παραγωγής τροφίμων για την παρασκευή, επεξεργασία, συντήρηση ή εμπορία προϊόντων ή ουσιών, που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση.

Οι παραμετρικές τιμές για τον έλεγχο του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία και σύμφωνα με στοιχεία της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (WHO) και της Ευρωπαϊκής Ένωσης παρατίθενται παρακάτω.[4]

ΟΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ:

A. Οργανοληπτικές παράμετροι[4]

a/a	Παράμετρος	Έκφραση των αποτελεσμάτων	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση
1	Χρώμα	Mg/L κλίμακα Pt/Co m δίσκου Secchi	1 6	20 2
2	Θολρότητα	Mg/L SiO ₂ Μονάδες Jackson	1 0,4	10 4
3	Οσμή	Ποσοστό διαλύσεως	0	2 μέχρι 12 °C 3 μέχρι 25 °C
4	Γεύση	Ποσοστό διαλύσεως	0	2 μέχρι 12 °C 3 μέχρι 25 °C

B. Φυσικοχημικές παράμετροι[4]

a/a	Παράμετρος	Έκφραση των αποτελεσμάτων	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση
5	Θερμοκρασία	°C	12	25
6	pH	-	6,5 < pH < 8,5	9,5
7	Αγωγιμότητα	Ms/cm, 20 °C	400	2500
8	Διαλυμένο οξυγόνο	% O ₂ κορεσμού	-	> 70
9	Θειικά ιόντα	mg/L	25	250
10	Χλωριόντα	mg/L	25	200
11	Ασβέστιο	mg/L	100	
12	Μαγνήσιο	mg/L	30	50
13	Ολική Σκληρότητα	mg/L Ca	-	
14	Κάλιο	mg/L	10	12
15	Νάτριο	mg/L	20	200
16	Ξηρό υπόλειμμα	mg/L; 180 °C	-	1500
17	Αργίλιο	mg/L	0,05	0,2
18	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο BOD ₅	mg/L O ₂	-	< 3
19	Πυρίτιο	mg/L	-	

Γ. Παράμετροι που αφορούν ανεπιθύμητες ουσίες[4]

α/α	Παράμετρος	Έκφραση των αποτελεσμάτων	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση
20	Νιτρικά	mg/L	25	50
21	Νιτρώδη	mg/L	-	0,1
22	Αμμωνιακά ιόντα	mg/L	0,05	0,5
23	Άζωτο Kjeldahl	μg/L	-	1
24	Οξειδωσιμότης (KMnO ₄)	mg/L	2	5
25	Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	mg/L	-	Άνευ ασυνήθους μεταβολής
26	Υδρόθειο	μg/L	-	Μη ανιχνεύσιμο οργανοληπτικά
27	Φαινόλες	μg/L	-	0,5
28	Ύλες εν αιώρηση	-	-	Απουσία
29	Βόριο	μg/L	1000	-
30	Σίδηρος	μg/L	50	200
31	Επιφανειακά ενεργές ουσίες που αντιδρούν με κυανούν του μεθυλίου	mg/L	0,2	-
32	Μαγγάνιο	μg/L	20	50
33	Χαλκός	μg/L	-	100
34	Φώσφορος	μg/L	400	5000
35	Διαλυμένοι ή γαλακτοποιημένοι υδρογονάνθρακες (μετά από εκχείλιση με πετρελαϊκό αιθέρα)	μg/L	-	0,05
36	Φθόριο	μg/L	-	1500, 8 – 12 °C 700, 25 – 30 °C
37	Κοβάλτιο	μg/L	-	
38	Ψευδάργυρος	μg/L	-	100
39	Χλώριο υπολειμματικό	μg/L		
40	Ύλες που εκχειλίζονται με χλωροφόρμιο	mg/L	0,1	-
41	Τετραχλωροαιθέριο και Τριχλωροαιθέριο	μg/L	-	10
42	Βάριο	μg/L	100	-
43	Άργυρος	μg/L	-	10

Δ. Παράμετροι που αφορούν τοξικές ουσίες[4]

α/α	Παράμετρος	Έκφραση των αποτελεσμάτων	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση
44	Αρσενικό	μg/L	-	50
45	Βηρύλλιο	μg/L		
46	Κάδμιο	μg/L	-	5
47	Κυανιούχα	μg/L	-	50
48	Χρώμιο	μg/L	-	50
49	Σελήνιο	μg/L	-	10
50	Αντιμόνιο	μg/L	-	10
51	Παρασιτοκτόνα Σύνολα παρασιτοκτόνων	μg/L	-	0,1 0,5
52	Μόλυβδος	μg/L	-	50
53	Νικέλιο	μg/L	-	50
54	Υδράργυρος	μg/L	-	1
55	Βανάδιο	μg/L	-	
56	Βενζόλιο	μg/L	-	1
57	Βενζο-α- Πυρένιο	μg/L	-	0,01
58	Αρωματικοί πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες	μg/L	-	0,1
59	Ακρυλαμίδιο	μg/L	-	0,1
60	Επιγλωρυδρίνη	μg/L	-	0,1

Ε. Μικροβιολογικές παράμετροι[4]

α/α	Παράμετρος	Έκφραση των αποτελεσμάτων	Ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση
61	Ολικά κολοβακτήρια	Αποικίες/100 ml	0
62	Κοπρανώδη κολοβακτήρια	Αποικίες/100 ml	0
63	Στρεπτόκοκκοι κοπράνων	Αποικίες/100 ml	0

4.1 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

4.1.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι η παράμετρος που εμπλέκεται σε όλες τις φυσικοχημικές και τις βιοχημικές αντιδράσεις. Οι βιοχημικές αντιδράσεις εκτελούνται με ταχύτερο ρυθμό σε υψηλές θερμοκρασίες. Η διάθεση θερμών υγρών αποβλήτων σε φυσικούς αποδέκτες επηρεάζει άμεσα το

οικοσύστημα γιατί η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό εξαρτάται από τη θερμοκρασία, καθώς είναι λιγότερο διαλυτό στο θερμό απ'ότι στο ψυχρό νερό. Εάν αυξηθεί η θερμοκρασία του αποδέκτη μειώνεται το ποσοστό του διαλυμένου οξυγόνου και το θερμό νερό ως ελαφρύτερο παραμένει στην επιφάνεια, δημιουργώντας ένα θερμότερο στρώμα με μικρότερη ικανότητα διάλυσης του ατμοσφαιρικού οξυγόνου. Οι υψηλές θερμοκρασίες συντελούν και στην αύξηση του πολλαπλασιασμού των μικροοργανισμών.[32]

4.1.2 Οξύτητα (pH)

Οξύτητα ονομάζεται, η ικανότητα του νερού να εξουδετερώνει ορισμένη ποσότητα OH^- . Η οξύτητα του νερού εξαρτάται από:

- Τη θερμοκρασία
- Την αλατότητα
- Τη συγκέντρωση του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα
- Τη μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών (φωτοσύνθεση, αναπνοή)
- Τη χημική αποσύνθεση των οργανικών ουσιών

Η οξύτητα επηρεάζει πολλές βιολογικές και χημικές αντιδράσεις και πολλές φορές χρησιμεύει σαν δείκτης ρύπανσης. Τα φυσικά νερά έχουν τιμές pH που κυμαίνονται μεταξύ 4 και 9 ενώ τιμές 6,5-8,5 είναι οι καταλληλότερες για τους υδρόβιους οργανισμούς.

Η μέτρηση του pH είναι μία από τις σημαντικότερες μετρήσεις κατά την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού. Στο παρελθόν, οι μετρήσεις γίνονταν χρωματομετρικά, δηλαδή με την βοήθεια δεικτών (ουσίες που αλλάζουν χρώμα σε διαφορετικές τιμές του pH), σήμερα όμως με την εμφάνιση και ανάπτυξη των ηλεκτροδίων υάλου και διαφόρων ρητινών, το pH μετράται εύκολα με σύγχρονα αναλογικά ή ψηφιακά πεχάμετρα. [32]

4.1.3 Αλκαλικότητα

Η αλκαλικότητα είναι η ικανότητα του νερού να εξουδετερώνει οξέα. Η αλκαλικότητα αποτελεί σημαντική παράμετρο ελέγχου ποιότητας και εκφράζει την αναγκαία ποσότητα HCl για την εξουδετέρωση δείγματος νερού. Οι κύριες συνιστώσες της είναι τα όξινα ανθρακικά (HCO_3^-) και τα ανθρακικά (CO_3^{2-}) ιόντα που προκύπτουν από τον ιονισμό του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και από τα υδροξύλια (OH^-). Το διοξείδιο του άνθρακα διαλύεται εύκολα στο νερό συμβάλλοντας στη διαμόρφωση ενός περιβάλλοντος κατάλληλου για τη ζωή, δεδομένου ότι συμμετέχει στις διαδικασίες της φωτοσύνθεσης και της αναπνοής και αποτελεί ουσιαστική πηγή άνθρακα για τις ενεργειακές απαιτήσεις των οργανισμών. Αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 στα φυσικά νερά προκαλεί μείωση του pH και αντίστροφα. [32]

Ο προσδιορισμός της αλκαλικότητας είναι μια μέτρηση, απαραίτητη στον έλεγχο των πόσιμων υδάτων και των υδάτων που προορίζονται για βιομηχανική χρήση ή άρδευση. Για τον προσδιορισμό της αλκαλικότητας, τιτλοδοτείται ορισμένη ποσότητα δείγματος με σταθερής κανονικότητας διάλυμα οξέος, παρουσία δείκτη ή με πεχάμετρο.

4.1.4 Αγωγιμότητα και αλατότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η ικανότητα ενός υλικού να διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού αναφέρεται στην ικανότητα του να μεταφέρει ηλεκτρικά φορτία. Η ικανότητα αυτή εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, την συγκέντρωσή τους, το

σθένος, την ευκινησία αλλά και από τη θερμοκρασία του διαλύματος. Η αγωγιμότητα διευκολύνει την εκτίμηση της επίδρασης των διαφόρων ιόντων στις χημικές ισορροπίες, στο ρυθμό διάβρωσης στα μέταλλα, καθώς και στην ανάπτυξη των φυτών και ζώων. Την ποιότητα των φυσικών νερών μαρτυρούν οι τιμές της αγωγιμότητας. Απότομη αύξηση της αγωγιμότητας του νερού ενός φυσικού αποδέκτη αποτελεί ένδειξη ρύπανσης.

Σε ένα υδατικό διάλυμα, η αγωγιμότητα είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων στο νερό. Έτσι λοιπόν, όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση των αλάτων τόσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα. Τα διαλύματα των περισσότερων ανόργανων οξέων και βάσεων και όλων των αλάτων είναι σχετικά καλοί αγωγοί του ρεύματος. Αντίθετα, τα μόρια των οργανικών ενώσεων που δεν δίστανται όταν διαλυθούν στο νερό, άγουν ελάχιστα ή καθόλου το ηλεκτρικό ρεύμα. Οι μονάδες μέτρησης της αγωγιμότητας είναι τα Siemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$ ή mho/cm) και ο προσδιορισμός της γίνεται με τη βοήθεια αγωγιμόμετρου. [32]

4.1.5 Θολερότητα

Η θολερότητα, οφείλεται σε αιωρούμενα σωματίδια από οργανικές ενώσεις, φυτικούς ή ζωικούς οργανισμούς (σωματίδια ιλύος, υδροξείδια του σιδήρου και αργιλίου, πλαγκτόν, κ.α.). Ουσιαστικά, η θολερότητα αποτελεί μια έκφραση της οπτικής ιδιότητας ενός δείγματος νερού να σκεδάζει και να απορροφά φώς που διέρχεται από και να μη μεταδίδει το φώς σε ευθεία γραμμή. Το θολό νερό πρέπει να ελέγχεται πάντα για τυχόν ρύπανση. Το πόσιμο νερό που φτάνει στον καταναλωτή πρέπει να είναι διαυγές και όχι θολό. Ο προσδιορισμός της θολερότητας αποτελεί μια σημαντική παράμετρο για την εκτίμηση της ποιότητας του νερού λιμνών, φυσικών πηγών, ποταμών, θαλασσών αλλά και για τον έλεγχο των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και αποβλήτων.

Σύγχρονη μέθοδος για τον προσδιορισμό της θολερότητας είναι η νεφελομετρία, η οποία είναι ιδανική για χαμηλές τιμές θολερότητας. Ο προσδιορισμός της θολερότητας με αυτή τη μέθοδο γίνεται με τα θολερόμετρα. Η θολερότητα εκφράζεται σε νεφελομετρικές μονάδες θολερότητας (N.T.U).

Μια ακόμη μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θολερότητας σε λίμνες και θάλασσες είναι η μέτρηση της με το δίσκο του Secchi. Η μέθοδος αυτή, βασίζεται στην μέτρηση του βάθους στο οποίο είναι ορατός ένας λευκός μεταλλικός ή πλαστικός δίσκος που βυθίζεται κάθετα στην επιφάνεια του νερού. Η μέτρηση της διαφάνειας με τη μέθοδο αυτή, εκφράζεται σε m (μέτρα). [32]

4.1.6 Οσμή και γεύση

Στο παρελθόν, οι άνθρωποι για να αποφύγουν τροφές και νερά που ήταν επικίνδυνα, στηρίζονταν στην οσμή και την γεύση. Τα δυο αυτά χαρακτηριστικά είναι δυνατόν να προέρχονται από διάφορες χημικές ουσίες ή από μικροοργανισμούς και από διαλυμένα στο νερό αέρια. Οι ιδιότητες αυτές εκφράζονται συνήθως μόνο ποιοτικά σαν έντονες, μέτριες, ασθενείς κ.λ.π. Το νερό που προορίζεται για πόση πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κάθε ίχνος δυσάρεστης οσμής ή γεύσης.

Τα προβλήματα γεύσης στο νερό οφείλονται στα διαλυμένα άλατα (TDS), καθώς επίσης και στην παρουσία κάποιων μετάλλων, όπως είναι ο σίδηρος (Fe), ο χαλκός (Cu), το μαγγάνιο (Mn)

και ο ψευδάργυρος (Zn). Επίσης, σημαντικά προβλήματα γεύσης στο νερό δημιουργούν οι χλωροφαινόλες, ακόμα και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις.

Η οσμή είναι ένα οργανοληπτικό χαρακτηριστικό που μπορεί να αποτελέσει κριτήριο για την ταξινόμηση των νερών σε κατηγορίες χρήσεων (πόση, αναψυχή, διαβίωση ψαριών κ.λ.π.). Η οσμή μπορεί να οφείλεται σε φυσικά (υδρόθειο, αμμωνία ή μεθάνιο) ή ανθρωπογενή αίτια (ανεπεξέργαστα ή επεξεργασμένα λύματα ή βιομηχανικά απόβλητα). Για τον προσδιορισμό τη οσμής, χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες τεχνικές με τις οποίες προσδιορίζεται ποιοτικά ή ποσοτικά. Η ποιοτική κατάταξη γίνεται με βάση κατηγορίες αντιπροσωπευτικών ουσιών με χαρακτηριστική οσμή, όπως τα βιομηχανικά απόβλητα, το χλώριο, το υδρόθειο και η αμμωνία. Ποσοτικά η οσμή προσδιορίζεται με τη μέθοδο των διαδοχικών αραιώσεων, όπου το δείγμα αραιώνεται σταδιακά και σαν όριο καταγράφεται αυτό στο οποίο η οσμή είναι ελάχιστα αντιληπτή. [32]

4.1.7 Χρώμα

Το χρώμα ενός υδάτινου αποδέκτη καθορίζεται από το μήκος κύματος της μονοχρωματικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο νερό, από το είδος των σωματιδίων που αιωρούνται, από την παρουσία ανόργανων ή οργανικών ουσιών, από το είδος των πλαγκτονικών ουσιών οργανισμών και τη βιολογική τους δραστηριότητα ακόμη και από το γεωλογικό υπόστρωμα της περιοχής. Όλοι αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν την απορρόφηση του φωτός στο νερό και του προσδίδουν χρώμα που μπορεί να είναι από πράσινο-γαλάζιο έως σκούρο καφετί.

Στο πόσιμο νερό το χρώμα είναι αισθητικά ανεπιθύμητο. Το καθαρό φυσικό νερό είναι διαυγές και άχρωμο σε μικρές μάζες. Η παρουσία ορισμένων μεταλλικών ιόντων, όπως σιδήρου (Fe^{2+}) και μαγγανίου (Mn^{2+}) που βρίσκονται στη φύση, προσδίδουν στο νερό κάποιο χρώμα. Ακόμα το χρώμα στο φυσικό νερό μπορεί να οφείλεται σε άλλες χημικές ενώσεις, στο πλαγκτόν και σε βιομηχανικά απόβλητα.

Ο προσδιορισμός του χρώματος στηρίζεται στην οπτική σύγκριση του δείγματος με έγχρωμο διάλυμα γνωστής συγκέντρωσης. Το διάλυμα αυτό περιέχει λευκόχρυσο (Pt) και κοβάλτιο (Co). Με διαδοχικές αραιώσεις αυτού του πρότυπου διαλύματος λαμβάνονται διαλύματα της κλίμακας Pt/Co. Τέλος το δείγμα συγκρίνεται με τα πρότυπα αυτά διαλύματα της κλίμακας Pt/Co και το αποτέλεσμα εκφράζεται σε mg/l. [32]

4.1.8 Στερεές ουσίες

Ο όρος στερεά αναφέρεται στην περιεκτικότητα ενός δείγματος νερού από σωματίδια. Αυτές οι στερεές ουσίες επηρεάζουν την χρήση του νερού, αφού προκαλούν αλλαγές στην ποιότητά του. Μεγάλες ποσότητες στερεών προέρχονται κυρίως από τη φυσική αποσάθρωση του εδάφους και των διαφόρων πετρωμάτων αλλά και από τα υγρά απόβλητα. Τα στερεά χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με τα φυσικά κυρίως χαρακτηριστικά, όπως το μέγεθος και το ειδικό βάρος. Οι κατηγορίες ταξινομούνται ως εξής:

Ολικά στερεά (Total Solids-TS)

Είναι το σύνολο των στερεών στο δείγμα και προσδιορίζονται με ζύγιση του υπολείμματος ορισμένου όγκου δείγματος μετά από ξήρανση στους $105^{\circ}C$ σε mg/L. Στην συνέχεια με πύρωση στους $550^{\circ}C$ προσδιορίζονται τα πτητικά και ανόργανα στερεά. Τα αποτελέσματα εκφράζονται

σε mg/L δείγματος. Ο προσδιορισμός τους παρέχει πληροφορίες για το επίπεδο επιβάρυνσης του αποδέκτη. Αυτή η διαδικασία δείχνει ενδιαφέρον στον έλεγχο αστικών λυμάτων και των βιομηχανικών αποβλήτων.

Αιωρούμενα στερεά (Suspended Solids-SS)

Η παράμετρος αυτή αναφέρεται στα στερεά υλικά που αιωρούνται στο νερό, επειδή βρίσκονται σε πολύ λεπτό διαμερισμό. Αποτελούνται από υλικά ανόργανης και οργανικής προέλευσης. Στα νερά προκαλούν διάφορες επιπτώσεις, όπως θολότητα, αισθητική υποβάθμιση και περιορισμό της διέλευσης του φωτός. Ο διαχωρισμός των αιωρούμενων στερεών γίνεται με διήθηση, χρησιμοποιώντας φίλτρα μεμβράνης με διάμετρο πόρων 0.45 μm. Η διήθηση γίνεται με τη βοήθεια κενού. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg/L δείγματος.

Ολικά διαλυμένα στερεά (Total Dissolved Solids- TDS)

Πρόκειται για ουσίες που αποτελούνται κυρίως από ευδιάλυτα ανόργανα άλατα (άλατα αλκαλίων, χλωριούχα, θειικά, φωσφορικά κ.α.). Ο προσδιορισμός τους γίνεται σε δείγμα το οποίο έχει διηθηθεί με φίλτρο μεμβράνης με διάμετρο πόρων 0.45 μm, έτσι ώστε να απομακρυνθούν όλα τα αδιάλυτα στερεά υλικά. Στην συνέχεια με πύρωση στους 550°C προσδιορίζονται τα πτητικά και ανόργανα στερεά. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg/L δείγματος.

Καθιζάνοντα στερεά (Settleable Solids-SS)

Η παράμετρος αυτή αναφέρεται στα στερεά τα οποία καθιζάνουν από μόνα τους, σε μια ώρα σε κώνο imhoff.

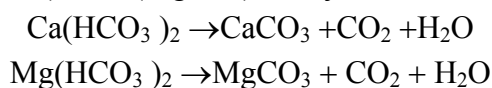
4.1.9 Διαλυμένα άλατα και σκληρότητα

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση και το είδος των αλάτων που περιέχονται στο νερό είναι το γήινο υπόβαθρο, το pH και η θερμοκρασία. Η χημική σύσταση των φυσικών νερών μπορεί να τροποποιηθεί με την βοήθεια των βιολογικών μεταβολισμών. Ο υδρολογικός κύκλος επιδρά στην αύξηση ή μείωση της συγκέντρωσης των διαφόρων χημικών στοιχείων. Διάλυση, οξείδωση, αναγωγή, ιοντοεναλλαγή και συμπλοκοποίηση είναι οι κύριες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα. Το νερό της βροχής περιέχει πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις αλάτων σε αντίθεση με τα υπόγεια και επιφανειακά νερά τα οποία περιέχουν μεγάλες ποσότητες αλάτων.

Η σκληρότητα είναι μια παράμετρος που εκφράζει την περιεκτικότητα του νερού σε πολυσθενή κατιόντα κυρίως μαγνησίου (Mg_2^+) και ασβεστίου (Ca_2^+) και διακρίνεται σε ολική, προσωρινή και μόνιμη.

Η ολική σκληρότητα αναφέρεται στα νερά που περιέχουν σημαντικές ποσότητες κατιόντων ασβεστίου (Ca_2^+) και μαγνησίου (Mg_2^+) με τη μορφή του ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) και ανθρακικού μαγνησίου ($MgCO_3$).

Η προσωρινή σκληρότητα οφείλεται σε όξινα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου ($Ca(HCO_3)_2$) και μαγνησίου ($Mg(HCO_3)_2$). Η σκληρότητα αυτή αφαιρείται με βρασμό του νερού, όπου το CO_2 διαφεύγει, και τα αδιάλυτα ($CaCO_3$) και ($MgCO_3$) καθιζάνουν σαν ανθρακικά άλατα:



Η μόνιμη σκληρότητα οφείλεται σε όλα τα άλλα άλατα (CaSO_4 , MgSO_4 , CaCl_2 , MgCl_2) που παραμένουν μετά την καταβύθιση των ουδέτερων ανθρακικών αλάτων με τον βρασμό του νερού.

Εάν η ολική σκληρότητα είναι μεγαλύτερη από την ανθρακική τότε η διαφορά ονομάζεται << ανθρακική σκληρότητα >>. Η σκληρότητα στα ύδατα μπορεί να έχει τιμές από μηδέν μέχρι μερικές εκατοντάδες mg/L CaCO_3 . Η σκληρότητα εκφράζεται σε Γαλλικούς βαθμούς, όπου ένας βαθμός αντιστοιχεί σε 1 mg $\text{CaCO}_3/100$ ml ύδατος. Επίσης, εκφράζεται και σε Γερμανικούς βαθμούς, όπου ένας βαθμός αντιστοιχεί σε 1 mg $\text{CaO}/100$ ml. Ο προσδιορισμός της σκληρότητας γίνεται ογκομετρικά με την χρήση προχοΐδας. [32]

Πίνακας 6 Χαρακτηρισμός των νερών ανάλογα με το επίπεδο σκληρότητας[32]

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΝΕΡΟΥ	ΓΑΛΛΙΚΟΙ ΒΑΘΜΟΙ	ΓΕΡΜΑΝΙΚΟΙ ΒΑΘΜΟΙ	mg CaCO_3/l
ΠΟΛΥ ΜΑΛΑΚΑ ΝΕΡΑ	0-7,16	0-4	0-71,6
ΜΑΛΑΚΑ	7,16-14,32	4-8	71,6-143,2
ΗΜΙΣΚΛΗΡΑ	14,32-21,48	8-12	143,2-214,8
ΣΧΕΤΙΚΑ ΣΚΛΗΡΑ	21,48-32,22	12-18	214,8-322,2
ΣΚΛΗΡΑ	32,22-53,70	18-30	322,2-537,0
ΠΟΛΥ ΣΚΛΗΡΑ	>53,70	>30	>537,0

4.1.10 Κατιόντα (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+)

Ασβέστιο (Ca^{2+})

Το ασβέστιο είναι το δεύτερο σε συγκέντρωση συστατικό των φυσικών νερών. Εισέρχεται στο νερό από διάφορα πετρώματα, όπως ο ασβεστόλιθος, ο δολομίτης και ο γύψος. Η συγκέντρωση ασβεστίου κυμαίνεται από μηδέν μέχρι μερικές εκατοντάδες mg/L ανάλογα με την προέλευση του νερού και συμβάλλει στην ολική σκληρότητά του. Επίσης, αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την υγεία του ανθρώπου, αφού συμβάλλει στη διατήρηση της καλής υγείας των οστών, των δοντιών καθώς και στη καλή λειτουργία του μυϊκού και νευρικού συστήματος. [32]

Μαγνήσιο (Mg^{2+})

Το μαγνήσιο εισέρχεται στο νερό μέσω των δολομιτικών και διαφόρων πυριτικών και αργιλοπυριτικών πετρωμάτων. Η σκληρότητα του νερού εξαρτάται σε ένα μεγάλο μέρος από το μαγνήσιο. Είναι απαραίτητο στον ανθρώπινο οργανισμό αλλά και για τα φυτά, αφού αποτελεί θρεπτικό συστατικό και λειτουργεί ως εδαφοβελτιωτικό. [32]

Νάτριο (Na^+)

Το νάτριο εισέρχεται στα φυσικά νερά από διάφορα πετρώματα, όπως το ορυκτό χλωριούχο νάτριο και τα αργιλοπυριτικά ορυκτά νατρίου. Υπάρχει άφθονο στη φύση και περιέχεται σε όλα

τα φυσικά νερά σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 1-500 mg/L. Στο πόσιμο νερό δεν υπερβαίνει τα 20 mg/L, εκτός των περιπτώσεων που έχει γίνει αποσκλήρυνση με τη μέθοδο της ιοντοεναλλαγής σε νερά με μεγάλη σκληρότητα. Όταν βρίσκεται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από 200 mg/L, επηρεάζει τη γεύση του νερού. Αποτελεί βασικό στοιχείο για τον άνθρωπο αλλά επιφέρει προβλήματα σε περιπτώσεις υψηλής συγκέντρωσης, αφού αυξάνει την αρτηριακή πίεση. Ακόμα, εδάφη και καλλιέργειες που δέχονται νερό με υψηλό νάτριο μπορεί να υποστούν μείωση της διαπερατότητας. [32]

Κάλιο (K^+)

Το κάλιο βρίσκεται σε αφθονία στη φύση και βρίσκεται σε όλα τα φυσικά νερά, στα οποία όμως περιέχεται σε μικρές συγκεντρώσεις. Η μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωσή του στο πόσιμο νερό είναι 12 mg/L. Είναι απαραίτητο θρεπτικό συστατικό των φυτικών οργανισμών και αυξάνει την ικανότητα αφομοίωσης διοξειδίου του άνθρακα.

Αμμωνιακά (NH_4^+)

Η αμμωνία βρίσκεται στην επιφάνεια της γης, κυρίως λόγω της απορροής στις γεωργικές περιοχές όπου εφαρμόζεται ως λίπασμα. Επίσης, διεισδύει στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα από κόπρανα των ζωντανών οργανισμών. Τα υπόγεια νερά περιέχουν συνήθως αμμωνία σε χαμηλές συγκεντρώσεις (0.2 mg/L). Η αμμωνία δεν επηρεάζει άμεσα την υγεία στις συγκεντρώσεις που ενδέχεται να υπάρχει στο πόσιμο νερό, αποτελεί όμως δείκτη ρύπανσης από κοπρανώδεις ουσίες. Σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν τα 0.2 mg/L δημιουργεί προβλήματα οσμής και γεύσης στο νερό. [32]

4.1.11 Ανιόντα (Cl^- , F^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-})

Χλωριούχα (Cl^-)

Τα χλωριούχα είναι γνωστά ως άλατα νατρίου, καλίου και ασβεστίου. Προέρχονται από τη διάβρωση των πετρωμάτων, κυρίως από αυτά που περιέχουν αργιλικά ορυκτά θαλάσσιας γένεσης. Στο πόσιμο νερό προέρχονται από φυσικές πηγές, λύματα, βιομηχανικά απόβλητα και από τη διείσδυση θαλασσινού νερού σε παράκτιες περιοχές. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις δε προκαλούν προβλήματα στον ανθρώπινο οργανισμό. Αντίθετα, όταν οι συγκεντρώσεις υπερβούν το ανώτατο όριο (> 200 ppm), τότε μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στα άτομα που πάσχουν από καρδιακές ή νεφρικές ασθένειες.

Η αυξημένη συγκέντρωση χλωριούχων αυξάνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού και κατ' επέκταση τον βαθμό διάβρωσης των μετάλλων στο σύστημα διανομής, σε συνάρτηση πάντα με την αλκαλικότητα του νερού. Ακόμα, σε υψηλές συγκεντρώσεις αλλοιώνουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του νερού, διαβρώνουν τις επιφάνειες και έχουν βλαβερές συνέπειες στην ανάπτυξη των φυτών.

Αν παρατηρηθεί απότομη αύξηση των χλωριούχων στο νερό, η οποία δεν οφείλεται στην είσοδο θαλασσινού νερού, τότε είναι πιθανή η ρύπανση από λύματα και απαιτείται άμεση υγειονομική επιθεώρηση. [32]

Φθοριούχα (F⁻)

Το φθόριο συναντάται στα νερά με τη μορφή φθοριούχων αλάτων, που προέρχονται από ηφαιστειογενή πετρώματα. Υψηλές συγκεντρώσεις φθορίου εμφανίζονται σε ηφαιστειογενή πετρώματα και σε γεωτρήσεις μεγάλου βάθους όταν το υπέδαφος είναι πλούσιο σε φθοριούχα ορυκτά. Σε μικρές ποσότητες είναι σημαντικό για την ανάπτυξη των δοντιών και των οστών. Αντίθετα, σε μεγάλες ποσότητες προκαλεί γαστρική αιμορραγία, τοξική νεφρίτιδα και βλάβες στις αρθρώσεις.

Υψηλές συγκεντρώσεις φθορίου σε επιφανειακά νερά, μπορεί να προκύψουν από βιομηχανική μόλυνση, όπως η επεξεργασία αλουμινίου, η υαλουργεία και από τα φωσφορικά λιπάσματα.

Νιτρώδη (NO₂⁻) – Νιτρικά (NO₃⁻)

Αποτελούν τμήμα του κύκλου του αζώτου στη φύση, επομένως υπάρχουν στα φυσικά νερά, αλλά η συγκέντρωση νιτρικών πρέπει να είναι χαμηλή. Υψηλές συγκεντρώσεις οφείλονται σε λιπάσματα, απορρίμματα και ζωικά ή ανθρώπινα απόβλητα. Υπάρχουν ακόμα και στον αέρα, λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, με αποτέλεσμα να παρασύρονται από τη βροχή ή να αποτίθενται στο έδαφος. Σε αερόβιες συνθήκες τα νιτρικά διεισδύουν στον υδροφόρο ορίζοντα.

Τα πόσιμα νερά που περιέχουν μεγάλες ποσότητες νιτρικών αλάτων μπορεί να προκαλέσουν την ασθένεια μεθαιμογλοβιναιμία, λόγω της αναγωγής τους σε νιτρώδη. Τα νιτρώδη και τα νιτρικά άλατα, στο περιβάλλον του στομάχου, σχηματίζουν νιτροζοενώσεις, οι οποίες είναι καρκινογόνες. Οι τρόποι αντιμετώπισης των υψηλών συγκεντρώσεων νιτρωδών στο νερό, είναι η χλωρίωση, η ιοντοεναλλαγή και η αντίστροφη όσμωση. [32]

Θειικά (SO₄²⁻)

Τα θειικά εισέρχονται κυρίως στα φυσικά νερά από το βρόχινο νερό. Άλλες πιθανές πηγές είναι τα ιζηματογενή πετρώματα που περιέχουν θεικό ασβέστιο ή θεικό πυρίτιο, καθώς και από λιπάσματα ή βιομηχανικά απόβλητα. Το θειικό οξύ, ο θειούχος σίδηρος και άλλα θειούχα και θειικά άλατα, αποτελούν τα πιο συχνά αντιδραστήρια στη βιομηχανία.

Σε μεγάλες συγκεντρώσεις προσδίδουν στο νερό χαρακτηριστικά δυσάρεστη οσμή και γεύση. Χαρακτηριστικό είναι ότι σε περίπτωση κατανάλωσης νερού με αυξημένες ποσότητες θεικών, προκαλούνται γαστρεντερικές διαταραχές και ερεθισμός του αναπνευστικού συστήματος. Το ανώτατο επιτρεπτό όριο θεικών ιόντων στο πόσιμο νερό είναι 250 mg/L. Με την παρουσία οργανικής ύλης, τα θειικά ιόντα είναι δυνατόν να αναχθούν σε μεθάνιο (CH₄) και υδρόθειο (H₂O), το οποίο υδρόθειο ευθύνεται για τη δυσάρεστη οσμή αλλά και για τη διάβρωση των αγωγών μεταφοράς νερού.

Φωσφορικά ιόντα (PO₄³⁻)

Η παρουσία των φωσφορικών στα φυσικά ύδατα, οφείλεται στη ρύπανση από φωσφορικά λιπάσματα ή από αστικά λύματα. Επίσης, προέρχονται από τη διάβρωση φωσφορικών πετρωμάτων ή ακόμα και από τις βροχές. Τα περισσότερα απορρυπαντικά οικιακής ή βιομηχανικής χρήσης, είναι επιβαρημένα με αρκετά μεγάλες ποσότητες φωσφόρου, καθώς περιέχουν πολυφωσφορικά ιόντα για την αποσκλήρυνση του νερού. Έτσι λύματα και απόβλητα καταλήγουν στους επιφανειακούς αποδέκτες, προκαλώντας ευτροφισμό. Τα φωσφορούχα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες, δε δεσμεύονται ποσοτικά από τα φυτά ή το έδαφος, με αποτέλεσμα οι εκπτώσεις των εδαφών να περιέχουν και αυτές σημαντικές ποσότητες

φωσφόρου. Το ανώτατο επιτρεπτό όριο των φωσφορικών ιόντων στο πόσιμο νερό είναι 0.4 mg/L. [32]

4.1.12 Ιχνοστοιχεία – Βαρέα μέταλλα (Fe, Mn, Al, Cu, Zn, Cd, Cr, Pb, As)

Οι οργανισμοί χρειάζονται καθημερινά μεταλλικά ιχνοστοιχεία για να μπορέσουν να εκτελέσουν το σύνολο των διεργασιών που απαιτούνται για την πέψη, την αναπνοή, τον μεταβολισμό κ.ά.. Τέτοια μεταλλικά ιχνοστοιχεία είναι ο σίδηρος, το μαγνήσιο, το ασβέστιο και άλλα μέταλλα, τα οποία είναι απολύτως απαραίτητα και οι οργανισμοί τα προσλαμβάνουν μέσω της τροφής και του νερού.

Από την άλλη, στο περιβάλλον υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός στοιχείων που ανήκουν στην κατηγορία των μετάλλων. Επικίνδυνα είναι τα αποκαλούμενα βαρέα μέταλλα όπως κάδμιο, μόλυβδος, υδράργυρος, νικέλιο, χρώμιο, χρυσός και χαλκός. Τα πολύτιμα μέταλλα όπως είναι ο άργυρος και ο χρυσός, ανακτώνται από τα υγρά απόβλητα λόγω της τιμής τους και έτσι πρακτικά δεν αποτελούν ρύπους. Τοξικά θεωρούνται όσα μέταλλα έχουν δυσμενή επίδραση στους οργανισμούς ακόμη και όταν βρίσκονται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Η κυριότερη πηγή μετάλλων είναι το έδαφος, όπου βρίσκονται όλα σχεδόν τα μέταλλα και τα οποία με διάφορους γεωχημικούς κύκλους και ανθρωπογενής επεμβάσεις ανακατανέμονται στα διάφορα περιβαλλοντικά διαμερίσματα. Η καύση στερεών καυσίμων είναι μια άλλη πηγή εκπομπής μετάλλων στην ατμόσφαιρα που τελικά εναποτίθενται στο έδαφος και τα νερά. Τα μέταλλα δεν αφομοιώνονται, λόγω αδυναμίας των οργανισμών να τα αναγνωρίσουν, ούτε όμως αποβάλλονται από το σύστημα των οργανισμών, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται εκλεκτικά στο συκώτι και τα νεφρά, εμφανίζοντας έτσι υψηλές συγκεντρώσεις. [32]

Σίδηρος (Fe)

Ο σίδηρος υπάρχει κυρίως σε υπόγεια νερά, που διέρχονται από πετρώματα πλούσια σε άλατα σιδήρου. Επίσης, πηγές σιδήρου αποτελούν τα βιομηχανικά απόβλητα, οι δεξαμενές και οι σωληνώσεις μεταφοράς του νερού. Ο σίδηρος δίνει στο νερό γεύση που είναι ανιχνεύσιμη σε πολύ μικρές ποσότητες. Προσδίδει στο νερό χαρακτηριστική γεύση και οσμή. Στα ρούχα που πλένονται με νερό που περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου, δημιουργούνται χρωματισμοί και κηλίδες. Ακόμα, προκαλεί προβλήματα στους αγωγούς διανομής νερού, καθώς ευνοείται η ανάπτυξη βακτηρίων και δημιουργούνται αποθέσεις.

Αποτελεί απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό και η έλλειψή του προκαλεί αναιμία και καρδιαγγειακές παθήσεις. Αντίθετα, η πρόσληψη μεγάλων ποσοτήτων σιδήρου προκαλεί βλάβες στους ιστούς εξαιτίας της συσσώρευσής του.

Μαγγάνιο (Mn)

Το μαγγάνιο βρίσκεται στο νερό, κυρίως λόγω της διάλυσης ορυκτών που το περιέχουν. Είναι δύσκολο στην διαχείριση λόγω των ιζηματικών επικαθήσεων που δημιουργεί. Οι επικαθήσεις μαγγανίου εξαρτώνται από τη κατάσταση οξείδωσης, το pH και την ταυτόχρονη παρουσία και άλλων μεταλλευμάτων, ιδιαίτερα του σιδήρου που συχνά το συνοδεύει. Προσδίδει στο νερό χαρακτηριστική γεύση και οσμή, σχηματίζει θολώματα και αποθέσεις. Επίσης, επιδρά στην ανάπτυξη μικροοργανισμών στις δεξαμενές και τα δίκτυα ύδρευσης. Στον ανθρώπινο οργανισμό, προκαλεί απρόβλεπτες συνέπειες, αφού σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να τον ξεγελάσει και να

προσλαμβάνει μαγγάνιο αντί του σιδήρου. Μεταφέρεται στο πλάσμα του αίματος με τη μορφή τρανσμαγγανίνης και είναι τοξικό, καθώς δημιουργεί ερεθισμό του αναπνευστικού συστήματος.

Αργίλιο (Al)

Το αργίλιο ή αλουμίνιο, είναι ένα μέταλλο που συναντάται σε αφθονία στη φύση και αποτελεί περίπου το 8% του φλοιού της γης. Χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις παραγωγής πόσιμου νερού ως κροκιδωτικό (θεικό αργίλιο) και βοηθά στη μείωση των αιωρούμενων στερεών, των άλγων και του οργανικού φορτίου. Στις εγκαταστάσεις αυτές πρέπει να εξασφαλίζεται η μη υπέρβαση των μέγιστων επιτρεπόμενων συγκεντρώσεων (200 µg/L) αλλά ούτε και τις συγκεντρώσεις του κατώτερου ορίου (50 µg/L).

Σύμφωνα με ενδείξεις, το αργίλιο προκαλεί σοβαρές επιπτώσεις, καθώς επηρεάζει σημαντικά το νευρικό σύστημα του ανθρώπου. Είναι γνωστό ότι η λήψη μεγάλων ποσοτήτων αργιλίου από τον ανθρώπινο οργανισμό προκαλεί αναμία και καρδιακά προβλήματα. Επίσης, το αργίλιο σχετίζεται με σοβαρές ασθένειες όπως είναι η νόσος του Parkinson και η νόσος του Alzheimer. [32]

Χαλκός (Cu)

Ο χαλκός εισέρχεται στο νερό από τη διάβρωση των οικιακών χάλκινων σωληνώσεων, των μπρούτζινων εξαρτημάτων, από φυσική διάβρωση, από ψεκασμούς με θεικό χαλκό και από ρύπανση που προκαλείται από τα συντηρητικά ξυλείας. Λόγω της διάβρωσης των χάλκινων σωληνώσεων, σημαντικές ποσότητες χαλκού διαλύονται στο πόσιμο νερό. Αν το νερό μείνει στάσιμο για 12 ώρες στις σωληνώσεις, η συγκέντρωση χαλκού μπορεί να υπερβεί τα 20 mg/L. Έχει αποδειχθεί ότι ο χαλκός περιορίζει την ανάπτυξη μικροοργανισμών που αναπτύσσονται στο νερό και ευδοκιμούν στα συστήματα πόσιμου νερού όπως, βακτήρια, ιοί, άλγη και παράσιτα.

Αποτελεί βασικό στοιχείο στον ανθρώπινο μεταβολισμό και συμβάλλει στην απελευθέρωση του σιδήρου που βρίσκεται στους ιστούς, στην ανάπτυξη των οστών και στη σωστή λειτουργία του νευρικού συστήματος. Αντίθετα, σε μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλεί γαστρεντερικές διαταραχές, ηπατικές ή νεφρικές διαταραχές. [32]

Ψευδάργυρος (Zn)

Ο ψευδάργυρος εισέρχεται κυρίως στο νερό, κυρίως λόγω της διάβρωσης των γαλβανισμένων σωληνώσεων, από τα απόβλητα μεταλλείων και επιμεταλλωτηρίων. Συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 5 mg/L προσδίδουν χρώμα και χαρακτηριστική γεύση στο πόσιμο νερό. Ο άνθρωπος έχει ανάγκη τον ψευδάργυρο για τα μάτια, τους μύες, το ήπαρ, τα νεφρά και για τη καλή λειτουργία του εγκεφάλου. Για τους ενήλικες, η ημερήσια συνιστώμενη ποσότητα ψευδαργύρου κυμαίνεται μεταξύ 12 – 15 mg. Δεν έχουν παρατηρηθεί αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, λόγω του ψευδαργύρου.

Κάδμιο (Cd)

Το κάδμιο είναι ένα από τα τοξικότερα μέταλλα και συναντάται στη φύση σε θειούχα ορυκτά με το μόλυβδο και τον ψευδάργυρο. Στο νερό, εισέρχεται από βιομηχανίες παρασκευής φωσφορικών λιπασμάτων, καύση απορριμμάτων, απόβλητα εργοστασίων επιμετάλλωσης, μπαταρίες και χρώματα. Επίσης, μπορεί να βρίσκεται στο νερό από μετανάστευση του από υλικά συγκόλλησης σωλήνων ύδρευσης που περιέχουν κάδμιο. Σε συστήματα ύδρευσης που

τροφοδοτούνται με μαλακό νερό χαμηλού pH, μπορεί να βρεθούν υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου, επειδή αυτά τα νερά είναι πιο διαβρωτικά και η διαλυτότητα του καδμίου στο νερό εξαρτάται από το pH και τη σκληρότητα.

Το κάδμιο εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό κυρίως από τις τροφές και λιγότερο από το πόσιμο νερό. Το κάδμιο συσσωρεύεται στο ήπαρ, στα νεφρά, στη σπλήνα και στο θυρεοειδή αδέν, όπου και προκαλεί σοβαρές παθήσεις. Χαρακτηριστικό είναι ότι το κάδμιο αποβάλλεται με πολύ αργό ρυθμό από τον οργανισμό, καθώς η ημιπερίοδος ζωής του στον ανθρώπινο οργανισμό ανέρχεται σε 20-30 χρόνια.

Χρώμιο (Cr)

Το χρώμιο συναντάται στη φύση συνήθως με τη μορφή του τρισθενούς κατιόντος (Cr^{3+}). Στο υδάτινο περιβάλλον όμως επικρατεί με την σταθερή μορφή του εξασθενούς ιόντος (Cr^{6+}) και πολύ σπάνια με αυτή του τρισθενούς. Τα άλατα του εξασθενούς χρωμίου είναι ευδιάλυτα ενώ αυτά του τρισθενούς είναι αδιάλυτα και καθιζάνουν. Το χρώμιο εισέρχεται στα υπόγεια ή τα επιφανειακά νερά, κυρίως από απόβλητα που προέρχονται από βιομηχανικές μονάδες, όπως βυρσοδεψία, βιομηχανίες παραγωγής χρωμάτων και τσιμέντων.

Σε πολύ μικρές ποσότητες και με τη μορφή του τρισθενούς κατιόντος, είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό, αφού βοηθά στον μεταβολισμό και συντελεί στην πρόληψη του διαβήτη και της αρτηριοσκλήρυνσης. Αντίθετα, όταν το χρώμιο βρίσκεται με τη μορφή του εξασθενούς ιόντος σε υψηλές συγκεντρώσεις, τότε μπορεί να προκαλέσει σημαντικές βλάβες όπως νεφρική ανεπάρκεια και προβλήματα στο συκώτι, ενώ ακόμα και σε χαμηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει αλλεργικές δερματίτιδες, στομαχικές διαταραχές και έλκη.[4]

Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος θεωρείται ένα από τα πιο τοξικά μέταλλα, χρησιμοποιείται ευρύτατα και είναι συνεχώς διασκορπισμένο στο περιβάλλον. Στο πόσιμο νερό προέρχεται από τη διάβρωση των συγκολλήσεων μολύβδου που χρησιμοποιείται για τη κατασκευή δικτύων του πόσιμου νερού με σωλήνες χαλκού ή από διάβρωση παλαιών υδρομετρητών μολύβδου. Επίσης, από στεγανωτικές αλοιφές και από επίστρωμα προστασίας από σκουριά που χρησιμοποιείται σε υδραυλικές εγκαταστάσεις. Άλλες μορφές και πηγές μόλυνσης του περιβάλλοντος από το μόλυβδο είναι η χρήση διαφόρων εντομοκτόνων που περιέχουν μόλυβδο αλλά και διάφορες χρωστικές ουσίες, οι οποίες επίσης περιέχουν μόλυβδο γιατί δίνουν σταθερά και λαμπερά χρώματα.

Η κατανάλωση μολύβδου έχει πολύ σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και γενικότερα σε κάθε ζωντανό οργανισμό. Προκαλεί σοβαρή ζημιά στον εγκέφαλο, τα νεφρά, το νευρικό σύστημα και στα κύτταρα του αίματος.[4]

Αρσενικό (As)

Οι φυσικές πηγές αρσενικού στο περιβάλλον είναι οι ηφαιστειογενείς δράσεις και η αποσύνθεση της φυτικής οργανικής ύλης, ενώ οι ανθρωπογενής πηγές αρσενικού είναι από απορρίμματα βιομηχανιών κατασκευής ημιαγωγών, διυλιστήρια, πρόσθετα συντηρητικών ξυλείας, πρόσθετα ζωοτροφών και λιπάσματα. Πρόκειται για ένα τοξικό και καρκινογόνο στοιχείο και η τοξικότητά του εξαρτάται από τη χημική και φυσική του μορφή, τη δόση, το χρόνο έκθεσης και τον τρόπο που εισάγεται στον ανθρώπινο οργανισμό. Αυξημένες συγκεντρώσεις

προκαλούν βλάβες στο δέρμα, στο αιμοποιητικό σύστημα, κυκλοφοριακά προβλήματα και πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου.

4.2 Βιοχημικά χαρακτηριστικά

4.2.1 Διαλυμένο Οξυγόνο (DO)

Το νερό όπως όλοι οι διαλύτες έχει την ιδιότητα να διαλύει ατμοσφαιρικά αέρια όπως άζωτο, οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα και αδρανή αέρια. Ενώ το CO₂ αντιδρά μερικώς με το νερό και σχηματίζει ανθρακικό οξύ (H₂CO₃), το οξυγόνο διαλύεται φυσικά στο νερό. Η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία και την αλατότητα του νερού. Ωστόσο υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαλυτότητα του οξυγόνου σε μια υδάτινη μάζα, όπως το κλίμα, οι μετεωρολογικές συνθήκες, η παρουσία ή απουσία φωτοσυνθετικών αερόβιων οργανισμών και ο βαθμός διείσδυσης του φωτός που εξαρτάται από το βάθος, το σχήμα και το μέγεθος της λεκάνης απορροής. Αύξηση της θερμοκρασίας του νερού προκαλεί μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου. Όταν η θερμοκρασία ενός διαλύματος αυξάνεται, το περιεχόμενο αέριο απομακρύνεται μέχρι να συμβεί πλήρης εξαέρωση του διαλύτη στο σημείο βρασμού. Σε σταθερή θερμοκρασία, η πίεση που ασκεί το ατμοσφαιρικό οξυγόνο στην επιφάνεια του νερού ενός υδάτινου οικοσυστήματος είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του οξυγόνου στο νερό. Άρα, αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης αυξάνει τη διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό και αντίστροφα.

Το διαλυμένο οξυγόνο διαδραματίζει πρωταρχικό ρόλο για τα υδατικά οικοσυστήματα. Μικρές τιμές διαλυμένου οξυγόνου φανερώουν έντονα ρυπασμένα νερά με οργανικές ουσίες που προκαλούν ανεπιθύμητες καταστάσεις όπως είναι η ανάπτυξη αναερόβιων μικροοργανισμών των οποίων παράγωγο της εναλλαγής της ύλης είναι το υδρόθειο (H₂S), το οποίο είναι δύσοσμο και επικίνδυνο αέριο.

4.2.2 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)

Το BOD αποτελεί σημαντικό δείκτη και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του επιπέδου ρύπανσης των αποδεκτών αλλά και του οργανικού ρυπαντικού φορτίου των αποβλήτων. Όσο μεγαλύτερο είναι το BOD τόσο επιβαρημένο είναι το απόβλητο και τόσο μεγαλύτερο πρόβλημα δημιουργεί η απόρριψή του στο περιβάλλον χωρίς να προηγηθεί κατάλληλη επεξεργασία του. Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand) αναφέρεται στη βιοοξειδωση ενός λύματος και είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται να λάβουν οι αερόβιοι μικροοργανισμοί, για να αναπτυχθούν και να πεθάνουν, καταναλώνοντας τα θρεπτικά οργανικά συστατικά που περιέχονται σε ποσότητα δείγματος. Αποτελεί μια από τις παλαιότερες μεθόδους για την εκτίμηση της οργανικής κυρίως ρύπανσης από λύματα ή βιομηχανικά απόβλητα σε φυσικούς αποδέκτες.

Στο παρελθόν, οι πρώτες τεχνικές προσδιορισμού της απαίτησης οξυγόνου αφορούσαν τα αστικά λύματα και βασίζονταν στην επώαση δείγματος λυμάτων με ιθαγενή πληθυσμό μικροοργανισμών, για αρκετές μέρες (20 μέρες), σε ειδικές μανομετρικές, τα BODμετρα. Σήμερα, έχει καθιερωθεί η μέτρηση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου, να γίνεται σε πέντε μέρες ενώ έχει αλλάξει η αρχική μέθοδος προσδιορισμού με άλλες ακριβέστερες. Ο έλεγχος BOD₅ βασίζεται στην ακριβή μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου στην αρχή και στο τέλος της

περιόδου των πέντε ημερών, όταν το δείγμα φυλάσσεται σε σκοτεινό σημείο σε συνθήκες επώασης στους 20°C. Η διαφορά στη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου μετά από πέντε μέρες αντιπροσωπεύει την απαίτηση σε οξυγόνο για την αναπνοή των αερόβιων βιολογικών μικροοργανισμών του δείγματος. Το BOD εκφράζεται σε mg/L, όπου στα ανεπεξέργαστα λύματα, κυμαίνεται από 250–350 mg/L, ενώ σε ορισμένες κατηγορίες βιομηχανικών αποβλήτων (πχ απόβλητα γαλακτοβιομηχανιών) μπορεί να φτάσει ως 20.000 mg/L.[4]

4.2.3 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand- COD) είναι η παράμετρος που προσδιορίζει έμμεσα το συνολικό οργανικό φορτίο που υπάρχει στα ύδατα ή τα απόβλητα. Συγκεκριμένα, προσδιορίζει το οξυγόνο που απαιτείται για την πλήρη διάσπαση-οξειδωση του συνολικού οργανικού φορτίου προς νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Η οξειδωση πραγματοποιείται με ισχυρά οξειδωτικά μέσα, υπό όξινες συνθήκες και λόγω του γεγονότος ότι ορισμένες οργανικές ενώσεις είναι ιδιαίτερα ανθεκτικές στις διαδικασίες πλήρους οξειδωσης τους (πχ αρωματικές ενώσεις), η διεργασία αναπτύσσεται παρουσία καταλύτη. Το COD αποτελεί επίσης βασική παράμετρο για το σχεδιασμό και έλεγχο της λειτουργίας μονάδων βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Η μέτρηση του COD χρησιμοποιείται πολλές φορές αντί της μέτρησης του BOD ή συμπληρωματικά. Η ταχύτητα της μέτρησης είναι το μεγάλο πλεονέκτημά της, αφού ολοκληρώνεται σε 2-3 ώρες, σε αντίθεση με τη μέτρηση του BOD₅. Από την άλλη, το μειονέκτημα είναι ότι με το COD μετράται όχι μόνο η βιοδιασπάσιμη αλλά και η μη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη. Έτσι, η μέτρηση του COD είναι κατά κάποιον τρόπο λιγότερο αντιπροσωπευτική από τη μέτρηση του BOD₅, όταν πρόκειται για προσδιορισμό του οργανικού φορτίου που υπάρχει στα τυπικά αστικά λύματα. Το COD εκφράζεται σε mg/L και είναι πάντα μεγαλύτερο από το BOD₅, όπου για τα αστικά λύματα ο λόγος COD/BOD₅ είναι 1,2-1,5. Ο λόγος COD/BOD₅ είναι πάντα μεγαλύτερος από τη μονάδα, είναι δε τόσο μεγαλύτερος όσο λιγότερο βιοαποικοδομήσιμα είναι τα απόβλητα.[4]

4.2.4 Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)

Ο TOC (Total Organic Carbon), περιγράφει κάθε οργανική ένωση που διαλύεται στο νερό. Ο ολικός οργανικός άνθρακας είναι μια παράμετρος που χρησιμοποιείται συχνά ως μη ειδικό δείκτη της ποιότητας του νερού. Περιλαμβάνει πολλές και διαφορετικές χημικές ουσίες. Ως εκ τούτου, δεν είναι δυνατόν να εντοπιστούν τα προβλήματα υγείας καθώς αυτά θα διαφέρουν ανάλογα με τις ιδιαίτερες χημικές ουσίες που εμπλέκονται σε κάθε περίπτωση. Τα υψηλά επίπεδα ρίψεων σε ένα φυσικό υδατικό σύστημα μπορεί να υπονομεύσει τη λειτουργία του οικοσυστήματος, δεδομένου ότι προωθεί την ανάπτυξη των αναερόβιων βακτηρίων που οφείλεται σε χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου.

Με τον προσδιορισμό του TOC σε ένα δείγμα νερού ή αποβλήτου προσδιορίζονται οι παρακάτω κατηγορίες άνθρακα:

- Η ποσότητα του άνθρακα που οφείλεται στις διαλυμένες οργανικές ενώσεις DOC (Disolved Organic Carbon).
- Η ποσότητα του άνθρακα των οργανικών ενώσεων που βρίσκονται στα αιωρούμενα σωματίδια NDOC (Non Disolved Organic Carbon).

- Η ποσότητα του άνθρακα που προέρχεται από το διαλυμένο CO₂ και τα ιόντα HCO₃⁻ και CO₃⁻, δηλαδή τον ανόργανο άνθρακα IC (Inorganic Carbon).

Στα φυσικά νερά οι τιμές του TOC είναι μικρότερες του 1mg C/l. Για το λόγο αυτό ο προσδιορισμός του TOC προϋποθέτει την απομάκρυνση όλου του άνθρακα που οφείλεται στις ανόργανες ενώσεις.[4]

4.3 Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά

Μικροοργανισμοί θεωρούνται οι οργανισμοί στους οποίους δε μπορούμε να ξεχωρίσουμε λεπτομέρειες με γυμνό μάτι. Είναι γνωστό ότι σε αρκετές περιπτώσεις έχει γίνει μετάδοση ασθενειών με το πόσιμο νερό. Οι μικροοργανισμοί που έχουν ενδιαφέρον για την ποιότητα του νερού από άποψη υγιεινής είναι κυρίως οι ιοί, τα βακτήρια, τα πρωτόζωα και οι έλμινθες ή παρασιτικοί σκώληκες. Επίσης, μερικοί μικροοργανισμοί συνδέονται με προβλήματα οσμής και γεύσης στο νερό, καθώς και με εμφανίσεις γλοιωδών μικροβιακών μαζών στο εσωτερικό των σωληνώσεων του δικτύου διανομής (βακτήρια, φύκη, μύκητες). Προβλήματα στο δίκτυο ενδέχεται να δημιουργούνται και από μεγαλύτερους οργανισμούς όπως μαλάκια και καρκινοειδή.

Τα φυσικά νερά μολύνονται από τα λύματα τα οποία περιέχουν διάφορα μικρόβια, που προέρχονται από τις κοπρανώδεις ουσίες. Στην ύπαρξη μικροοργανισμών συμβάλλουν ακόμα τα απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων, οι απορροές μεγάλων γεωργικών και κτηνοτροφικών μονάδων και οι πλημμύρες οι οποίες συμπαρασύρουν περιττώματα ζώων και πτηνών. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί βρίσκονται στα φυσικά νερά σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Απομονώνονται, αναγνωρίζονται και μετρώνται δύσκολα παρά την πρόοδο στην μικροβιολογία κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Έτσι, χρησιμοποιούνται σαν δείκτες μη παθογόνοι μικροοργανισμοί, οι οργανισμοί δείκτες. Σημειώνεται ότι η απουσία των μικροοργανισμών δεικτών δεν αποτελεί εγγύηση για απόλυτα καθαρά νερά, αν και η παρουσία δεικτών φανερώνει μια γενική ρύπανση. Οι μικροοργανισμοί δείκτες οφείλουν να πληρούν ορισμένους όρους:

- Να είναι μετρήσιμοι στα περιβαλλοντικά δείγματα με εύκολες και μη δαπανηρές τεχνικές που ωστόσο πρέπει να είναι ακριβείς και επαναλήψιμες.
- Να είναι ανθεκτικοί στις περιβαλλοντικές πιέσεις
- Να υπάρχουν σε ικανό αριθμό στο περιβαλλοντικό δείγμα χωρίς να πολλαπλασιάζονται ή να υφίστανται σημαντικές γενετικές αλλαγές ώστε να επιτυγχάνεται ικανοποιητικά η εκτίμησή τους
- Να έχουν σταθερή και αποκλειστική σχέση με την πηγή των παθογόνων
- Να έχουν σταθερά χαρακτηριστικά

Οι συχνότεροι χρησιμοποιούμενοι δείκτες είναι τα ολικά κολοβακτηριοειδή, τα κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή και οι κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι. Τα κολοβακτηρίδια είναι αβλαβή αυτά καθ' αυτά πλην όμως η παρουσία τους στο νερό αποτελεί δείκτη μόλυνσης από περιττώματα και συνεπώς δυνατότητα μόλυνσης από παθογόνα μικρόβια. Για το λόγο αυτό ο έλεγχος ύπαρξης κολοβακτηριδίων είναι ένας από τους πλέον σημαντικούς ελέγχους της ποιότητας του νερού.[29]

4.3.1 Ολικά κολοβακτηριοειδή (Total Coliforms)

Στην ομάδα των κολοβακτηριοειδών περιλαμβάνονται όλα τα αερόβια και προαιρετικός αναερόβια gram αρνητικά μη σπορογόνα βακτηρίδια τα οποία ζυμώνουν την λακτόζη και παράγουν αέριο όταν επωασθούν στους 35°C για 48 ώρες. Τα ολικά κολοβακτηριοειδή

περιλαμβάνουν τα είδη *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Klebsiella* και *Enterobacter*. Όλοι αυτοί οι οργανισμοί δεν αποικίζουν απαραίτητα τον γαστρεντερικό σωλήνα των θερμόαιμων ζώων για αυτό ο δείκτης αυτός έχει τεθεί υπό αμφισβήτηση και αρκετοί ερευνητές δεν τον χρησιμοποιούν πλέον για τον έλεγχο της κοπρανώδους ρύπανσης των νερών.

4.3.2 Κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή (Fecal Coliforms)

Τα κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή, αποτελούν υποομάδα των ολικών κολοβακτηριοειδών και βρίσκονται κυρίως στον γαστρεντερικό σωλήνα των θερμόαιμων ζώων. Αυτή η ομάδα περιλαμβάνει κυρίως το είδος *Escherichia coli* και σπανιότερα άλλα είδη. Χαρακτηριστικό τους είναι ότι διαφέρουν από τα ολικά κολοβακτηριοειδή από την ικανότητά τους να αναπτύσσονται σε υψηλές θερμοκρασίες (44-44.5°C). Το *Escherichia coli* είναι αποκλειστικά κοπρανώδους προέλευσης και αποτελεί αξιόπιστη ένδειξη για πιθανή και προσφάτως συμβαίνουσα μόλυνση του νερού με ακαθαρσίες ανθρώπων και ζώων. Ορισμένα μέλη της είναι παθογενή για τον άνθρωπο, αφού μπορούν να προκαλέσουν γαστρεντερίτιδες, ωστόσο ορισμένα μέλη είναι πιο επικίνδυνα που παράγουν τοξίνες, ικανές να προκαλέσουν συμπτώματα όπως κοιλιακά άλγη και ελκώδης κολίτιδα. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή οδηγία 9883/2003, σε 100 ml δείγματος πόσιμου νερού του δικτύου ύδρευσης δεν θα πρέπει να υπάρχει κανένα ίχνος του *Escherichia coli*.

4.3.3 Κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι (Fecal streptococci)

Ο όρος κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι, αναφέρεται σε εκείνους τους στρεπτόκοκκους που υπάρχουν στον γαστρεντερικό σωλήνα του ανθρώπου και των άλλων θερμόαιμων.

Στην ομάδα των κοπρανώδων στρεπτόκοκκων, ανήκουν τα βακτήρια των γενών *Streptococcus* (*S. Avium*, *S. Bovis*, *S. Equinus*, *S. Gallinarum*, *S. Faecalis*, *S. Faecium*). Ορισμένα είδη όπως *S. Bovis*, *S. Equinus* και *S. Avium*, υπάρχουν σε μεγάλες πυκνότητες στα κόπρανα ζώων ενώ άλλα είδη απαντώνται συχνότερα στα κόπρανα του ανθρώπου. Επίσης, στην ομάδα των κοπρανώδων στρεπτόκοκκων, περιλαμβάνονται και τα είδη του γένους *Enterococci* (*S. Gallinarum*, *S. Avium*, *S. Faecalis*, *S. Faecium*). Οι εντερόκοκκοι αποτελούν σημαντικό βακτηριακό δείκτη για τον έλεγχο της κοπρανώδους ρύπανσης των επιφανειακών νερών. Χαρακτηριστικό τους είναι ότι είναι ανθεκτικότεροι από την *Escherichia coli* στην χλωρίωση και την περιβαλλοντική πίεση. Παρόλο που οι υγειονομικές διατάξεις αναφέρονται στην καταμέτρηση των κοπρανώδων στρεπτόκοκκων υπάρχουν ενδείξεις ότι στα υπάρχοντα θρεπτικά υποστρώματα αναπτύσσονται μόνο τα είδη που περιλαμβάνονται στην υποομάδα των εντερόκοκκων.[29]

5. Διερεύνηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των υπόγειων υδάτων Δήμου Καρπενησίου

Περιοχή μελέτης

Ο Δήμος Καρπενησίου είναι Δήμος της Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας. Έδρα του Δήμου είναι το Καρπενήσι και είναι ο ένας εκ των δύο δήμων του Νομού Ευρυτανίας. Η έκταση του Δήμου Καρπενησίου είναι 948.57 km² και ο πληθυσμός του είναι 13105 δημότες (απογραφή 2011). Το Καρπενήσι βρίσκεται στο κέντρο του Νομού Ευρυτανίας, στη νοτιοδυτική πλευρά του όρους Βελούχι και σε υψόμετρο 960 m.

Ο Δήμος βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της Περιφέρειας της Στερεάς Ελλάδας και απέχει 294 km από την Αθήνα και 368 km από τη Θεσσαλονίκη. Στο χάρτη που ακολουθεί φαίνεται η θέση του Δήμου Καρπενησίου.[30]



Εικόνα 6 Χάρτης Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας[30]

Γεωμορφολογία της ευρύτερης περιοχής

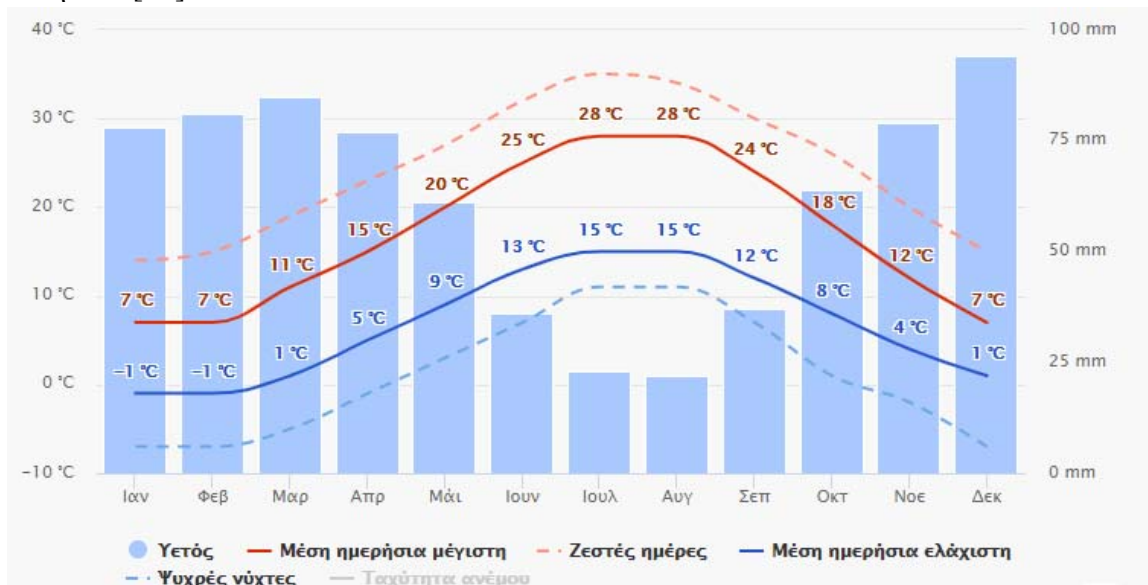
Το γεωμορφολογικό ανάγλυφο του Δήμου Καρπενησίου χαρακτηρίζεται ως ορεινό, καθώς σχεδόν ολόκληρη η έκτασή του καταλαμβάνεται από τους ορεινούς όγκους της Νότιας Πίνδου. Οι κυρίαρχοι αυτοί ορεινοί όγκοι καλύπτονται κυρίως από πυκνά δάση ελάτης. Η έκταση του Δήμου περιλαμβάνει περιοχές με έντονες επικλινείς ή απόκρημνες κλίσεις, μεγάλα φαράγγια και ποτάμια, προσδίδοντας ιδιαίτερα φυσικά χαρακτηριστικά στη γεωμορφολογία του.[30]

Κλιματολογικές συνθήκες

Το κλίμα της περιοχής είναι ορεινό ηπειρωτικό, με βαρείς και υγρούς χειμώνες και δροσερά και ξηρά καλοκαίρια. Οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στη διάρκεια του χειμώνα, προξενούν φαινόμενα αυξημένης υγρασίας και παγωνιάς, ιδίως κατά τις

νυχτερινές ώρες, ενώ ως και την άνοιξη σημειώνονται έντονες χιονοπτώσεις. Ο παγετός οφείλεται κυρίως στην νυχτερινή ακτινοβολία του εδάφους, με ανέφελες νύχτες, η οποία συνοδεύεται από αντικυκλωνικές καταστάσεις και έντονες αναστροφές της θερμοκρασίας.

Οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στη διάρκεια του καλοκαιριού αφορούν βροχοπτώσεις μεσογειακού τύπου, ενώ οι θερμοκρασίες σπάνια ξεπερνούν τους 35 βαθμούς της κλίμακας Κελσίου. Το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης εμφανίζεται κατά τους μήνες Οκτώβριο έως και Απρίλιο, ενώ κατά τους μήνες Μάιο έως Σεπτέμβριο εμφανίζονται οι υψηλότερες τιμές εξάτμισης. Ακολουθεί γράφημα, στο οποίο απεικονίζεται η διακύμανση της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων τα τελευταία 30 χρόνια για τον Δήμο Καρπενησίου.[31]



Σχήμα 6 Διακύμανση θερμοκρασίας και βροχοπτώσεων για τον Δήμο Καρπενησίου[31]

Η Γεωλογική δομή του Ν. Ευρυτανίας

Γεωλογικά, σε ολόκληρη την περιοχή του Δήμου, όπως και στο σύνολο της περιοχής της Ευρυτανίας ο ορεινός όγκος ανήκει στην ζώνη του Ωλενού – Πίνδου, στην οποία επικρατούν κυρίως δύο πετρώματα, ο ασβεστόλιθος (που αναδύεται στις ψηλότερες θέσεις των βουνών) και ο φλύσχη, που συγκροτείται από ψαμμιτικά πετρώματα, πυριτικούς αργιλικούς σχιστόλιθους που σχηματίζονται στο μεγαλύτερο μέρος των εκτάσεων και εμφανίζονται με διάφορες στρώσεις, οριζόντιες, πλάγιες και κατακόρυφες.

Λόγω της συγκρότησης των πετρωμάτων και ιδιαίτερα της κυριαρχίας του φλύσχη, της εκτεταμένης υλοτόμησης, της φυσικής χαράδρωσης των πλαγιών των βουνών και της φυσικής εκβάθυνσης των ρεμάτων από τη συνεχή απορροή υδάτων, παρατηρούνται συχνά εκτεταμένες κατολισθήσεις εδαφών.[30]

Υδρογεωλογία της ευρύτερης περιοχής

Αναφορικά με την υδρολογική συμπεριφορά των σχηματισμών που δομούν την περιοχή, αυτή καθορίζεται σε σημαντικό βαθμό από τη λιθοστρωματογραφία και την τεκτονική του καταπόνηση, που είναι κύρια υπεύθυνη για τη δημιουργία, τοπικά, του μεγάλου πάχους μανδύα αποσάθρωσης στα υλικά του φλύσχη. Ο φλύσχη στο σύνολό του

χαρακτηρίζεται ως σχηματισμός χαμηλής περατότητας έως πρακτικά στεγανός, χωρίς όμως να αποκλείεται η παρουσία μικρής δυναμικότητας επικρεμάμενων υδροφόρων στρωμάτων. Οι ανωτέρω παρατηρήσεις, σε συνδυασμό με την τεκτονική δομή στην περιοχή, έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία πηγών, οι οποίες τροφοδοτούνται κυρίως, είτε από τον μανδύα αποσάθρωσης, είτε από υδροφόρους ορίζοντες που αναπτύσσονται μέσα στο φλύσχη.

Οι πηγές αυτές τροφοδοτούνται είτε άμεσα από τα νερά των βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων είτε ενισχύονται έμμεσα από τα νερά των μεγαλύτερων πηγών που ρέουν επιφανειακά. Τα νερά όλων αυτών των πηγών, μικροπηγών και εκροών σε πολλές περιπτώσεις, ρέουν ανεξέλεγκτα εμποτίζοντας τους εδαφικούς σχηματισμούς μέχρι βαθμού πλήρους κορεσμού με αποτέλεσμα τη δραστική υποβάθμιση της όλης γαιομηχανικής τους συμπεριφοράς.[30]

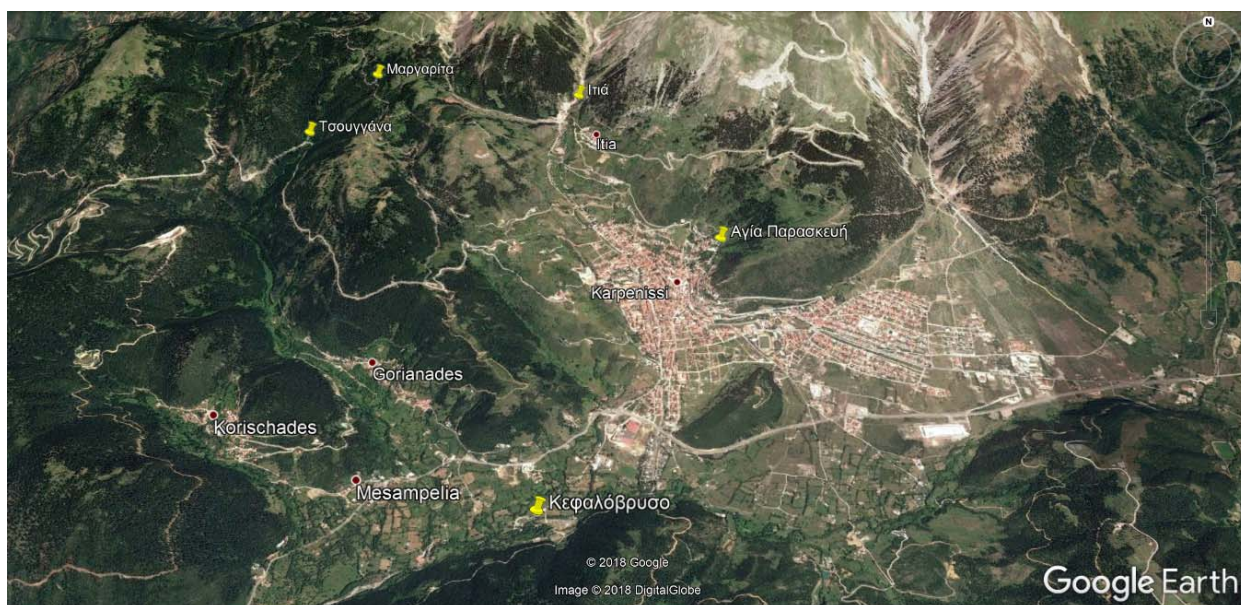
Υλικά και μέθοδοι

Δειγματοληψία

Προκειμένου να γίνει ο ποιοτικός έλεγχος του υπόγειου νερού από τις πηγές της ευρύτερης περιοχής του Καρπενησίου πραγματοποιήθηκαν έξι δειγματοληψίες, οι οποίες ξεκίνησαν Μάρτιο και ολοκληρώθηκαν τον Νοέμβριο του 2017 (26/3/17 έως 6/11/17).

Οι ημερομηνίες δειγματοληψίας ήταν 26/3/17, 7/5/17, 27/6/17, 28/8/17, 10/9/17 και 6/11/17 για όλες τις πηγές.

Οι πηγές από όπου ελήφθησαν τα δείγματα νερού, βρίσκονται περιμετρικά της πόλης του Καρπενησίου όπως φαίνεται και στη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 7 Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης, με τις πηγές δειγματοληψίας.

Τα δείγματα συλλέχθηκαν από όλες τις πηγές πρωινή ώρα σε αποστειρωμένα δοχεία. Τοποθετήθηκαν σε φορητό ψυγείο με παγοκύστες ώστε η θερμοκρασία να διατηρείται 4°C περίπου και το απόγευμα της ίδιας ημέρας μεταφέρθηκαν οδικώς στον Πειραιά και ακτοπλοϊκώς στα Χανιά. Το πρωί της επόμενης ημέρας πραγματοποιήθηκε η πλήρης ανάλυση των δειγμάτων στο εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Υδατικών και Εδαφικών

Πόρων του τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, του ΤΕΙ Κρήτης στα Χανιά. Ο συνολικός χρόνος από την δειγματοληψία (Καρπενήσι) έως την ανάλυση (Χανιά) ήταν 24 ώρες.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των πηγών που μετρήθηκαν περιγράφονται παρακάτω.

❶ **Ιτιά**

Η πηγή βρίσκεται στους πρόποδες του βουνού “ Βελούχι ” σε υψόμετρο 1287 m και περιβάλλεται από δέντρα ενώ κοντά βρίσκεται και το ξενοδοχείο MONTANA. Το νερό της πηγής καταλήγει στο υδραγωγείο του Καρπενησίου και στη συνέχεια στο δίκτυο ύδρευσης της πόλης.



Εικόνα 8 Άποψη της πηγής Ιτιά

❷ **Μαργαρίτα**

Η πηγή βρίσκεται σε απόσταση 6.5 km από το κέντρο της πόλης σε υψόμετρο 1400 m και περιβάλλεται από ελατοδάσος μακριά από οικισμό αλλά πάνω σε επαρχιακό δρόμο. Το νερό και αυτής της πηγής καταλήγει στο υδραγωγείο της πόλης.



Εικόνα 9 Άποψη της πηγής Μαργαρίτα

③ Τσουγγάνα

Η πηγή βρίσκεται σε απόσταση 6.1 km από το κέντρο της πόλης σε υψόμετρο 1150 m και περιβάλλεται από ελατοδάσος μακριά από οικισμό αλλά πάνω σε επαρχιακό δρόμο.



Εικόνα 10 Άποψη της πηγής Τσουγγάνα

④ Αγία Παρασκευή

Η πηγή βρίσκεται εντός της πόλης του Καρπενησίου, μέσα σε οικισμό σε υψόμετρο 1071 m.



Εικόνα 11 Άποψη της πηγής Αγία Παρασκευή

5 Κεφαλόβρυσο

Η πηγή βρίσκεται σε απόσταση 3.4 km από το κέντρο της πόλης σε υψόμετρο 771 m, σε μια ιστορική περιοχή για τον νομό και περιβάλλεται από πλατάνια.



Εικόνα 12 Άποψη της πηγής Κεφαλόβρυσο

5.1 Ανάλυση δειγμάτων νερού

5.1.1 Μέτρηση Οξύτητας (pH)

Η μέτρηση του pH γίνεται ηλεκτρομετρικά με την χρήση ειδικού πολυόργανου (HACHsensionTM156) (εικόνα 13). Τα πεχάμετρα χρησιμοποιούν την αρχή της ποτενσιομετρικής μέτρησης του pH, που προσδιορίζει την ενεργότητα των ιόντων υδρογόνου σε ένα διάλυμα. Η μέτρηση γίνεται με την χρήση ενός ενδεικτικού και ενός ηλεκτροδίου αναφοράς. Το δυναμικό του ενδεικτικού ηλεκτροδίου εξαρτάται εκλεκτικά από την ενεργότητα των ιόντων υδρογόνου στο διάλυμα. Η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια, έπειτα από

βαθμονόμηση, δίνει το pH. Στα ηλεκτρόδια υπάρχει επίσης και ενσωματωμένο θερμομέτρο με το οποίο γίνεται ταυτόχρονη μέτρηση και της θερμοκρασίας του προς εξέταση δείγματος.



Εικόνα 13 pH-μετρο (HACHsensionTM156)[4]

Αρχικά, βγάζουμε το ειδικό ηλεκτρόδιο υάλου καλομέλανος που είναι τοποθετημένο σε ειδικό πλαστικό δοχείο που περιέχει ρυθμιστικό διάλυμα (KCl) για να μην αφυδατώνεται και το ξεπλένουμε καλά με απιονισμένο νερό. Στη συνέχεια, το σκουπίζουμε με απορροφητικό χαρτί και βυθίζουμε το ηλεκτρόδιο στο δοχείο που περιέχει το δείγμα νερού που θέλουμε να εξετάσουμε. Το δείγμα νερού θα πρέπει να καλύπτει τα ευαίσθητα μέρη του ηλεκτροδίου, έτσι ώστε η μέτρηση να είναι έγκυρη. Κατά την μέτρηση, θα πρέπει να γίνεται ανάδευση με τέτοιο ρυθμό, ώστε να μην επιτρέπεται η μεταφορά αέρα από την ατμόσφαιρα στο δείγμα, καθώς επίσης και να εξασφαλίζεται αρκετή κίνηση του νερού ανάμεσα από τα ευαίσθητα μέρη του ηλεκτροδίου. Όταν σταθεροποιείται η μέτρηση, το pH-μετρο βγάζει έναν χαρακτηριστικό ήχο και μπορούμε πλέον να καταγράψουμε την ένδειξη του pH και της θερμοκρασίας. Τέλος, ξεπλένουμε ξανά το ηλεκτρόδιο με απιονισμένο νερό, το σκουπίζουμε και το ανατοποθετούμε στο δοχείο με το ρυθμιστικό διάλυμα.[4]

5.1.2 Αγωγιμότητα – TDS – Αλατότητα

Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, των διαλυμένων στερεών (TDS) και της αλατότητας έγινε ηλεκτρομετρικά με χρήση πολυόργανου (HACHsensionTM156) (εικόνα 14). Τα αγωγιμόμετρα μετρούν το ποσό κάποιου μικρού ρεύματος το οποίο έχει τη δυνατότητα να περάσει μέσω μιας συγκεκριμένης ποσότητας υγρού. Τα διαλυμένα άλατα ή τα θρεπτικά συστατικά μέσα στο νερό επιτρέπουν το ηλεκτρικό ρεύμα να περάσει. Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση τόσο περισσότερο ρεύμα διέρχεται από το διάλυμα και τόσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα. Αποτελούνται συνήθως, από μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος (γέφυρα Wheatstone) και κύταρρο αγωγιμότητας και έτσι δίνουν κατευθείαν την τιμή της αγωγιμότητας.

Πριν από τη μέτρηση ξεπλένουμε το ηλεκτρόδιο με απιονισμένο νερό και το σκουπίζουμε με απορροφητικό χαρτί. Στη συνέχεια, το τοποθετούμε στο δείγμα νερού που είναι προς εξέταση, αναδεύοντάς το μέχρι να δούμε την τελική ένδειξη στο όργανο. Έπειτα, για να πάρουμε την μέτρηση των TDS, πατάμε αντίστοιχο πλήκτρο του οργάνου.[4]



Εικόνα 14 Αγωγιμόμετρο (HACHsensionTM156)[4]

5.1.3 Θολότητα

Η πιο σύγχρονη μέθοδος για τον προσδιορισμό της θολρότητας, είναι η νεφελομετρία ή νεφελομετρική μέθοδος, η οποία συνιστάται για χαμηλές τιμές θολρότητας. Ο προσδιορισμός της θολρότητας με αυτή τη μέθοδο γίνεται με ειδικά όργανα γνωστά ως νεφελόμετρα ή θολρόμετρα (Lovibond CR3210) (εικόνα 15). Η θολρότητα με αυτή τη μέθοδο, μπορεί να προσδιοριστεί σε οποιοδήποτε δείγμα που δεν περιέχει ευμεγέθη στερεά ή σωματίδια που καθιζάνουν γρήγορα. Επίσης, το δείγμα δεν πρέπει να περιέχει φυσαλίδες ή να είναι έγχρωμο.



Εικόνα 15 Θολρόμετρο Lovibond CR3210[4]

Πριν από τη μέτρηση, γίνεται βαθμονόμηση του θολρόμετρου με πρότυπα διαλύματα που διατίθενται μαζί με το όργανο, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Στη συνέχεια, έχοντας ανοιχτή τη συσκευή, γεμίζουμε την κυψελίδα με δείγμα νερού μέχρι το όριο και την τοποθετούμε στον υποδοχέα του οργάνου. Κλείνουμε το καπάκι και πατάμε το πλήκτρο 'MODE', όσες φορές χρειάζεται για να ρυθμίσουμε το κατάλληλο εύρος τιμών. Τέλος, πατάμε το πλήκτρο 'ZERO TEST' για να πάρουμε την τελική μέτρηση του οργάνου.

Είναι σημαντικό η κυψελίδα να παραμένει καθαρή, χωρίς σκόνες, να ξεπλένεται με το δείγμα λίγες φορές και έπειτα να γεμίζεται σιγά σιγά, ώστε να ρέει κατά μήκος της κυψελίδας, αποτρέποντας έτσι την δημιουργία φυσαλίδων που μπορεί να προκαλέσουν σφάλματα κατά την μέτρηση.[4]

5.1.4 Σκληρότητα

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας γίνεται ογκομετρικά και βασίζεται στην από κοινού δέσμευση των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου από τη χημική ένωση E.D.T.A (Ethylene-Diamino-Tetraacetic Acid), σε αλκαλικό περιβάλλον (pH= 10 +/- 0,1), παρουσία δείκτη Eriochrome Black T. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή ως μέθοδος E.D.T.A.[1]

Πειραματική διαδικασία:

Αρχικά, με τη βοήθεια χωνιού, ξεπλένουμε τη προχοΐδα πρώτα με απιονισμένο νερό και έπειτα με το πρότυπο διάλυμα E.D.T.A 0,01M που είναι και το διάλυμα με το οποίο θα συμπληρωθεί η προχοΐδα και θα ογκομετρηθεί το δείγμα. Σε κωνική φιάλη των 250 ml μεταφέρουμε με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου 25 ml δείγματος και προσθέτουμε μια ταμπλέτα σκληρότητας. Αναδεύουμε την κωνική με το χέρι μέχρι να διαλυθεί τελείως η ταμπλέτα και το δείγμα να πάρει ένα καφέ χρώμα. Στη συνέχεια, με σιφόνιο προσθέτουμε 1 ml αμμωνία (NH₄) στο δείγμα, το οποίο πλέον αποκτά ένα μπορντό χρώμα. Αφού προσθέσουμε την αμμωνία, πρέπει άμεσα να ξεκινήσει η ογκομέτρηση του δείγματος με το πρότυπο διάλυμα E.D.T.A 0,01M. Πριν αρχίσει η ογκομέτρηση πρέπει να σημειώσουμε την αρχική ένδειξη του διαλύματος στην προχοΐδα. Έπειτα, ανοίγουμε την προχοΐδα πολύ λίγο, έτσι ώστε να πέφτει το διάλυμα E.D.T.A σταγόνα σταγόνα και αρχίζουμε να αναδεύουμε την κωνική, έως ότου το δείγμα να αποκτήσει ένα έντονο κυπαρισσί χρώμα. Όταν το χρώμα αλλάξει, σταματά αμέσως η ογκομέτρηση και σημειώνεται η τελική τιμή της ποσότητας E.D.T.A 0,01M στην προχοΐδα. Τέλος, για τον υπολογισμό της ποσότητας E.D.T.A 0,01M που καταναλώθηκε, αφαιρείται η αρχική τιμή από την τελική. Είναι πολύ σημαντικό η ογκομέτρηση να γίνεται αργά, ώστε να αποφευχθούν τυχόν λάθη. Η ολική σκληρότητα ανθρακικού ασβεστίου υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{Σκληρότητα (mg CaCO}_3\text{)} = \frac{(V_1 * 1000)}{V_2}$$

όπου V₁: ml πρότυπου διαλύματος E.D.T.A 0,01M που καταναλώθηκαν και V₂: ml δείγματος νερού



Εικόνα 16 Αντιδραστήρια για τον προσδιορισμό της σκληρότητας[35]

5.1.5 Χλωριόντα Cl⁻

Ο προσδιορισμός των χλωριόντων, γίνεται με τη μέθοδο του νιτρικού αργύρου (μέθοδος Mohr), η οποία είναι η παλαιότερη και συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος και είναι κατάλληλη για σχετικά καθαρά νερά με συγκέντρωση χλωριόντων από 1,5 έως 100 mg/L. Πρόκειται για ογκομετρική μέθοδο που στηρίζεται στη δέσμευση των χλωριόντων υπό τη μορφή AgCl₂, παρουσία δείκτη χρωμικού καλίου κατά την ογκομέτρηση ορισμένης ποσότητας δείγματος, με διάλυμα νιτρικού αργύρου (AgNO₃).[1]

Πειραματική διαδικασία:

Αρχικά, με τη βοήθεια χωνιού, ξεπλένουμε τη προχοΐδα πρώτα με απιονισμένο νερό και έπειτα με το πρότυπο διάλυμα νιτρικού αργύρου AgNO₃ 0,01N που είναι και το διάλυμα με το οποίο θα συμπληρωθεί η προχοΐδα και θα ογκομετρηθεί το δείγμα. Σε κωνική φιάλη των 250 ml προσθέτουμε 25 ml δείγματος και 1 ml διχρωμικού καλίου (K₂CrO₄ 2%). Το δείγμα γίνεται κίτρινο. Πριν αρχίσει η ογκομέτρηση, καταγράφεται η αρχική ένδειξη της ποσότητας του AgNO₃ στην προχοΐδα. Στη συνέχεια, αρχίζει η ογκομέτρηση σιγά σιγά αναδεύοντας συνεχώς την κωνική μέχρι τελικού σημείου, με την αλλαγή του χρώματος από κίτρινο σε πορτοκαλί. Τέλος, σημειώνεται η τελική ένδειξη της ποσότητας AgNO₃ στην προχοΐδα. Η αρχική τιμή αφαιρείται από την τελική τιμή και έτσι υπολογίζεται η ποσότητα AgNO₃ που καταναλώθηκε.



Εικόνα 17 Αντιδραστήρια για τον προσδιορισμό των χλωριόντων[4]

Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του χλωρίου είναι:

$$\text{Χλωριόντα (mg/L)} = \frac{(A - B) \cdot N \cdot 35,450}{C}$$

Όπου, A= ml διαλύματος AgNO₃ που καταναλώθηκε, B= ml διαλύματος AgNO₃ που καταναλώθηκαν για το λευκό, N= η κανονικότητα του διαλύματος AgNO₃ και C= ml δείγματος

5.1.6 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)

Η μέτρηση του COD γίνεται με ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδο, όπου χρησιμοποιείται έτοιμο kit μέτρησης. Η αρχή της μεθόδου βασίζεται στην οξείδωση του δείγματος με ισχυρό οξειδωτικό διχρωμικό κάλιο (K₂Cr₂O₇), σε όξινο περιβάλλον (εξασφαλίζεται με πυκνό H₂SO₄) και υψηλή θερμοκρασία παρουσία καταλύτη (Ag₂SO₄). Μετά από χώνευση του μείγματος σε

υψηλή θερμοκρασία για 2 ώρες, γίνεται προσδιορισμός της περιέσεως των διχρωμικών ιόντων με φωτομέτρηση στα 593 nm.[1]

Πειραματική διαδικασία:

Αρχικά, σε κάθε έτοιμο κλειστό φιαλίδιο του kit μέτρησης που περιέχει ήδη μίγμα αντιδραστηρίων, προσθέτουμε προσεκτικά με σιφώνιο 3 ml δείγματος νερού. Είναι σημαντικό, η προσθήκη του νερού με το σιφώνι να γίνεται από απόσταση, ώστε να μην ακουμπήσει το σιφώνι στη μύτη και μεταφερθούν χημικά του kit και δεν μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί. Τα αντιδραστήρια είναι ισχυρά οξειδωτικά και παράγεται θερμότητα, οπότε απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή και στην ανάδευσή τους στον αναδευτήρα. Στη συνέχεια, τα φιαλίδια τοποθετούνται στον θερμοαντιδραστήρα (εικόνα 6.1.7.1) για 120 min (χρόνος χώνευσης) στους 148°C (θερμοκρασία χώνευσης). Αφού περάσουν τα 120 min, ο θερμοαντιδραστήρας με ηχητικό σήμα, μας ειδοποιεί ότι έχει περάσει ο απαιτούμενος χρόνος και τα φιαλίδια αφήνονται 10 min, μέχρι να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Στην συνέχεια τίθεται σε λειτουργία το φωτόμετρο (MERCK Spectroquant NOVA 60) (εικόνα 6.1.7.2), και τοποθετούνται τα φιαλίδια στο φωτόμετρο. Το φωτόμετρο διεξάγει έναν αυτοέλεγχο όλου του συστήματος και επιλέγει αυτόματα τον τρόπο μέτρησης Concentration (συγκέντρωση). Στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη insert "Cell or start measurement". Τότε, τοποθετείται το φιαλίδιο στον υποδοχέα των κυλινδρικών φιαλιδίων, έως ότου να "κουμπώσει". Η κάθετη γραμμή (μαρκάρισμα) του autoselector πρέπει να δείχνει προς την εγκοπή του φωτόμετρου. Αμέσως, εμφανίζεται η ένδειξη "measuring" (μέτρηση στα 593 nm) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.



Εικόνα 18 Θερμοαντιδραστήρας[4] **Εικόνα 19** Φωτόμετρο (MERCK Spectroquant NOVA 60)

Δείγματα νερού τα οποία περιέχουν $Cl > 2000 \text{ mg/L}$, θα πρέπει να αραιώνονται με απιονισμένο νερό, ενώ θολά δείγματα θα πρέπει να φιλτράρονται πριν τη μέτρηση του COD, διότι διαφορετικά δίνουν σφάλματα. Προσοχή! Μετά την ολοκλήρωση της μέτρησης τα φιαλίδια δεν πετάγονται γιατί περιέχουν διαβρωτικά και τοξικά συστατικά.

5.1.7 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)

Η μέτρηση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου γίνεται μανομετρικά, με τη χρήση ειδικής συσκευής μέτρησης BOD Lovibond (εικόνα 20). Αυτός ο προσδιορισμός περιλαμβάνει τη μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου που χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς στη βιοχημική οξείδωση της οργανικής ύλης, που περιέχει ορισμένος όγκος νερού, που επώάζεται σε ειδικές φιάλες τοποθετημένες σε σκοτεινό θάλαμο επώασης σταθερής θερμοκρασίας 20°C, για

διάστημα πέντε ημερών. Ο εξοπλισμός της συσκευής αποτελείται από την κεφαλή, η οποία είναι ένας ψηφιακός αισθητήρας BOD (Lovibond) που απλά βιδώνει στη σκουρόχρωμη γυάλινη φιάλη η οποία φέρει παγίδα CO₂ και περιέχει το δείγμα.[4]



Εικόνα 20 Εξοπλισμός για την μέτρηση του BOD[4]

Πειραματική διαδικασία:

Πριν αρχίσει η διαδικασία ελέγχουμε το pH του δείγματος, ώστε να κυμαίνεται μέσα στο επιθυμητό εύρος τιμών (6.5-7.5). Αν το pH έχει μεγαλύτερη τιμή από την επιθυμητή, τότε αυτό ρυθμίζεται με την προσθήκη διαλύματος HCl 0,1N με σταγονόμετρο. Αν η τιμή του pH είναι μικρότερη, τότε ρυθμίζεται με την προσθήκη διαλύματος NaOH 0,1N. Η ρύθμιση του pH γίνεται σε κωνική φιάλη 500 ml με το δείγμα νερού, στην οποία προστίθεται μια μαγνητική ράβδος και με συνεχή ανάδευση σε αναδευτήρα.

Αφού ολοκληρωθεί η ρύθμιση του pH, μεταφέρεται το δείγμα σε μια γυάλινη σφαιρική φιάλη υπερχειλίσσης των 428 ml. Στη συνέχεια, μεταφέρεται με χωνί στην ειδική σκουρόχρωμη φιάλη BOD και με μια κίνηση προς αποφυγή απωλειών. Έπειτα, προστίθεται μαγνητική ράβδος ανάδευσης και τοποθετείται μια πλαστική θήκη από καουτσούκ στο στόμιο της σκουρόχρωμης φιάλης, μέσα στην οποία προσθέτουμε 2 σταγόνες διαλύματος NaOH 45%. Οι φιάλες διατηρούνται σε σκοτεινό θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας 20°C για 30 min, χωρίς τις κεφαλές ώστε το δείγμα να έρθει σε θερμοκρασία 20°C και να είναι κορεσμένο με οξυγόνο στην θερμοκρασία αυτή. Μετά το πέρας των 30 min, τοποθετούνται οι ψηφιακές κεφαλές και μηδενίζονται οι ενδείξεις πατώντας ταυτόχρονα τα πλήκτρα S και M, μέχρι να δείξουν την ένδειξη 00 στην οθόνη. Οι φιάλες παραμένουν στον θερμοστατούμενο θάλαμο επώασης για πέντε μέρες. Ο ψηφιακός αισθητήρας του BOD καταγράφει μια μέτρηση κάθε 24 ώρες, η οποία αποθηκεύεται αυτόματα στη μνήμη και πατώντας το κουμπί M για 1 sec εμφανίζεται η τιμή της τρέχουσας ημέρας. Με το τέλος των 5 ημερών οι τιμές έχουν αποθηκευτεί στη μνήμη του αισθητήρα και πατώντας διαδοχικά το κουμπί S αυτές εμφανίζονται με χρονολογική σειρά.

5.1.8 Νιτρικά ιόντα (NO₃⁻)

Για τον προσδιορισμό των νιτρικών ιόντων (NO₃⁻), χρησιμοποιείται το Spectroquant Nitrate Test (1097130001) της Merck (kit test), μια ημιποσοτική μέθοδος προσδιορισμού με εύρος μέτρησης 0,10-25 mg/L NO₃-N και φωτομέτρηση.

Πειραματική διαδικασία:

Αρχικά, με τη χρήση της πλαστικής σύριγγας, που περιέχεται μέσα στο kit, μεταφέρονται 4 ml από το αντιδραστήριο NO₃-1 μέσα σε δοκιμαστικό σωλήνα. Στη συνέχεια, προστίθενται στον δοκιμαστικό σωλήνα 0,5 ml δείγματος και 0,5 ml από το αντιδραστήριο NO₃-2 με πιπέτα ακριβείας. Βιδώνεται ο δοκιμαστικός σωλήνας και ανακινείται με προσοχή, γιατί το περιεχόμενό του ζεσταίνεται αρκετά. Αφήνουμε τον δοκιμαστικό σωλήνα σε ηρεμία για 10 min, ώστε να πραγματοποιηθεί η αντίδραση.

Μετά το πέρας των 10 min, ανοίγουμε το καπάκι του φωτόμετρου, ώστε να τεθεί σε λειτουργία το όργανο. Έπειτα, μεταφέρουμε το δείγμα σε μια ορθογώνια κυψελίδα χαλαζία πάχους 10 mm, η οποία σκουπίζεται πολύ καλά και την τοποθετούμε στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του φωτόμετρου. Αμέσως, εμφανίζεται η ένδειξη “measuring” (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.

Η μέτρηση αυτή πρέπει να διεξάγεται αμέσως μετά την δειγματοληψία, επίσης δείγματα με μεγάλη θολότητα πρέπει απαραίτητα να διηθούνται γιατί δίνουν θετικό σφάλμα στη μέτρηση. Επίσης, τυχόν αιωρούμενα στερεά που μπορεί να υπάρχουν μέσα στο δείγμα πρέπει να διαλύονται ή να απομακρύνονται με κατάλληλη μέθοδο. Τέλος, είναι σημαντικό κατά την μέτρηση τα φιαλίδια να είναι καθαρά. Δείγματα στα οποία διακρίνεται θολερότητα, τα αποτελέσματα της μέτρησης δεν πρέπει να τα λαμβάνουμε ως αξιόπιστα.[1]

5.1.9 Αμμωνιακά ιόντα (NH₄⁺)

Για τον προσδιορισμό των αμμωνιακών ιόντων (NH₄⁺), χρησιμοποιείται το Ammonium reagent test της MERCK 14752 (kit test), μια ημιποσοτική μέθοδος προσδιορισμού με εύρος μέτρησης 0,05-3 mg/L NH₄-N και φωτομέτρηση.

Πειραματική διαδικασία:

Αρχικά, με ένα σιφόνι μεταφέρονται 5 ml δείγματος σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα και προστίθενται 0,6 ml του αντιδραστήριου NH₄-1B. Ο δοκιμαστικός σωλήνας αναδεύεται με τη βοήθεια αναδευτήρα. Στη συνέχεια, προστίθεται μια δόση του αντιδραστήριου NH₄-2B και ακολουθεί ανάδευση για να διαλυθεί το στερεό αντιδραστήριο. Ακολουθεί παραμονή των φιαλιδίων σε ηρεμία για 5 min. Μετά το πέρας των 5 min, προστίθενται 4 σταγόνες του αντιδραστήριου NH₄-3B και ακολουθεί ανάδευση. Ο σωλήνας διατηρείται σε ηρεμία για ακόμα 5 min.

Μετά το πέρας των 5 min, τίθεται σε λειτουργία το φωτόμετρο. Το δείγμα μεταφέρεται σε μια ορθογώνια κυψελίδα χαλαζία πάχους 10 mm, η οποία σκουπίζεται πολύ καλά και τοποθετείται στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του φωτόμετρου. Αμέσως, εμφανίζεται η ένδειξη “measuring” (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.

5.1.10 Φωσφορικά ιόντα (PO₄⁻)

Για τη μέτρηση των φωσφορικών ιόντων (PO₄⁻), χρησιμοποιείται το Phosphate reagent test της MERCK 14848 (kit test). Αποτελεί μια ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδο με εύρος μέτρησης 0,05-5 mg/L PO₄-P.

Πειραματική διαδικασία:

Αρχικά, τοποθετούνται 5 ml δείγματος νερού με σιφόνιο στο δοκιμαστικό σωλήνα της μεθόδου που δεν περιέχει κάποιο μίγμα αντιδραστηρίων. Προστίθενται ακόμη 5 σταγόνες του αντιδραστηρίου P-1A. Ακολουθεί ανάδευση σε αναδευτήρα. Προστίθεται μία δόση (1 κουταλάκι) του αντιδραστηρίου P-2A με μικροκουταλάκι και ακολουθεί πάλι ανάδευση, έως ότου διαλυθεί το ίζημα. Ο σωλήνας διατηρείται σε ηρεμία για 5 min για να πραγματοποιηθεί η χημική αντίδραση.

Μετά το πέρας των 5 min, τίθεται σε λειτουργία το φωτόμετρο. Το δείγμα μεταφέρεται σε μια ορθογώνια κυψελίδα χαλαζία πάχους 10 mm, η οποία σκουπίζεται πολύ καλά και τοποθετείται στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του φωτόμετρου. Αμέσως, εμφανίζεται η ένδειξη ‘‘measuring’’ (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.

5.1.11 Θεϊκά ιόντα (SO_4^-)

Για τον προσδιορισμό των θεϊκών ιόντων (SO_4^-) χρησιμοποιείται η ημιποσοτική μέθοδος με το Sulfate Cell test της MERCK 14411 (kit test). Το εύρος μέτρησης είναι 20-300 mg/L.

Πειραματική διαδικασία:

Αρχικά, με σιφόνι μεταφέρονται 2,5 ml δείγματος νερού σε έναν δοκιμαστικό σωλήνα. Στη συνέχεια, προστίθενται 2 σταγόνες από το αντιδραστήριο SO_4^{-1} και αφού αναδευτεί καλά με τη βοήθεια του αναδευτήρα, προστίθεται 1 κουταλιά από το αντιδραστήριο SO_4^{-2} . Αναδεύεται ξανά και ακολουθεί παραμονή του δοκιμαστικού σωλήνα σε υδατόλουτρο (εικόνα 21) σταθερής θερμοκρασίας 40°C για 5 min, για να πραγματοποιηθεί η αντίδραση.

Μετά το τέλος των 5 min προστίθενται 2,5 ml από το αντιδραστήριο SO_4^{-3} , αναδεύεται ξανά, φιλτράρεται όλο το περιεχόμενο του δοκιμαστικού σωλήνα με απλό φίλτρο σε άλλο δοκιμαστικό σωλήνα. Στο φιλτραρισμένο δείγμα, προστίθενται 4 σταγόνες από το αντιδραστήριο SO_4^{-4} και αναδεύεται. Τέλος, ο δοκιμαστικός σωλήνας παραμένει για άλλα 7 λεπτά στο υδατόλουτρο και μετά το πέρας του χρόνου επώασης ακολουθεί μέτρηση του δείγματος στο φωτόμετρο χρησιμοποιώντας την κυψελίδα των 10 mm.



Εικόνα 21 Υδατόλουτρο

5.1.12 Προσδιορισμός των συγκεντρώσεων K^+ - Na^+ - Ca^{2+}

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό των συγκεντρώσεων K (καλίου), Na (νατρίου), Ca (ασβεστίου) χρησιμοποιείται η φλογοφωτομετρική μέθοδος με την χρήση των φασμάτων εκπομπής σε φλόγα, με όργανο το φλογοφωτόμετρο (Sherwood flame Photometer) (εικόνα 22).

Πειραματική διαδικασία:

Αρχικά, φιλτράρουμε τα δείγματα που είναι προς μέτρηση και τα βάζουμε σε ειδικά πλαστικά μπουκαλάκια μικρής χωρητικότητας. Έπειτα, ανοίγουμε το φλογοφωτόμετρο και δημιουργείται η φλόγα, έχοντας πρώτα συνδέσει φιάλη προπανίου η οποία συνδέεται με το φλογοφωτόμετρο, ούτως ώστε να τροφοδοτήσει με την απαραίτητη ποσότητα καυσίμου το όργανο και πατώντας έναν ειδικό διακόπτη πάνω στο φλογοφωτόμετρο δημιουργείται η φλόγα. Αφήνουμε το όργανο για 30 min να σταθεροποιηθεί η φλόγα και έπειτα πραγματοποιούμε τη βαθμονόμησή του.

Η διαδικασία βαθμονόμησης του οργάνου στηρίζεται στην αρχή του ψεκασμού της φλόγας του οργάνου, η οποία έχει μπλε χρώμα, διαμέσου ενός σωλήνα πολύ μικρής διαμέτρου με τα πρότυπα διαλύματα γνωστών συγκεντρώσεων των στοιχείων που επιθυμούμε να μετρήσουμε, καθώς επίσης και ενός τυφλού διαλύματος που περιέχει διάφορες ουσίες πλην αυτής που επιθυμούμε. Η φλόγα με αυτόν τον τρόπο, χρωματίζεται με ένα συγκεκριμένο χρώμα που είναι χαρακτηριστικό για κάθε ένωση και οφείλεται στο γεγονός ότι τα μόρια της ένωσης η οποία μπαίνει στη φλόγα διασπώνται σε άτομα. Τα άτομα διεγείρονται και κατά την αποδιέγερσή τους παρατηρείται εκπομπή ακτινοβολίας. Το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται, δηλαδή το χρώμα της φλόγας, εξαρτάται από τη φύση του στοιχείου που εισέρχεται στο χώρο της φλόγας.



Εικόνα 22 Φλογοφωτόμετρο (Sherwood flame Photometer)[4]

Η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται είναι το μέτρο της συγκέντρωσης του στοιχείου στο δείγμα που εισάγεται στη φλόγα. Το οπτικό σύστημα που χρησιμοποιείται στα φλογοφωτόμετρα αποτελείται από φίλτρα απορρόφησης και ως φωτοανιχνευτές χρησιμοποιούνται φωτοστοιχεία. Ένα φλογοφωτόμετρο είναι έτσι σχεδιασμένο, ώστε να παράγει φλόγες τόσων θερμοκρασιών έτσι ώστε να διεγείρονται όσο το δυνατόν περισσότερα στοιχεία, να μπορούν να προσδιοριστούν τα μήκη κύματος και να είναι μετρήσιμη η έντασή τους. Τα σημερινά όργανα μπορούν να μετρήσουν 60-70 στοιχεία.

Από έναν διακόπτη, ο οποίος βρίσκεται στο πάνω μέρος του φλογοφωτόμετρου, επιλέγουμε το στοιχείο που θα πραγματοποιηθεί η μέτρηση (K^+ - Na^+ - Ca_2^+). Στη συνέχεια, από μια ροδέλα ρυθμίζουμε το εύρος των τιμών της ουσίας που πρόκειται να μετρήσουμε και σταθεροποιείται η τιμή μηδέν με τη χρήση υπερκάθαρου νερού σε ποτήρι ζέσεως (τυφλό διάλυμα), το οποίο τοποθετείται στην ειδική εσοχή του φλογοφωτόμετρου. Το ειδικό σωληνάκι της συσκευής εμποτίζεται επαρκώς μέσα στο υπερκάθαρο νερό και έτσι "ρουφάει" μια ποσότητα νερού (3-6 ml/min), η οποία ραντίζει τη φλόγα του οργάνου. Η φλόγα με τη σειρά της, χρωματίζεται με ένα συγκεκριμένο χρώμα που είναι χαρακτηριστικό για το υπερκάθαρο νερό και οφείλεται στο γεγονός ότι τα μόρια της ένωσης η οποία μπαίνει στη φλόγα διασπώνται σε άτομα. Η βαθμονόμηση συνεχίζεται με τον ίδιο τρόπο, χρησιμοποιώντας τα πρότυπα διαλύματα του Ca_2^+ διαφορετικών συγκεντρώσεων και καταγράφονται οι ενδείξεις του οργάνου για κάθε ένα από αυτά.[4]

5.1.13 Προσδιορισμός μικροβιολογικού φορτίου

Ο προσδιορισμός του μικροβιολογικού φορτίου γίνεται με τη μέθοδο των μεμβρανών. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη κατακράτηση σε φίλτρο όλων των μικροοργανισμών, με μέγεθος μεγαλύτερο των 0,45 μm (διάμετρος των πόρων της μεμβράνης), που περιέχονται στο διηθούμενο δείγμα και ανάπτυξη των μικροοργανισμών σε αποικίες, με τη χρησιμοποίηση εκλεκτικού υποστρώματος και την επώασή τους σε κατάλληλη θερμοκρασία.

Πριν πραγματοποιήσουμε τη μέθοδο των μεμβρανών, πρέπει πρώτα να παρασκευάσουμε τα θρεπτικά υποστρώματα, τα οποία είναι διαφορετικά για το κάθε είδος των μικροοργανισμών. η διαδικασία παρασκευής του κάθε θρεπτικού υποστρώματος έχει ως εξής:

Για την παρασκευή των θρεπτικών υποστρωμάτων των **κοπρανώδων κολοβακτηρίων (Fecal Coliforms)**, αρχικά ζυγίζουμε την απαιτούμενη ποσότητα σκόνης Membrane Lauryl Sulfate Broth (θειικό άλας του λαουρικού οξέος), την οποία μεταφέρουμε σε αποστειρωμένο γυάλινο δοχείο προσεκτικά για να μην συγκρατηθεί στα τοιχώματα. Στη συνέχεια, ζυγίζουμε και την απαιτούμενη ποσότητα Agar την οποία μεταφέρουμε και αυτή στο αποστειρωμένο δοχείο. Προσθέτουμε το απαιτούμενο απιονισμένο νερό και ρίχνουμε μέσα στο δείγμα ένα μαγνητάκι. Έπειτα, τοποθετούμε το δοχείο για λίγα λεπτά στον μαγνητικό αναδευτήρα (εικόνα 23). Αμέσως μετά, βάζουμε το δοχείο σε κλίβανο αποστείρωσης για 10 min στους 115°C. Μετά το πέρας του χρόνου, μοιράζουμε το δείγμα σε ίδιες ποσότητες στα τριβλία διαμέτρου 50 mm (περίπου 4 ml στο καθένα) πριν αυτό κρυώσει. Χρειάζεται προσοχή καθώς το δοχείο είναι αρκετά ζεστό. Τέλος, αφήνουμε τα τριβλία να σταθεροποιηθούν και τα τοποθετούμε σε ψυγείο, όπου και μπορούν διατηρηθούν έως και τρεις μήνες από την ημέρα παρασκευής τους. Τα συγκεκριμένα θρεπτικά υποστρώματα είναι κόκκινου χρώματος.

Για την παρασκευή των θρεπτικών υποστρωμάτων για την μέτρηση των αποικιών *E coli* χρησιμοποιήθηκε υπόστρωμα Herlequin Typtone Bile Glucuronide Agar (TBX). Ζυγίζονται 36,5 gr από και διαλύονται σε 1l απιονισμένου νερού. Στην συνέχεια, το μπουκάλι που περιέχεται το μείγμα αποστειρώνεται στους 121°C για 15 min. Μετά το μείγμα διαμοιράζεται σε τριβλία διαμέτρου 50 mm (περίπου 4 ml στο καθένα). Για την ανάλυση των δειγμάτων ακολουθείται η διαδικασία διήθησης και τα petri τοποθετούνται στον θάλαμο επώασης, στους 47°C για 24 h και μετά το πέρας του απαιτούμενου χρόνου καταμετρούνται οι αποικίες, χρώματος μπλέ, που έχουν δημιουργηθεί.



Εικόνα 23 Μαγνητικός αναδευτήρας

Για την παρασκευή των θρεπτικών υποστρωμάτων του **εντερόκοκκου** (*Fecal streptococci*), ζυγίζουμε την απαιτούμενη ποσότητα σκόνης Slanetz and Bartley Medium σε ζυγαριά, την οποία βάζουμε σε πιατάκι και τη μεταφέρουμε σε γυάλινο δοχείο. Προσθέτουμε το απαιτούμενο αποστειρωμένο απιονισμένο νερό και ένα μαγνητάκι. Η φιάλη τοποθετείται σε μπεν μαρί πάνω σε θερμαινόμενο μαγνητικό αναδευτήρα, όπου το μίγμα αναδεύεται και θερμαίνεται μέχρι την έναρξη βρασμού. Στη συνέχεια το υπόστρωμα διαμοιράζεται σε petri διαμέτρου 50 mm (περίπου 4 ml στο καθένα). Για την ανάλυση των δειγμάτων ακολουθείται η διαδικασία διήθησης και στην συνέχεια τα petri τοποθετούνται στον θάλαμο επώασης, στους 38 °C για 48 h. Μετά το πέρας του απαιτούμενου χρόνου καταμετρούνται οι αποικίες, χρώματος μωβ, που έχουν δημιουργηθεί.

Πειραματική διαδικασία:

Αρχικά, με αποστειρωμένη λαβίδα, τοποθεείται φίλτρο κυτταρίνης πάνω στην επιφάνεια της βάσης ενός μαγνητικού φίλτρου, το οποίο εφαρμόζεται στην υποδοχή μιας κωνικής φιάλης Buchner (εικόνα 24). Στη συνέχεια, η χοάνη διήθησης προσαρμόζεται μαγνητικά πάνω στη βάση με το φίλτρο και μεταφέρονται σε αυτό 100 ml δείγματος νερού με ογκομετρικό κύλινδρο. Συνδέεται με αντλία κενού αέρος και περάσει όλο το δείγμα από το φίλτρο, κλείνουμε την αντλία, απομακρύνουμε τη χοάνη και με τη βοήθεια της λαβίδας το φίλτρο τοποθετείται προσεκτικά μέσα στο τριβλίο με το ανάλογο θρεπτικό υπόστρωμα. Είναι πολύ σημαντικό η εφαρμογή του φίλτρου στο τριβλίο να γίνει σωστά, ώστε να μην εγκλωβιστεί αέρας ανάμεσα στο υπόστρωμα και στο φίλτρο. Τα τριβλία παραμένουν σε φούρνους σταθερής θερμοκρασίας όπου και επωάζονται.

Μετά το πέρας των απαιτούμενων χρόνων, πραγματοποιούμε καταμέτρηση των αποικιών που έχουν δημιουργηθεί στην επιφάνεια του φίλτρου κυτταρίνης μετά την επώαση. Τα κοπρανώδη κολοβακτήρια δημιουργούν αποικίες κίτρινου χρώματος, τα *E. coli* μπλε χρώματος ενώ οι εντερόκοκκοι μπορντό χρώματος.



Εικόνα 24 Μαγνητική χοάνη διήθησης και αντλία κενού (Buchi Vac® V-500)[4]

6. Αποτελέσματα – Συζήτηση

6.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων των αναλύσεων σε συγκεντρωτικά γραφήματα

1) Ιτιά

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

Το **pH** παρουσιάζει διακυμάνσεις στις τιμές του σε όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών. Κυμαίνεται μεταξύ 6.7 και 7.49 παίρνοντας την ελάχιστη τιμή του στις 10/9/17 και την μέγιστη περίπου τρεις μήνες νωρίτερα, στις 27/6/17. Οι τιμές αυτές είναι εντός των ορίων (6.5-8.5) που προβλέπονται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό.

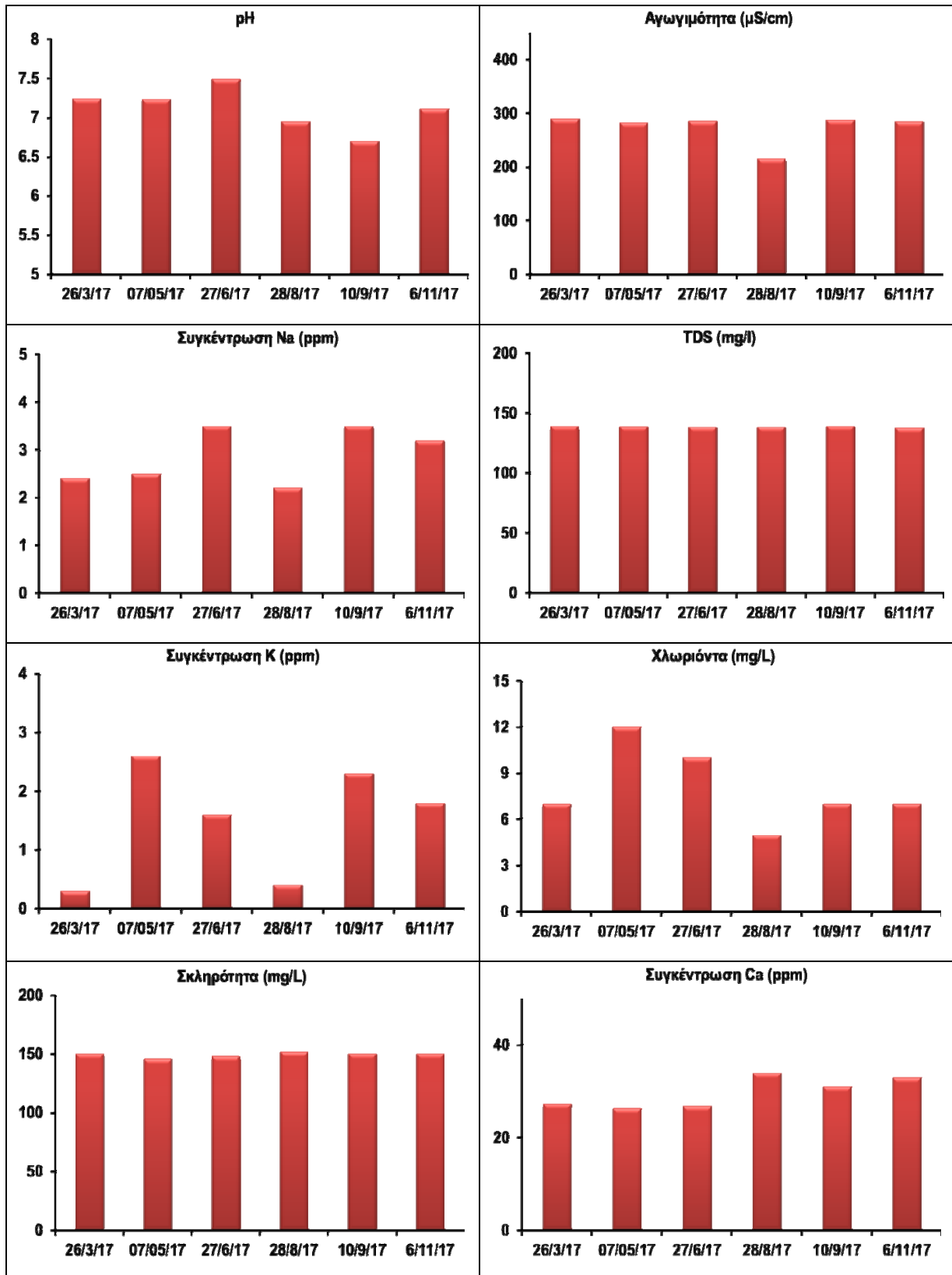
Η **αγωγιμότητα** με μέγιστη τιμή 289 $\mu\text{S}/\text{cm}$ τον πρώτο μήνα των δειγματοληψιών στις 26/3/17 και παρουσιάζει μείωση στις 28/8/17, η οποία είναι και η ελάχιστη τιμή. Τον επόμενο μήνα όμως επανέρχεται στο ίδιο σχεδόν επίπεδο που είχε στις 26/3/17, δηλαδή την πρώτη δειγματοληψία. Οι τιμές της αγωγιμότητας βρίσκονται μέσα στα όρια (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) της νομοθεσίας για το πόσιμο νερό.

Το **νάτριο (Na)** κυμαίνεται σε πιο σταθερά επίπεδα σε σχέση με τις διακυμάνσεις του καλίου. Παίρνει την ελάχιστη τιμή, 2.2 ppm, στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία) και την μέγιστη τιμή, 3.5 ppm, στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) αλλά και στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία).

Τα **TDS** έχουν άμεση σύνδεση με την αγωγιμότητα αλλά οι τιμές τους δεν ακολουθούν τη διακύμανση αυτών της αγωγιμότητας. Οι τιμές των TDS είναι σταθερές κατά την διάρκεια όλων των δειγματοληψιών, όπου κυμαίνονται από 137.6 – 139.1 mg/L. Παίρνουν τη μέγιστη τιμή στις 27/3/17 (1^η δειγματοληψία) και την ελάχιστη στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία).

Το **κάλιο (K)** παρουσιάζει διακυμάνσεις στις τιμές του και κυμαίνεται από 0.3 – 2.6 ppm. Η ελάχιστη τιμή του σημειώνεται στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία) και η μέγιστη στην αμέσως επόμενη δειγματοληψία στις 7/5/17.

Τα **χλωριόντα** με ελάχιστη τιμή 5 mg/L στις 28/8/17 και μέγιστη τιμή 12 mg/L στις 7/5/17. Οι τιμές των χλωριόντων είναι κατά πολύ μέσα στα επιτρεπτά όρια των 200 mg/L που προβλέπει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό.



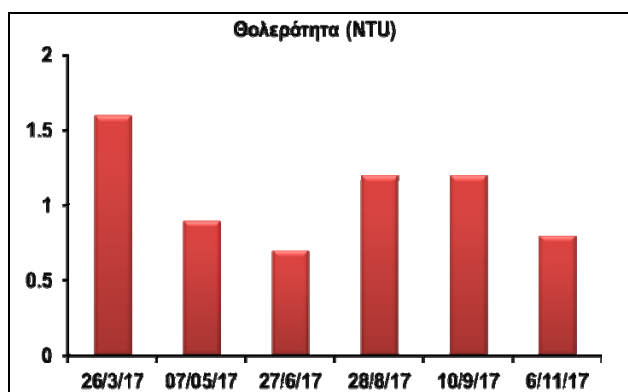
Σχήμα 7 Γραφική απεικόνιση φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της πηγής Ιτιά

Η σκληρότητα κυμαίνεται σε σταθερά επίπεδα μεταξύ 146 – 152 mg/L, με την ελάχιστη τιμή στις 7/5/17 (2^η δειγματοληψία) και την μέγιστη στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία). Είναι

χαρακτηριστικό ότι στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία) η αγωγιμότητα παίρνει την ελάχιστη τιμή της, όπως επίσης και τα χλωριόντα ενώ αντίθετα η σκληρότητα παίρνει τη μέγιστη τιμή της.

Το **ασβέστιο (Ca)** σημειώνει αυξομειώσεις κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών. Η ελάχιστη τιμή του, 26.3 ppm, σημειώνεται στις 7/5/17 (2^η δειγματοληψία) και η μέγιστη, 34 ppm, στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία). Η παρουσία του ασβεστίου συνδέεται με τον τύπο των πετρωμάτων που διέρχεται το υπόγειο νερό (ασβεστολιθικά πετρώματα).

Η **θολερότητα** κυμαίνεται μεταξύ 0.8 και 1.6 NTU. Η ελάχιστη τιμή της σημειώνεται στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) και η μέγιστη στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία).

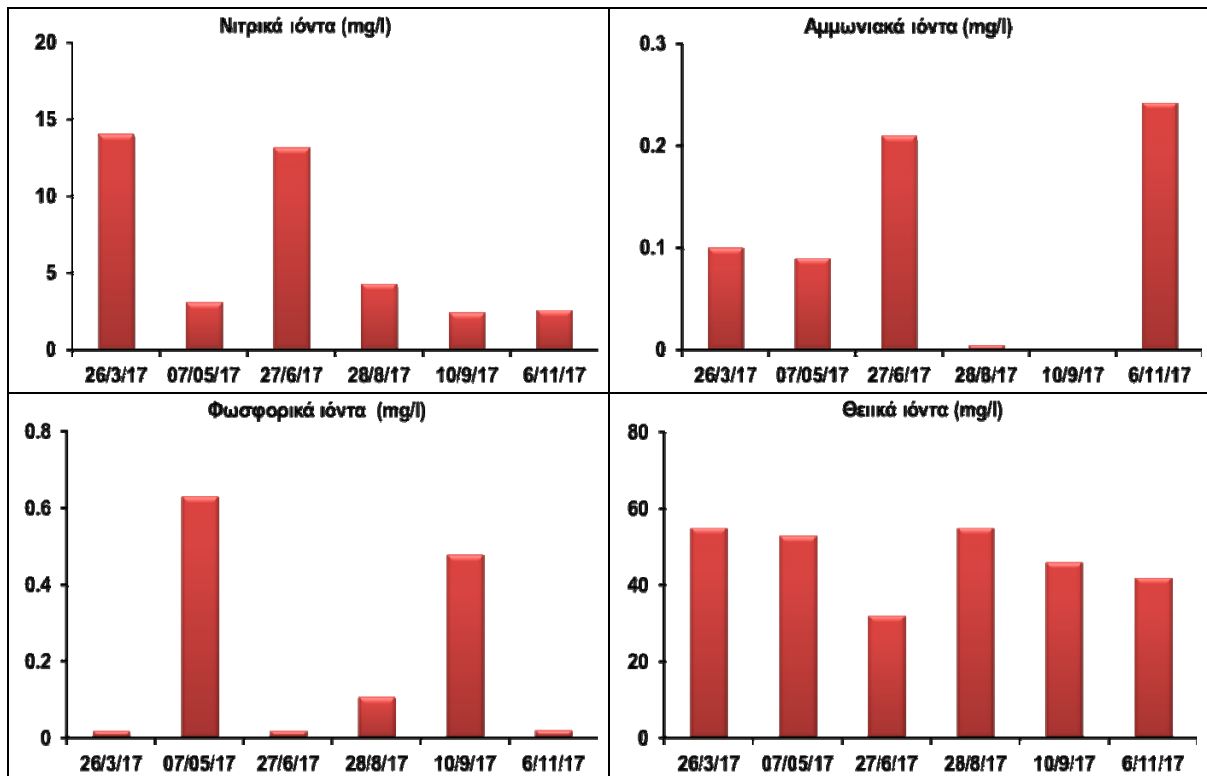


Σχήμα 8 Γραφική απεικόνιση της θολερότητας από την πηγή Ιτιά

Τα **νιτρικά ιόντα (NO₃⁻)** παρουσιάζουν διακυμάνσεις στις πρώτες τέσσερις δειγματοληψίες ενώ στη συνέχεια κινούνται σε σταθερά επίπεδα. Η μέγιστη τιμή τους, 14.04 mg/L, σημειώνεται στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία) και η ελάχιστη 2.44 mg/L στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία). Οι τιμές των νιτρικών βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα καθώς το ανώτερο επιτρεπτό όριο για το πόσιμο νερό είναι 50 mg/L.

Τα **αμμωνιακά ιόντα (NH₄⁺)** παρουσιάζουν αυξομειώσεις στις τιμές τους. Η ελάχιστη τιμή τους 0 mg/L καταγράφεται στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία) και η μέγιστη 0.24 mg/L στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία). Γενικά τα αμμωνιακά ιόντα κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα καθώς το όριο σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία για το πόσιμο νερό είναι τα 0.5 mg/L.

Τα **φωσφορικά ιόντα (PO₄³⁻)** έχουν γενικά αυξημένη συγκέντρωση και σημειώνουν την ελάχιστη τιμή τους, 0.02 mg/L, στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία), στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) και στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία), ενώ τη μέγιστη, 0.63 mg/L, στις 7/5/17 (2^η δειγματοληψία). Η μέγιστη τιμή των φωσφορικών ιόντων υπερβαίνει το προβλεπόμενο ανώτατο όριο των 0.4 mg/L που ορίζεται από τη νομοθεσία.



Σχήμα 9 Γραφική απεικόνιση φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της πηγής Ιτιά

Τα **θειικά ιόντα** (SO_4^{2-}) κυμαίνονται μεταξύ 32 και 55 mg/L. Η ελάχιστη τιμή τους καταγράφεται στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) και η μέγιστη στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία) αλλά και στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία). Γενικά τα θειικά έχουν χαμηλές συγκεντρώσεις αφού το ανώτατο επιτρεπτό όριο είναι 250 mg/L.

Βιοχημικά και μικροβιολογικά χαρακτηριστικά

Το **βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)** παρουσιάζει διακυμάνσεις σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή του, 0 mg/L, στις 10/9/17 και στις 6/11/17 ενώ τη μέγιστη, 2 mg/L, στις 7/5/17 αλλά και στις 27/6/17.

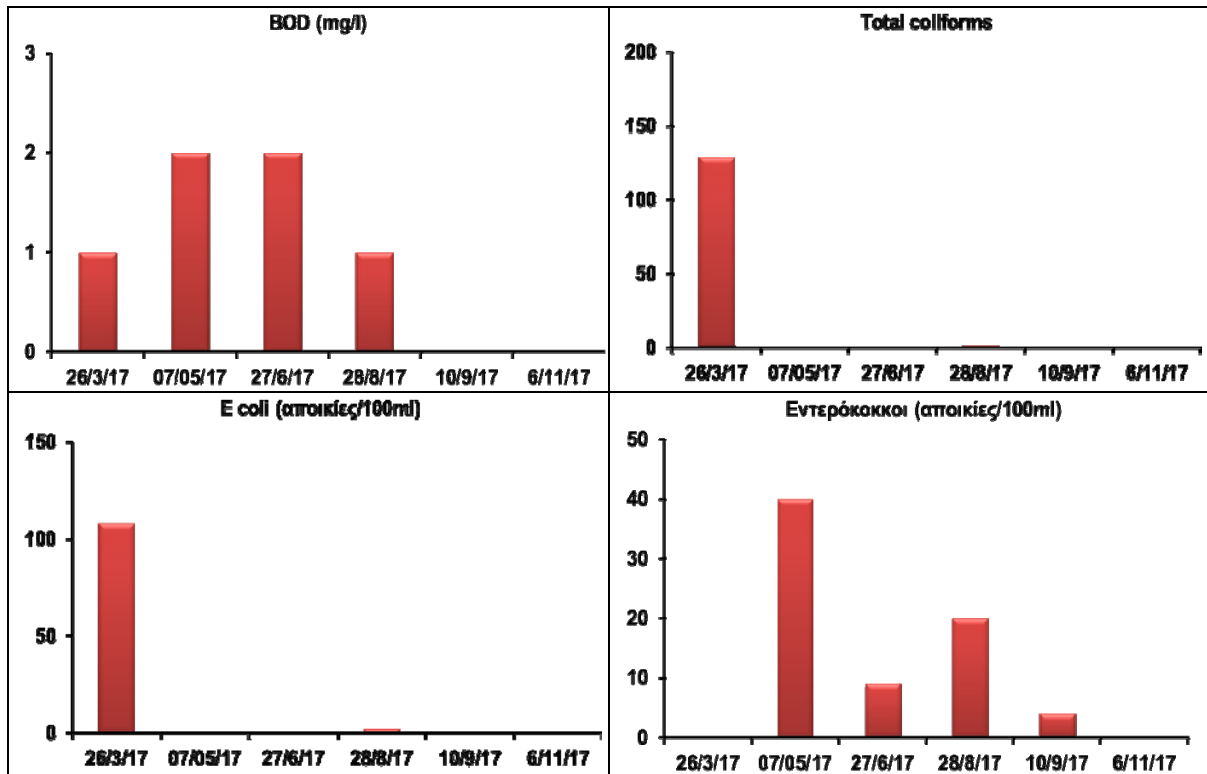
Μέτρηση του **χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD)**, πραγματοποιήθηκε μόνο στην πρώτη δειγματοληψία αλλά λόγω χαμηλών συγκεντρώσεων δεν συνεχίστηκαν στις υπόλοιπες δειγματοληψίες.

Τα **κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (Faecal coliforms)** παρουσιάζουν αυξημένες συγκεντρώσεις μόνο στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία) με τιμή 129 αποικίες/100 ml, ενώ στις υπόλοιπες δειγματοληψίες οι συγκεντρώσεις είναι σχεδόν μηδενικές.

Τα **E-coli** εμφανίζουν την ίδια εικόνα με αυτή των ολικών κολοβακτηριδίων, όπου ξανά η μεγαλύτερη τιμή παρουσιάζεται στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία) με 108 αποικίες/100 ml ενώ στις υπόλοιπες δειγματοληψίες οι συγκεντρώσεις είναι σχεδόν μηδενικές.

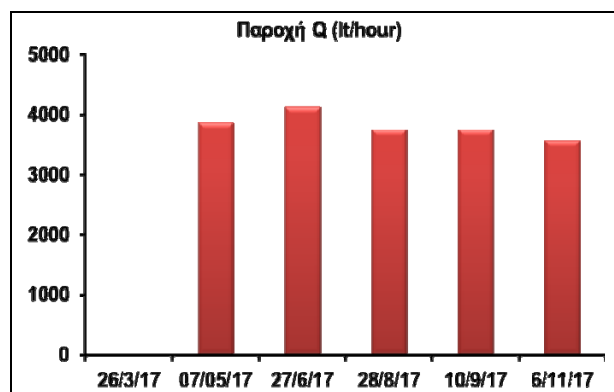
Οι **εντερόκοκκοι (enterococcus)** παρουσιάζουν μικρές αυξομειώσεις του πληθυσμού τους. Ο ελάχιστος αριθμός τους, 0 αποικίες/100 ml, σημειώνεται τόσο στις 26/3/17 (1^η

δειγματοληψία) όσο και στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία) και ο μέγιστος, 40 αποικίες/100 ml, στις 7/5/17 (2^η δειγματοληψία).



Σχήμα 10 Γραφική απεικόνιση των βιοχημικών (BOD) και μικροβιολογικών χαρακτηριστικών της πηγής Ιτιά

Συμπερασματικά, με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτει ότι το νερό της πηγής παρουσιάζει προβλήματα, καθώς οι τιμές του μικροβιολογικού φορτίου είναι ιδιαίτερα υψηλές και πάνω από τα επιτρεπτά όρια που ορίζει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό. Επομένως, το νερό θα πρέπει να υποστεί χλωρίωση ώστε να κριθεί κατάλληλο για να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο.



Σχήμα 11 Γραφική απεικόνιση της παροχής της πηγής Ιτιά

Τέλος, όσον αφορά την **παροχή** της πηγής παρουσιάζει μεγάλες τιμές σε όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Η ελάχιστη τιμή της, 3571.4 lt/hour, σημειώθηκε στις 6/11/17

(τελευταία δειγματοληψία, ενώ η μέγιστη, 4132 lt/hour, στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία). Να σημειωθεί ότι στη πρώτη δειγματοληψία δεν έγινε μέτρηση της παροχής.

2) Μαργαρίτα

Ανάλυση αποτελεσμάτων:

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

Το **pH** παρουσιάζει γενικά μικρές αυξομειώσεις σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή του, 5.65, στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) και τη μέγιστη, 7.15, στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία). Στην τρίτη δειγματοληψία η τιμή του pH που μετρήθηκε, βρίσκεται εκτός των ορίων που προβλέπονται από τη νομοθεσία για το πόσιμο νερό (6.5-8.5), το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί ως ελαφρώς όξινο. Οι υπόλοιπες τιμές βρίσκονται σε λογικά πλαίσια.

Η **αγωγιμότητα** εμφανίζει διακυμάνσεις στις τιμές της με ελάχιστη τιμή, 308 $\mu\text{S}/\text{cm}$, στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία) και τη μέγιστη, 486 $\mu\text{S}/\text{cm}$, στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία). Οι τιμές της αγωγιμότητας βρίσκονται μέσα στα όρια (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) της νομοθεσίας για το πόσιμο νερό.

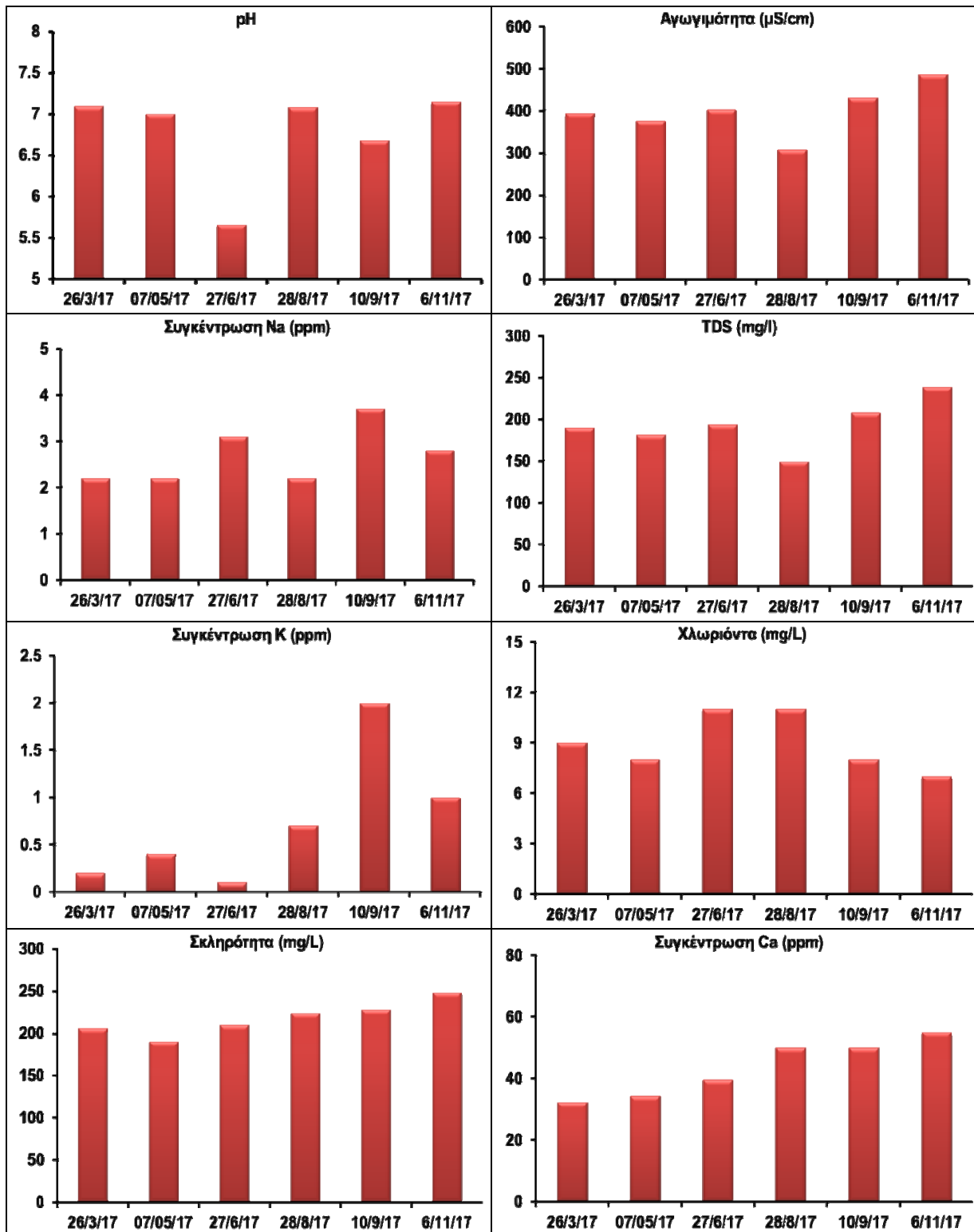
Το **νάτριο (Na)** κυμαίνεται σε πιο σταθερά επίπεδα σε σχέση με τις διακυμάνσεις του καλίου. Παίρνει την ελάχιστη τιμή 2.2 ppm στις πρώτες δυο δειγματοληψίες και την μέγιστη τιμή 3.7 ppm στις 10/9/17 (5η δειγματοληψία).

Τα **TDS** ακολουθούν την ίδια διακύμανση με αυτήν της αγωγιμότητας, καθώς όταν αυξάνεται ή μειώνεται η αγωγιμότητα, τα TDS έχουν και την αντίστοιχη μεταβολή. Οι τιμές τους κυμαίνονται από 149.7 – 239 mg/L, με την ελάχιστη να σημειώνεται στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία) και την μέγιστη στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία).

Το **κάλιο (K)** παρουσιάζει διακυμάνσεις στις τιμές του και κυμαίνεται από 0.1 έως 2 ppm. Η ελάχιστη τιμή του σημειώνεται στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) και η μέγιστη στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία).

Τα **χλωριόντα** με ελάχιστη τιμή, 7 mg/L στις 6/11/17 και μέγιστη τιμή, 1 mg/L, στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) αλλά και στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία). Τα χλωριόντα έχουν άμεση σχέση με την αγωγιμότητα, καθώς παρατηρείται ότι όταν αυξάνεται η αγωγιμότητα, τα χλωριόντα μειώνονται.

Η **σκληρότητα** κυμαίνεται μεταξύ 190 και 248 mg/L, με την ελάχιστη τιμή της στις 7/5/17 (2^η δειγματοληψία) και την μέγιστη στις 6/11/17.

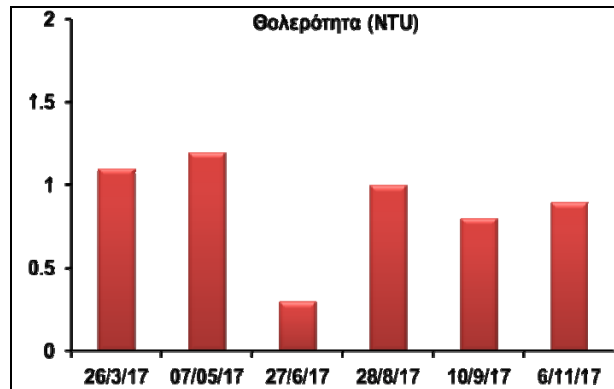


Σχήμα 12 Γραφική απεικόνιση φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της πηγής Μαργαρίτα

Το **ασβέστιο (Ca)** σε σχέση με τις συγκεντρώσεις του καλίου και του νατρίου, ακολουθεί μια ανοδική τάση κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών. Η ελάχιστη τιμή του, 32.3 ppm, σημειώνεται στις 26/3/17 (1η δειγματοληψία) και η μέγιστη, 55 ppm, στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία). Η χαρακτηριστική άνοδος του ασβεστίου έχει άμεση σχέση με την αντίστοιχη μείωση της παροχής. Όσο μειώνεται η στάθμη του νερού στον υπόγειο υδροφορέα το νερό

έρχεται όλο και πιο κοντά στα κατώτατα πετρώματα με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του ασβεστίου.

Η **θολερότητα** με μικρές αυξομειώσεις κυμαίνεται από 0.3 – 1.2 NTU. Η ελάχιστη τιμή της σημειώνεται στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) και η μέγιστη εμφανίζεται την αμέσως επόμενη δειγματοληψία στις 7/5/17.



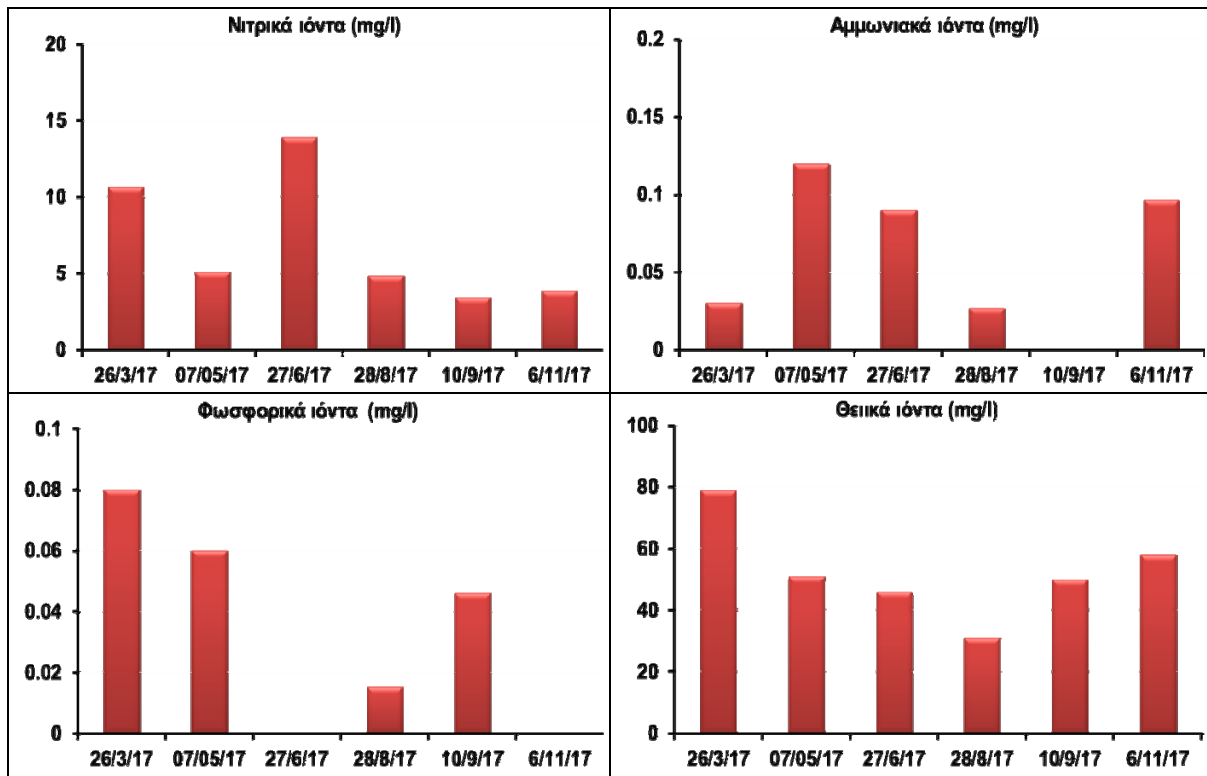
Σχήμα 13 Γραφική απεικόνιση της θολερότητας από την πηγή Μαργαρίτα

Τα **νιτρικά ιόντα (NO₃⁻)** παρουσιάζουν διακυμάνσεις στις πρώτες τέσσερις δειγματοληψίες ενώ στη συνέχεια κινούνται σε σταθερά επίπεδα. Η μέγιστη τιμή τους, 13.9 mg/L, σημειώνεται στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) και η ελάχιστη, 3.41 mg/L, στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία). Οι τιμές των νιτρικών βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα καθώς το ανώτερο επιτρεπτό όριο για το πόσιμο νερό είναι 50 mg/L.

Τα **αμμωνιακά ιόντα (NH₄⁺)** κυμαίνονται μεταξύ 0 – 0.12 mg/L. Η ελάχιστη τιμή τους καταγράφεται στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία) και η μέγιστη στις 7/5/17 (2^η δειγματοληψία). Γενικά τα αμμωνιακά ιόντα κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα καθώς το όριο σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία για το πόσιμο νερό είναι τα 0.5 mg/L.

Τα **φωσφορικά ιόντα (PO₄³⁻)** κυμαίνονται με μικρές διακυμάνσεις σε χαμηλά επίπεδα σε όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Η ελάχιστη τιμή τους, 0 mg/L, καταγράφεται τόσο στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) όσο και στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία) ενώ η μέγιστη, 0.08 mg/L στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία). Οι τιμές των φωσφορικών ιόντων δεν υπερβαίνουν το προβλεπόμενο ανώτατο όριο των 0.4 mg/L που ορίζεται από τη νομοθεσία.

Τα **θειικά ιόντα (SO₄²⁻)** ακολουθούν μια μείωση μέχρι τις πρώτες τέσσερις δειγματοληψίες αλλά στις δυο τελευταίες ακολουθούν ξανά μια αύξηση. Οι τιμές τους κυμαίνονται από 31 – 79 mg/L. Η μικρότερη τιμή τους σημειώνεται στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία) και η μεγαλύτερη στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία).



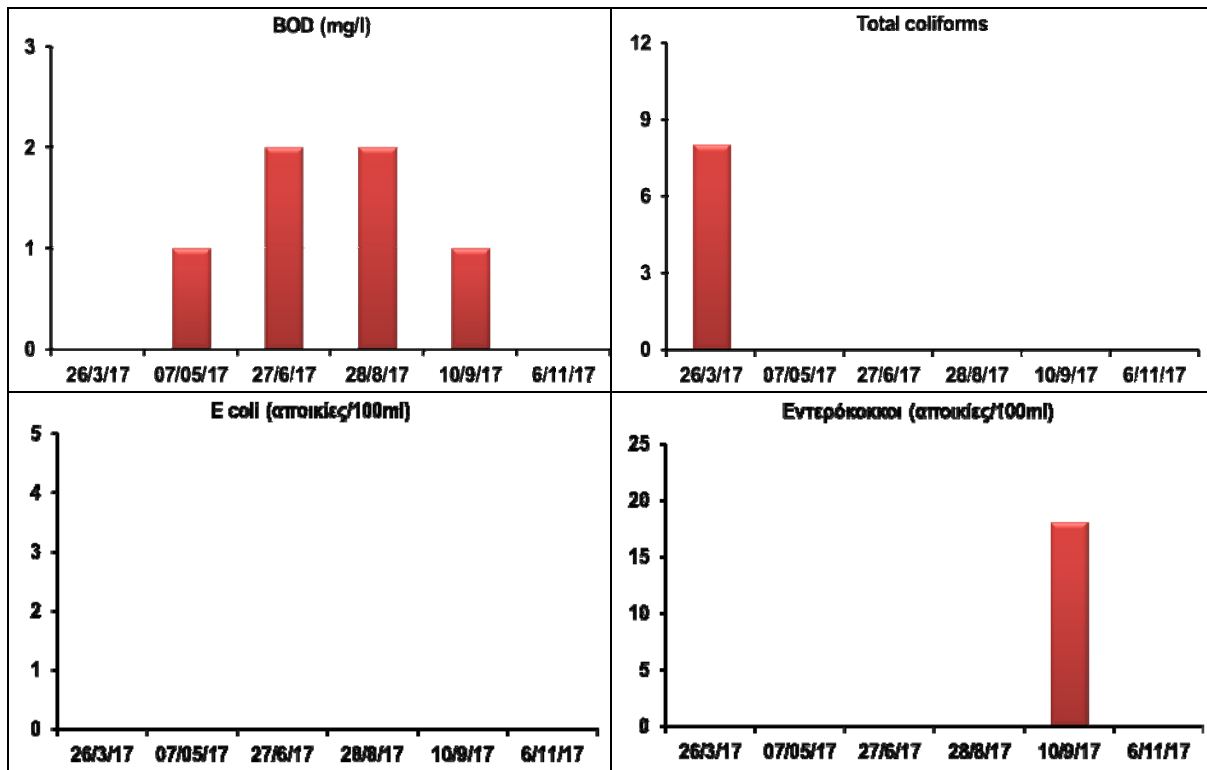
Σχήμα 14 Γραφική απεικόνιση φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της πηγής Μαργαρίτα

Βιοχημικά και μικροβιολογικά χαρακτηριστικά

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD) αρχικά έχει μια ανοδική πορεία μέχρι τις 28/8/17 (4η δειγματοληψία) ενώ στη συνέχεια μειώνεται. Οι τιμές του κυμαίνονται από 0 – 2 mg/L. Η μικρότερη τιμή του σημειώνεται στη πρώτη και την τελευταία δειγματοληψία ενώ η μεγαλύτερη στις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν στις 27/6/17 και στις 28/8/17 αντίστοιχα.

Μέτρηση του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD), πραγματοποιήθηκε μόνο στην πρώτη δειγματοληψία αλλά λόγω χαμηλών συγκεντρώσεων δεν συνεχίστηκαν στις υπόλοιπες δειγματοληψίες.

Τα κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (Faecal coliforms) παρουσιάζουν τον μέγιστο αριθμό αποικιών τους στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία) με 8 αποικίες/100 mL. Στις υπόλοιπες δειγματοληψίες παρουσιάζονται μηδενικές συγκεντρώσεις ολικών κολοβακτηριδίων.

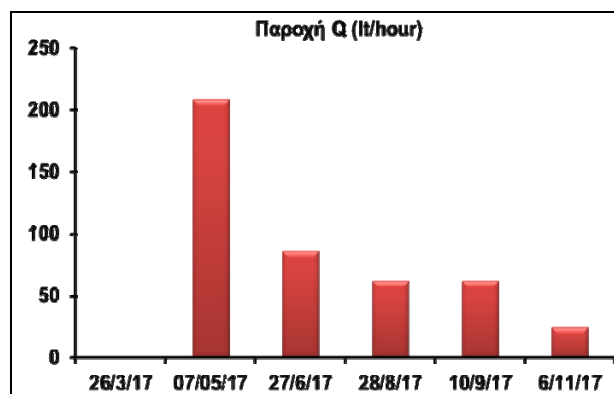


Σχήμα 15 Γραφική απεικόνιση των βιοχημικών (BOD) και μικροβιολογικών χαρακτηριστικών της πηγής Μαργαρίτα

Τα **E-coli** εμφανίζουν μηδενικές συγκεντρώσεις καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών.

Οι **εντερόκοκκοι (enterococcus)** παρουσιάζουν τον μέγιστο αριθμό αποικιών τους στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία) με 18 αποικίες/100 mL. Στις υπόλοιπες δειγματοληψίες οι συγκεντρώσεις των εντερόκοκκων είναι μηδενικές.

Συμπερασματικά, με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτει ότι το νερό της πηγής δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα, παρά μόνο την τιμή του pH στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία), η οποία είναι εκτός των ορίων που ορίζει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό.



Σχήμα 16 Γραφική απεικόνιση της παροχής της πηγής Μαργαρίτα

Τέλος, όσον αφορά την **παροχή** της πηγής παρουσιάζει χαμηλές τιμές σε όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Η ελάχιστη τιμή της, 24.3 lt/hour, σημειώθηκε στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία, ενώ η μέγιστη, 208.3 lt/hour, στις 7/5/17 (1^η δειγματοληψία). Είναι χαρακτηριστική η μείωση της παροχής κατά τη πάροδο των καλοκαιρινών μηνών μέχρι τον Νοέμβριο και αυτό οφείλεται στη μεγάλη έλλειψη βροχοπτώσεων εκείνη τη χρονική περίοδο. Να σημειωθεί ότι στη πρώτη δειγματοληψία δεν έγινε μέτρηση της παροχής.

3) Τσουγγάνα

Ανάλυση αποτελεσμάτων:

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

Το **pH** κυμαίνεται από 6.64 – 7.18 , με την μικρότερη τιμή του να σημειώνεται στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία) και την μεγαλύτερη στην αμέσως επόμενη δειγματοληψία στις 6/11/17. Οι τιμές αυτές είναι εντός των ορίων (6.5-8.5) που προβλέπονται από τη νομοθεσία.

Η **αγωγιμότητα** κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα σε όλες τις δειγματοληψίες εκτός από αυτή που έγινε στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία), στην οποία η τιμή της αγωγιμότητας ήταν η ελάχιστη με 266 μS/cm. Η μέγιστη τιμή, 366 μS/cm σημειώθηκε στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία). Όπως φαίνεται και παρακάτω αυτή η μείωση της αγωγιμότητας στις 28/8/17, ίσως να οφείλεται στην απότομη αύξηση των χλωριόντων εκείνη τη συγκεκριμένη περίοδο.

Το **νάτριο (Na)** δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές και κυμαίνεται από 4.7 – 6.2 ppm. Η μέγιστη τιμή του καταγράφεται στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) και η μικρότερη στην αμέσως επόμενη δειγματοληψία.

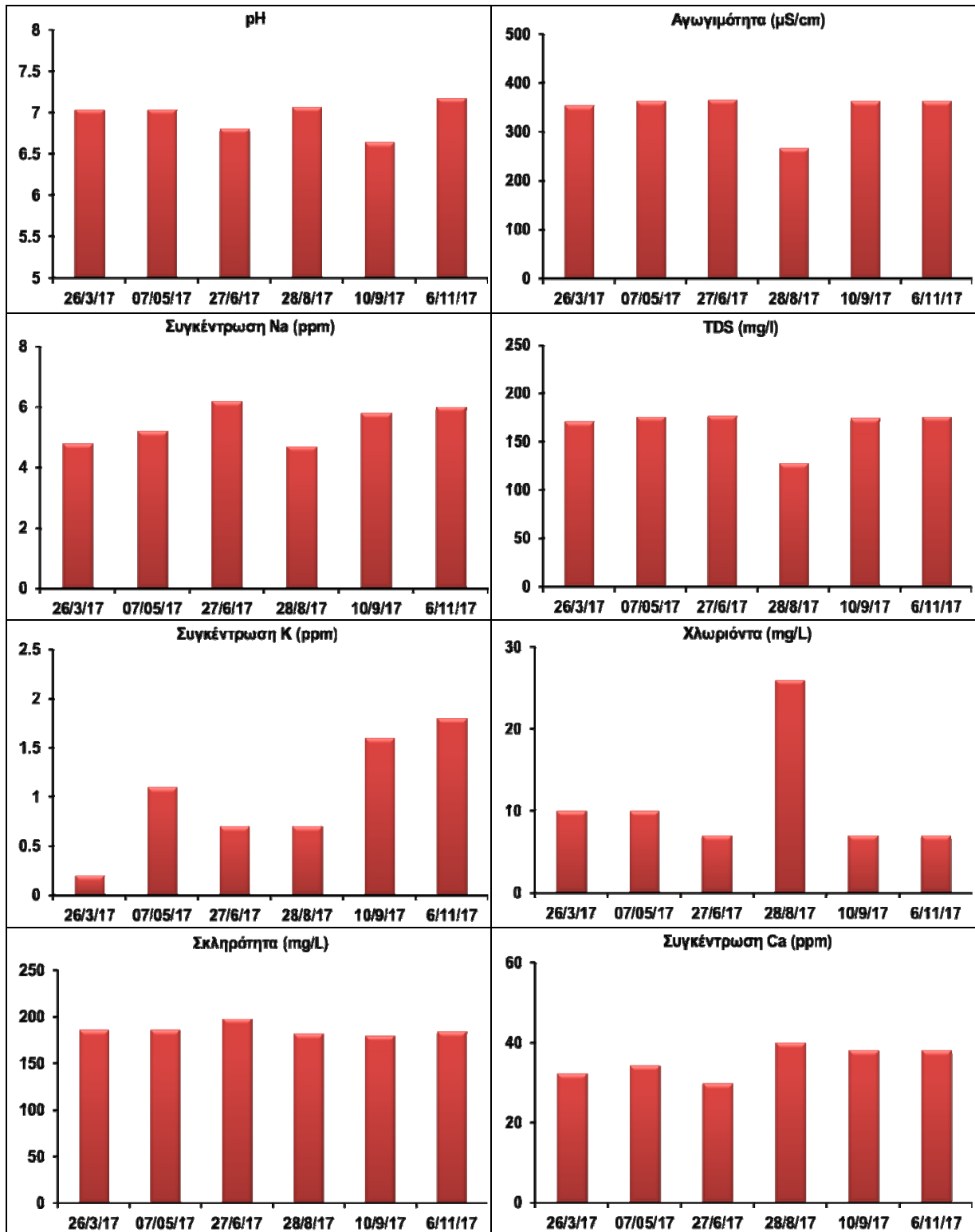
Τα **TDS** ακολουθούν την ίδια διακύμανση με αυτήν της αγωγιμότητας, καθώς όταν αυξάνεται ή μειώνεται η αγωγιμότητα, τα TDS έχουν και την αντίστοιχη μεταβολή. Αυτό συμβαίνει και στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία), όπου η μείωση των TDS οφείλεται στην απότομη αλλαγή της αγωγιμότητας. Η μέγιστη τιμή τους, 176.6 mg/L, καταγράφεται στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) όπως επίσης και της αγωγιμότητας.

Το **κάλιο (K)** κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα μεταξύ 0.2 και 1.8 ppm σημειώνοντας τη μικρότερη τιμή του στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία) και την μεγαλύτερη στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία).

Τα **χλωριόντα** σε όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών κινούνταν σε σταθερά χαμηλό επίπεδο αλλά στις 28/8/17 σημείωσαν μια απότομη αύξηση, η οποία αποτελεί και τη μέγιστη τιμή τους με 25.9 mg/L. Στις επόμενες δειγματοληψίες δεν συνεχίζεται αυτή η αύξηση καθώς σημειώνονται οι χαμηλότερες τιμές των χλωριόντων με 7 mg/L.

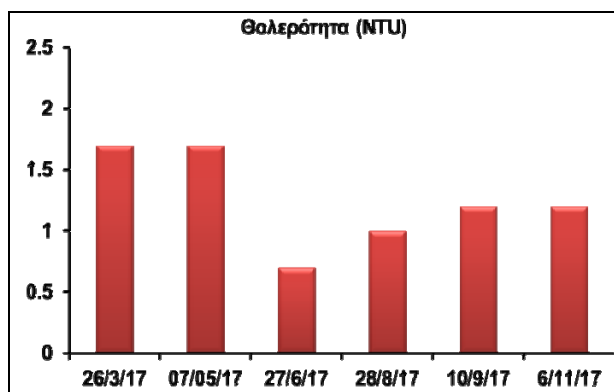
Η **σκληρότητα** παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις στις τιμές της σημειώνοντας την ελάχιστη, 180 mg/L, στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία) και την μέγιστη, 198 mg/L, στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία), όπου σημειώθηκε και η μέγιστη τιμή της αγωγιμότητας.

Το **ασβέστιο (Ca)** σε σχέση με τις συγκεντρώσεις του καλίου και του νατρίου, ακολουθεί και αυτό μια ανάλογη πορεία κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών. Η ελάχιστη τιμή του, 29.8 ppm, σημειώνεται στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) και η μέγιστη, 40 ppm, στην αμέσως επόμενη δειγματοληψία.



Σχήμα 17 Γραφική απεικόνιση φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της πηγής Τσουγγάνα

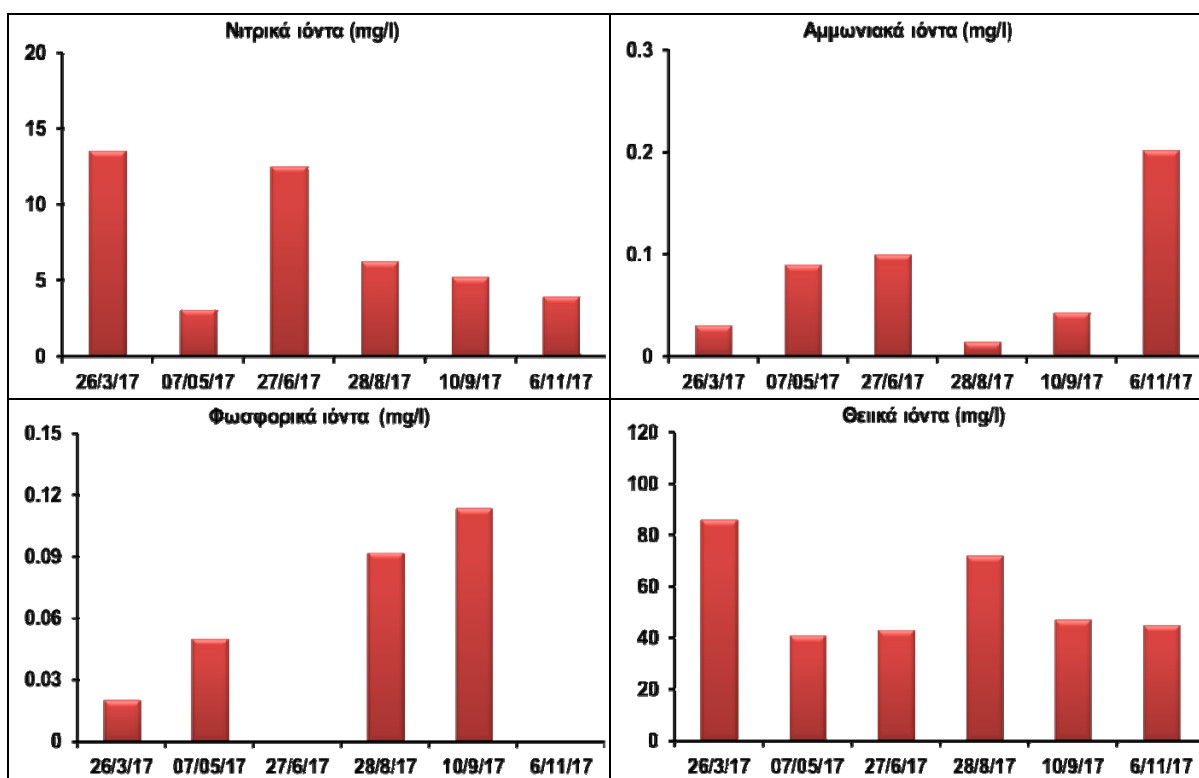
Η **θολρότητα** κυμαίνεται μεταξύ 0.7 και 1.7 NTU. Η μέγιστη τιμή της σημειώνεται στις πρώτες δυο δειγματοληψίες ενώ στην τρίτη δειγματοληψία σημειώνεται η ελάχιστη.



Σχήμα 18 Γραφική απεικόνιση της θαλερότητας από την πηγή Τσουγγάνα

Τα **νιτρικά ιόντα (NO_3^-)** παρουσιάζουν αυξομειώσεις στις τιμές τους. Η μέγιστη τιμή τους, 13.55 mg/L, σημειώνεται στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία) και η ελάχιστη 3.1 mg/L στην αμέσως επόμενη δειγματοληψία στις 7/5/17 (2^η δειγματοληψία). Οι τιμές των νιτρικών βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα καθώς το ανώτερο επιτρεπτό όριο για το πόσιμο νερό είναι 50 mg/L.

Τα **αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+)** παρουσιάζουν διακυμάνσεις στις τιμές του και σημειώνουν την ελάχιστη τιμή των 0.01 mg/L στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία) και την μέγιστη των 0.2 mg/L στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία).



Σχήμα 19 Γραφική απεικόνιση φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της πηγής Τσουγγάνα

Τα **φωσφορικά ιόντα (PO_4^{3-})** κυμαίνονται με μικρές διακυμάνσεις σε χαμηλά επίπεδα σε όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Η ελάχιστη τιμή τους, 0 mg/L, καταγράφεται τόσο στις

27/6/17 (3^η δειγματοληψία) όσο και στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία) ενώ η μέγιστη, 0.11 mg/L, στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία).

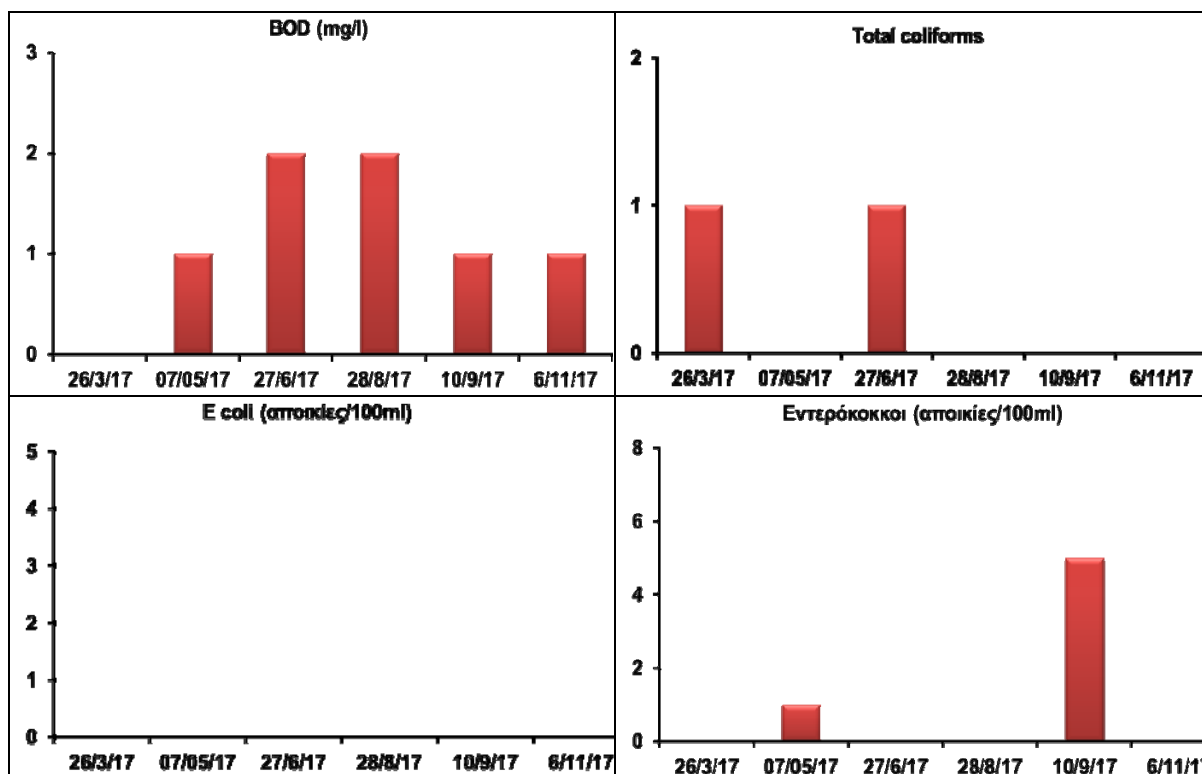
Τα **θειικά ιόντα (SO₄²⁻)** κυμαίνονται από 41 – 86 mg/L με την μέγιστη τιμή τους να σημειώνεται στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία) ενώ η ελάχιστη σημειώνεται την αμέσως επόμενη δειγματοληψία. Γενικά οι τιμές τους βρίσκονται μέσα στα επιτρεπόμενα όρια (250 mg/L) για το πόσιμο νερό.

Βιοχημικά και μικροβιολογικά χαρακτηριστικά

Το **βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)** αρχικά έχει μια ανοδική πορεία μέχρι τις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία) ενώ στη συνέχεια μειώνεται. Οι τιμές του κυμαίνονται από 0 – 2 mg/L. Η μικρότερη τιμή του σημειώνεται στη πρώτη και δειγματοληψία ενώ η μεγαλύτερη στις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν στις 27/6/17 και στις 28/8/17 αντίστοιχα.

Μέτρηση του **χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD)**, πραγματοποιήθηκε μόνο στην πρώτη δειγματοληψία αλλά λόγω χαμηλών συγκεντρώσεων δεν συνεχίστηκαν στις υπόλοιπες δειγματοληψίες.

Τα **κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (Fecal coliforms)** παρουσιάζουν τον μέγιστο αριθμό αποικιών τους στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία) και στις 27/6/17 με 1 αποικία/100 mL. Στις υπόλοιπες δειγματοληψίες παρουσιάζονται μηδενικές συγκεντρώσεις ολικών κολοβακτηριδίων.

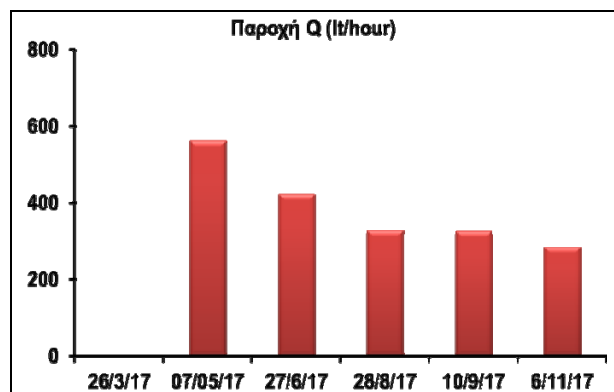


Σχήμα 20 Γραφική απεικόνιση των βιοχημικών (BOD) και μικροβιολογικών χαρακτηριστικών της πηγής Τσουγγάνα

Τα **E-coli** εμφανίζουν μηδενικές συγκεντρώσεις καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών.

Οι **εντερόκοκκοι (enterococcus)** παρουσιάζουν τον μέγιστο αριθμό αποικιών τους στις 7/5/17 (2^η δειγματοληψία) με 1 αποικία/100 mL και στις 10/9/17 με 5 αποικίες/100 mL . Στις υπόλοιπες δειγματοληψίες οι συγκεντρώσεις των εντερόκοκκων είναι μηδενικές.

Συμπερασματικά, με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτει ότι το νερό της πηγής δεν παρουσιάζει προβλήματα, καθώς όλες οι τιμές είναι μέσα στα όρια που ορίζει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό. Οι μοναδικές χαρακτηριστικές αλλαγές που σημειώθηκαν είναι η μείωση της αγωγιμότητας και απότομη αύξηση των χλωριόντων στις 28/8/17. Επομένως το νερό πληροί τις προϋποθέσεις και χαρακτηρίζεται κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο.



Σχήμα 21 Γραφική απεικόνιση της παροχής της πηγής Τσουγγάνα

Τέλος, όσον αφορά την **παροχή** της πηγής παρουσιάζει σταδιακή μείωση σε όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Η ελάχιστη τιμή της, 285.7 lt/hour, σημειώθηκε στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία, ενώ η μέγιστη, 563 lt/hour, στις 7/5/17 (2^η δειγματοληψία). Στη πρώτη δειγματοληψία δεν έγινε μέτρηση της παροχής.

4) Αγία Παρασκευή

Ανάλυση αποτελεσμάτων

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

Το **pH** κυμαίνεται από 6.59 – 7.07 , με την μικρότερη τιμή του να σημειώνεται στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία) και την μεγαλύτερη στην αμέσως επόμενη δειγματοληψία στις 6/11/17. Οι τιμές αυτές είναι εντός των ορίων (6.5-8.5) που προβλέπονται από τη νομοθεσία.

Η **αγωγιμότητα** κινείται σε σταθερά επίπεδα σε όλες τις δειγματοληψίες εκτός από αυτή που πραγματοποιήθηκε στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία), όπου παρατηρείται απότομη αύξηση και αποτελεί τη μέγιστη τιμή με 697 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Η ελάχιστη τιμή, 462 $\mu\text{S}/\text{cm}$ σημειώθηκε στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία) αλλά και στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία).

Το **νάτριο (Na)** παρουσιάζει μικρές διαφορές καθ' όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών. Παίρνει την ελάχιστη τιμή, 3.8 ppm, στην πρώτη δειγματοληψία (26/3/17) και την μέγιστη τιμή, 5.5 ppm, στην τελευταία δειγματοληψία (6/11/17).

Τα **TDS** ακολουθούν την ίδια διακύμανση με αυτήν της αγωγιμότητας, καθώς όταν αυξάνεται ή μειώνεται η αγωγιμότητα, τα TDS έχουν και την αντίστοιχη μεταβολή. Αυτό συμβαίνει και στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία), όπου η αύξηση των TDS οφείλεται στην απότομη αλλαγή της αγωγιμότητας. Η μέγιστη τιμή τους, 346 mg/L, καταγράφεται στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία) όπως επίσης και της αγωγιμότητας ενώ η ελάχιστη, 223 mg/L, στις 26/3/17.

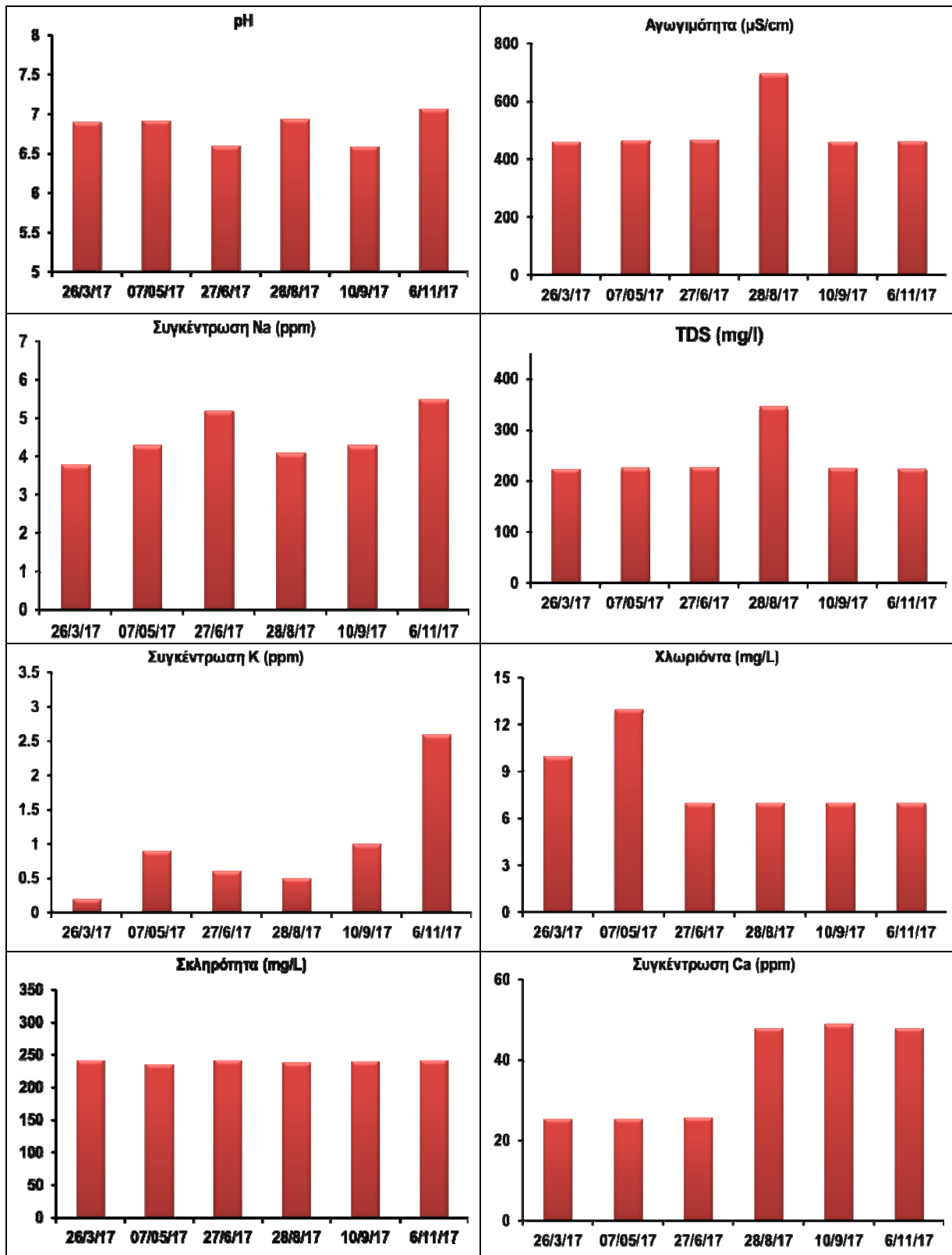
Το **κάλιο** με μικρές διακυμάνσεις κυμαίνεται από 0.2 – 2.6 ppm. Η ελάχιστη τιμή του σημειώνεται στην πρώτη δειγματοληψία και η μέγιστη στην τελευταία δειγματοληψία.

Τα **χλωριόντα** κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα σχεδόν σε όλες τις δειγματοληψίες με τιμή, 7 mg/L, η οποία αποτελεί την ελάχιστη τιμή ενώ η μέγιστη, 13 mg/L, σημειώνεται στις 7/5/17 (2^η δειγματοληψία). Οι τιμές των χλωριόντων είναι κατά πολύ μέσα στα επιτρεπτά όρια των 200 mg/L που προβλέπει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό.

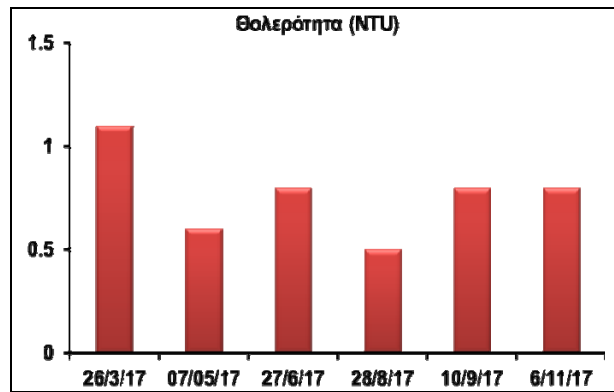
Η **σκληρότητα** ακολουθεί σχεδόν σταθερή πορεία σε όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Οι τιμές της κυμαίνονται από 236 – 242 mg/L. Η ελάχιστη τιμή του καταγράφεται στις 7/5/17 (2^η δειγματοληψία) ενώ η μέγιστη στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία), στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) και στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία).

Το **ασβέστιο (Ca)** ακολουθεί μια ανοδική πορεία από τις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία) μέχρι τις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία) ενώ στη τελευταία δειγματοληψία μειώνεται ελάχιστα. Η μικρότερη τιμή του, 25.4 ppm, σημειώνεται στις δυο πρώτες δειγματοληψίες (26/3/17 – 7/5/17) και η μεγαλύτερη, 49 ppm, στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία). Η χαρακτηριστική άνοδος του ασβεστίου έχει άμεση σχέση με την αντίστοιχη μείωση της παροχής. Όσο μειώνεται η στάθμη του νερού στον υπόγειο υδροφόρο το νερό έρχεται όλο και πιο κοντά στα κατώτατα πετρώματα με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του ασβεστίου. Αυτό φαίνεται χαρακτηριστικά στις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν από τις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) έως τις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία), όπου παρατηρείται απότομη μείωση της παροχής της τάξης των 246.2 lt/hour, με αποτέλεσμα την αντίστοιχη απότομη αύξηση του ασβεστίου.

Η **θολερότητα** εμφανίζει μικρές διακυμάνσεις σημειώνοντας την ελάχιστη τιμή της, 0.5 NTU, στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία) ενώ την μέγιστη, 1.1 NTU, στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία).



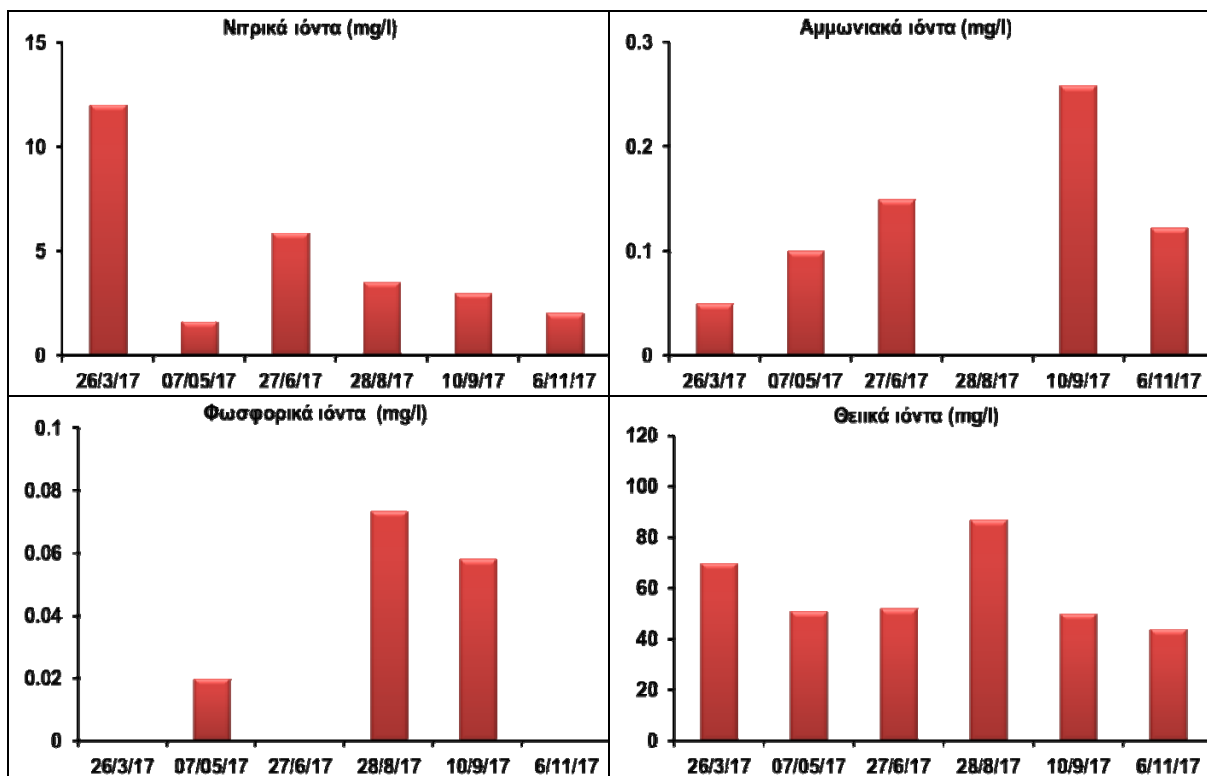
Σχήμα 22 Γραφική απεικόνιση φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της πηγής Αγία Παρασκευή



Σχήμα 23 Γραφική απεικόνιση της θολερότητας από την πηγή Αγία Παρασκευή

Τα **νιτρικά ιόντα (NO_3^-)** παρουσιάζουν αυξομειώσεις στις τιμές τους ειδικά στις πρώτες τέσσερις δειγματοληψίες. Στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία) καταγράφεται η υψηλότερη τιμή τους με 12.04 mg/L ενώ στη συνέχεια ακολουθεί μειωτική τάση, με την ελάχιστη τιμή να καταγράφεται την αμέσως επόμενη δειγματοληψία στις 7/5/17.

Τα **αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+)** παρουσιάζουν διακυμάνσεις στις τιμές του και σημειώνουν την ελάχιστη τιμή των 0 mg/L στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία) και την μέγιστη των 0.26 mg/L στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία).



Σχήμα 24 Γραφική απεικόνιση φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της πηγής Αγία Παρασκευή

Τα **φωσφορικά ιόντα (PO_4^{3-})** εμφανίζουν μικρές αυξομειώσεις καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Η ελάχιστη τιμή τους, 0 mg/L, σημειώνεται στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία), στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) και στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία).

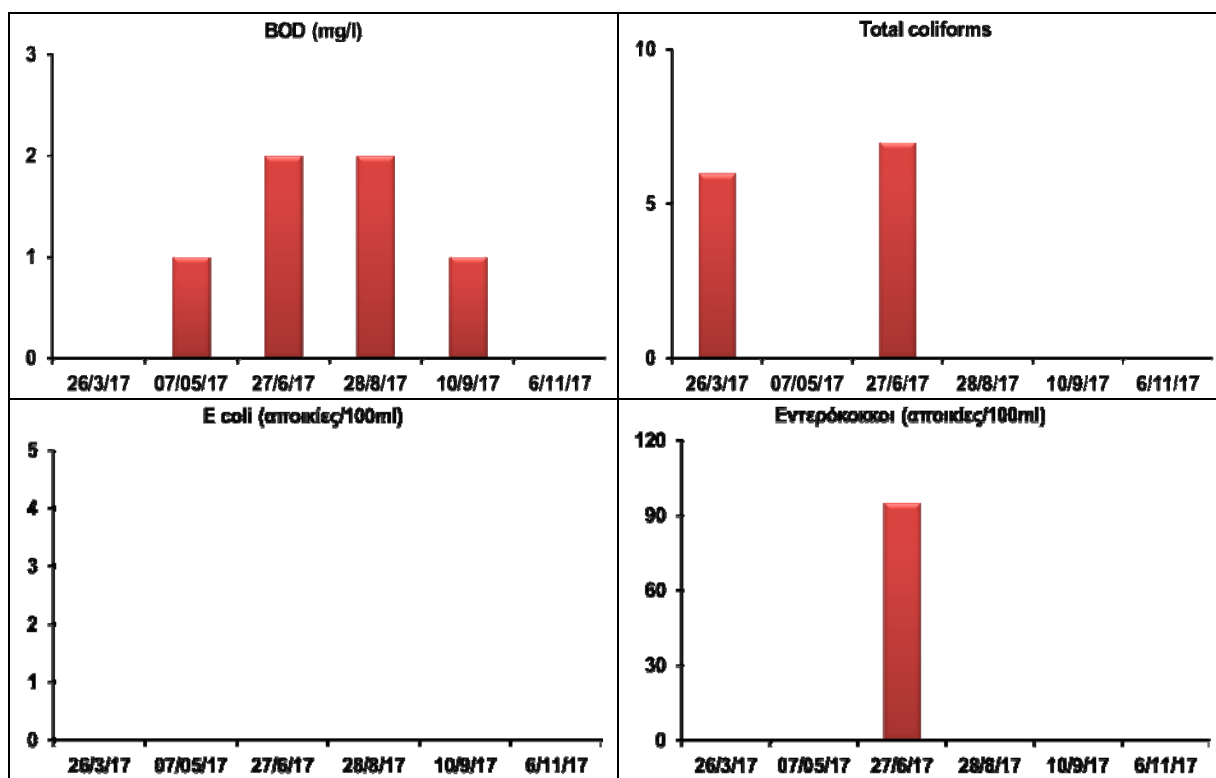
Τα **θειικά ιόντα (SO₄²⁻)** κυμαίνονται από 44 – 87 mg/L με την μέγιστη τιμή τους να σημειώνεται στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία) ενώ η ελάχιστη σημειώνεται στην τελευταία δειγματοληψία. Γενικά οι τιμές τους βρίσκονται μέσα στα επιτρεπόμενα όρια (250 mg/L) για το πόσιμο νερό.

Βιοχημικά και μικροβιολογικά χαρακτηριστικά

Το **βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)** αρχικά έχει μια ανοδική πορεία μέχρι τις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία) ενώ στη συνέχεια μειώνεται. Οι τιμές του κυμαίνονται από 0 – 2 mg/L. Η μικρότερη τιμή του σημειώνεται στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία) και στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία) ενώ η μεγαλύτερη στις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) και στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία) αντίστοιχα.

Μέτρηση του **χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD)**, πραγματοποιήθηκε μόνο στην πρώτη δειγματοληψία αλλά λόγω χαμηλών συγκεντρώσεων δεν συνεχίστηκαν στις υπόλοιπες δειγματοληψίες.

Τα **κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (Fecal coliforms)** παρουσιάζουν τον μέγιστο αριθμό αποικιών τους στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) με 7 αποικίες/100 mL αλλά παρουσιάζει συγκεντρώσεις ολικών κολοβακτηριδίων και στις 26/3/17(1^η δειγματοληψία) με 6 αποικίες/100 mL. Στις υπόλοιπες δειγματοληψίες παρουσιάζονται μηδενικές συγκεντρώσεις ολικών κολοβακτηριδίων.

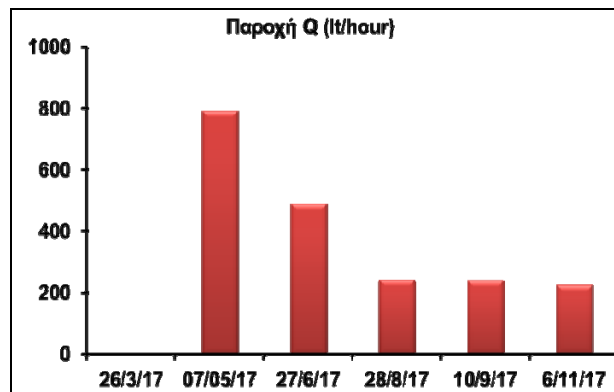


Σχήμα 25 Γραφική απεικόνιση των βιοχημικών (BOD) και μικροβιολογικών χαρακτηριστικών της πηγής Αγία Παρασκευή

Τα E-coli εμφανίζουν μηδενικές συγκεντρώσεις καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών.

Οι εντερόκοκκοι (*enterococcus*) εμφανίζουν τον μέγιστο αριθμό αποικιών τους στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) με 95 αποικίες/100 mL. Στις υπόλοιπες δειγματοληψίες οι συγκεντρώσεις των εντερόκοκκων είναι μηδενικές.

Συμπερασματικά, με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτει ότι το νερό της πηγής στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία), παρουσιάζει υψηλές τιμές εντερόκοκκων, οι οποίες είναι πάνω από τα επιτρεπτά όρια που ορίζει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό.



Σχήμα 26 Γραφική απεικόνιση της παροχής της πηγής Αγία Παρασκευή

Τέλος, όσον αφορά την **παροχή** της πηγής παρουσιάζει μείωση σε όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Η ελάχιστη τιμή της, 226.2 lt/hour, σημειώθηκε στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία, ενώ η μέγιστη, 793.6 lt/hour, στις 7/5/17 (2^η δειγματοληψία). Να σημειωθεί ότι στη πρώτη δειγματοληψία δεν έγινε μέτρηση της παροχής.

5) Κεφαλόβρυσο

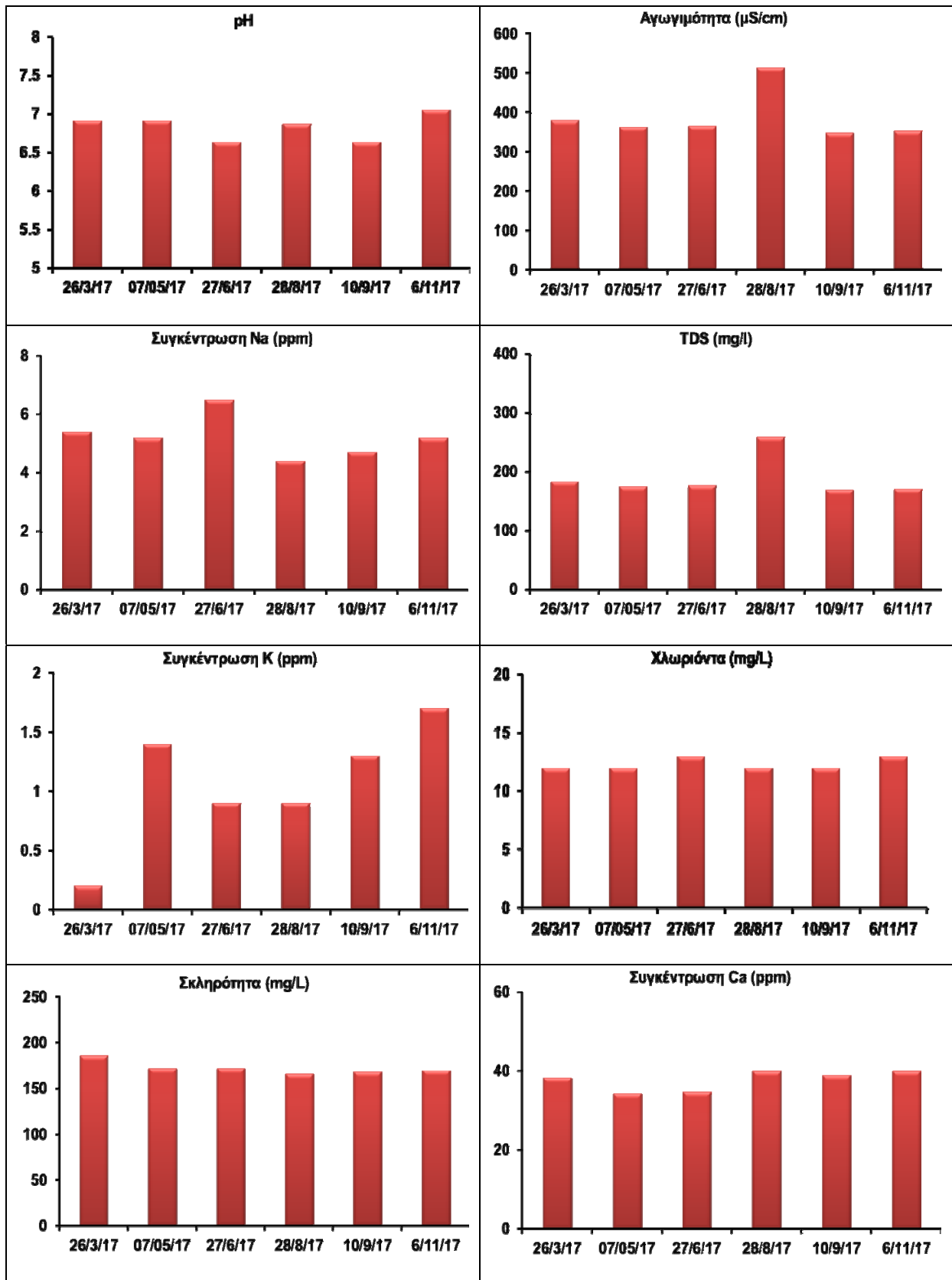
Ανάλυση αποτελεσμάτων:

Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά

Το **pH** κυμαίνεται σε γενικά χαμηλό επίπεδο, το οποίο είναι κοντά στο κατώτατο επιτρεπτό όριο που προβλέπεται από τη νομοθεσία (6.5-8.5), χωρίς όμως να το ξεπερνά. Η μικρότερη τιμή του, 6.63, σημειώνεται στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) και στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία) ενώ η μεγαλύτερη, 7.05, στην αμέσως επόμενη δειγματοληψία στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία).

Η **αγωγιμότητα** κινείται στα ίδια επίπεδα σε όλες τις δειγματοληψίες εκτός από αυτή που πραγματοποιήθηκε στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία), στην οποία σημειώνεται η μέγιστη τιμή της με 515 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Η ελάχιστη τιμή, 349 $\mu\text{S}/\text{cm}$ σημειώθηκε στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία).

Το **νάτριο (Na)** παρουσιάζει μικρές διαφορές καθ' όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών. Παίρνει την μέγιστη τιμή, 6.5 ppm, στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) και την ελάχιστη τιμή, 4.4 ppm, στην αμέσως επόμενη δειγματοληψία (28/8/17).



Σχήμα 27 Γραφική απεικόνιση φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της πηγής Κεφαλόβρυσο

Τα TDS ακολουθούν την ίδια διακύμανση με αυτήν της αγωγιμότητας, καθώς όταν αυξάνεται ή μειώνεται η αγωγιμότητα, τα TDS έχουν και την αντίστοιχη μεταβολή. Οι τιμές τους

κυμαίνονται από 169.3 – 259 mg/L, με την ελάχιστη να σημειώνεται στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία) και την μέγιστη στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία).

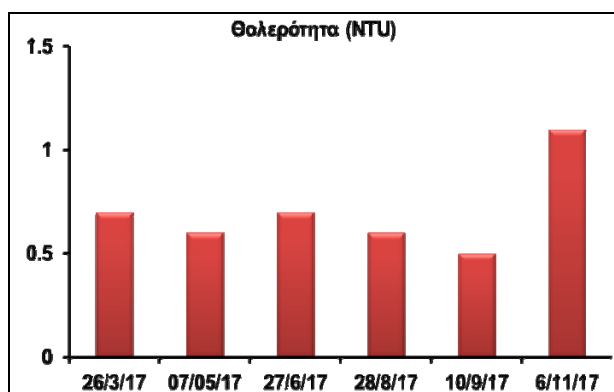
Το **κάλιο** με μικρές αυξομειώσεις σημειώνει την ελάχιστη τιμή του, 0.2 ppm, στην πρώτη δειγματοληψία και την μέγιστη, 1.7 ppm, στην τελευταία δειγματοληψία.

Τα **χλωριόντα** παρουσιάζουν την ίδια σχεδόν τιμή καθ' όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών με τιμή, 12 mg/L, η οποία αποτελεί την ελάχιστη τιμή και σημειώνεται σε τέσσερις δειγματοληψίες (26/3/17-7/5/17-28/8/17-10/9/17) ενώ η μέγιστη, 13 mg/L, σημειώνεται στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) και στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία).

Η **σκληρότητα** παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις στις τιμές της σημειώνοντας την ελάχιστη, 166 mg/L, στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία) και την μέγιστη, 186 mg/L, στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία).

Το **ασβέστιο** σημειώνει μικρές αυξομειώσεις κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών. Η ελάχιστη τιμή του, 34.3 ppm, σημειώνεται στις 7/5/17 (2^η δειγματοληψία) και η μέγιστη, 40 ppm, στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία) αλλά και στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία).

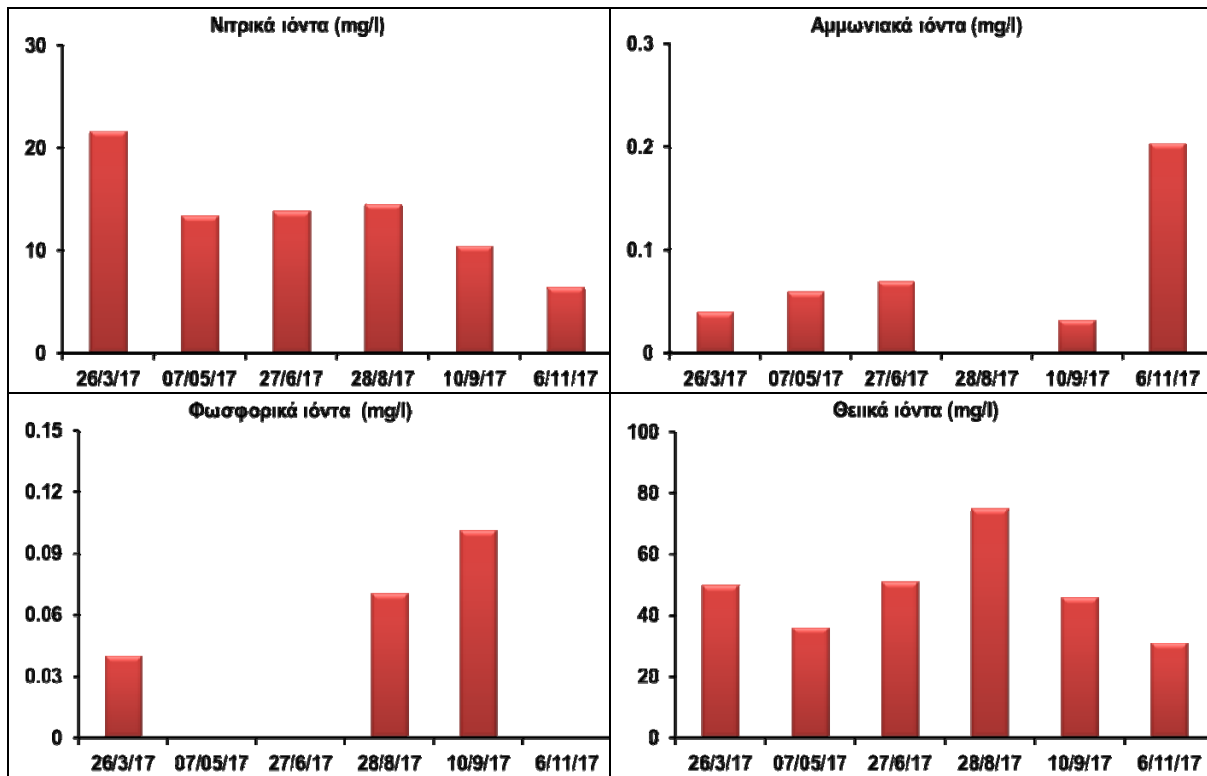
Η **θολερότητα** εμφανίζει σχεδόν σταθερή τιμή μέχρι τις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία) ενώ στην τελευταία δειγματοληψία παρουσιάζει μια αύξηση, η οποία είναι και η μέγιστη τιμή της θολερότητας με 1.1 NTU. Η ελάχιστη τιμή της, 0.5 NTU, παρουσιάζεται στις 10/9/17.



Σχήμα 28 Γραφική απεικόνιση της θολερότητας από την πηγή Κεφαλόβρυσο

Τα **νιτρικά ιόντα** (NO_3^-) παρουσιάζουν αυξομειώσεις στις τιμές τους. Η μέγιστη τιμή τους, 21.7 mg/L, σημειώνεται στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία) και η ελάχιστη 6.46 mg/L στην τελευταία δειγματοληψία. Οι τιμές των νιτρικών βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα καθώς το ανώτερο επιτρεπτό όριο για το πόσιμο νερό είναι 50 mg/L.

Τα **αμμωνιακά ιόντα** (NH_4^+) παρουσιάζουν διακυμάνσεις στις τιμές του και σημειώνουν την ελάχιστη τιμή των 0 mg/L στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία) και την μέγιστη των 0.2 mg/L στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία).



Σχήμα 29 Γραφική απεικόνιση φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της πηγής Κεφαλόβρυσου

Τα **φωσφορικά ιόντα (PO_4^{3-})** εμφανίζουν με μικρές διακυμάνσεις σε όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Η ελάχιστη τιμή τους, 0 mg/L, καταγράφεται στις 7/5/17 (2^η δειγματοληψία) στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) και στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία) ενώ η μέγιστη, 0.1 mg/L στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία). Οι τιμές των φωσφορικών ιόντων δεν υπερβαίνουν το προβλεπόμενο ανώτατο όριο των 0.4 mg/L που ορίζεται από τη νομοθεσία.

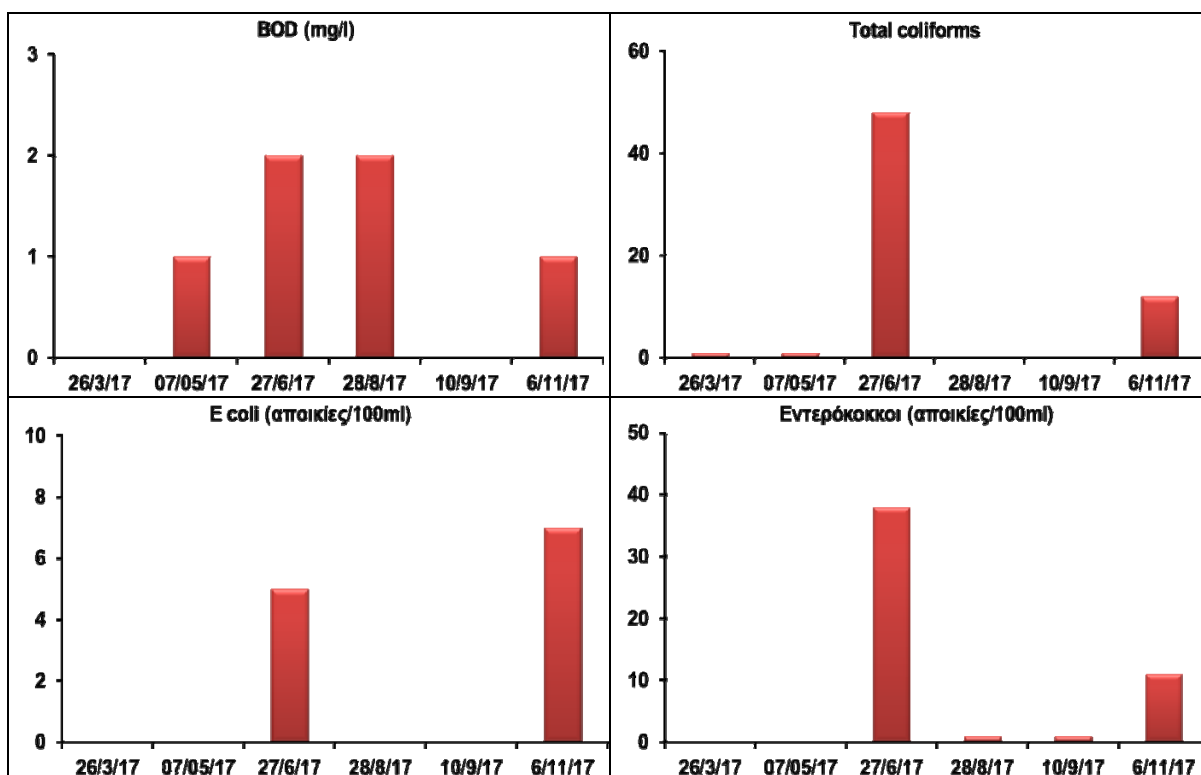
Τα **θειικά ιόντα (SO_4^{2-})** παρουσιάζουν αυξομειώσεις σε όλες τις δειγματοληψίες παίρνοντας τη μικρότερη τιμή τους, 31 mg/L, στην τελευταία δειγματοληψία και την μεγαλύτερη, 75 mg/L, στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία).

Βιοχημικά και μικροβιολογικά χαρακτηριστικά

Το **βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)** παρουσιάζει αυξομειώσεις και οι τιμές του κυμαίνονται από 0 – 2 mg/L. Σημειώνει την ελάχιστη τιμή του, 0 mg/L, στις 26/3/17 (1^η δειγματοληψία) και στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία) ενώ την μέγιστη, 2 mg/L, 27/6/17 (3^η δειγματοληψία και στις 28/8/17 (4^η δειγματοληψία).

Μέτρηση του **χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD)**, πραγματοποιήθηκε μόνο στην πρώτη δειγματοληψία αλλά λόγω χαμηλών συγκεντρώσεων δεν συνεχίστηκαν στις υπόλοιπες δειγματοληψίες.

Τα **κοπρανώδη κολοβακτηρίδια (Fecal coliforms)** παρουσιάζουν αύξηση της συγκέντρωσής τους στις 27/6/17, με τιμή 48 αποικίες/100 mL, η οποία αποτελεί και την μέγιστη τιμή τους. Η δεύτερη μεγαλύτερη τιμή τους, 12 αποικίες/100 mL, σημειώνεται στην τελευταία δειγματοληψία. Οι τιμές των ολικών κολοβακτηριδίων στις υπόλοιπες δειγματοληψίες είναι σχεδόν μηδενικές.

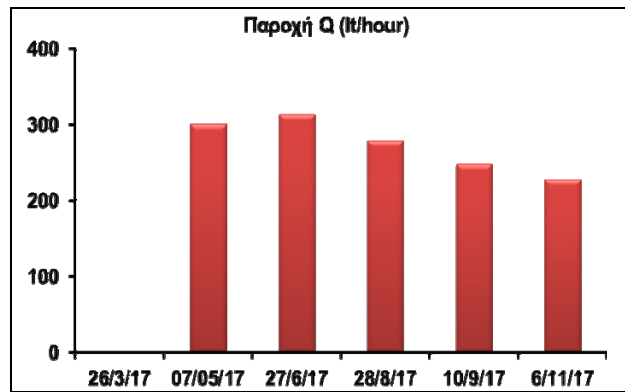


Σχήμα 30 Γραφική απεικόνιση των βιοχημικών (BOD) και μικροβιολογικών χαρακτηριστικών της πηγής Κεφαλόβρυσο

Τα **E-coli** εμφανίζουν την μεγαλύτερη συγκέντρωσή τους στην τελευταία δειγματοληψία με τιμή, 7 αποικίες/100 mL. Η δεύτερη μεγαλύτερη τιμή τους, 5 αποικίες/100 mL, σημειώνεται στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία). Οι τιμές των κοπρανώδων κολοβακτηριδίων στις υπόλοιπες δειγματοληψίες είναι μηδενικές.

Οι **εντερόκοκκοι (enterococcus)** εμφανίζουν τον μέγιστο αριθμό αποικιών τους στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία) με 38 αποικίες/100 mL ενώ τη δεύτερη μεγαλύτερη τιμή τους, 11 αποικίες/100 mL, στην τελευταία δειγματοληψία. Στις υπόλοιπες δειγματοληψίες οι συγκεντρώσεις των εντερόκοκκων είναι σχεδόν μηδενικές.

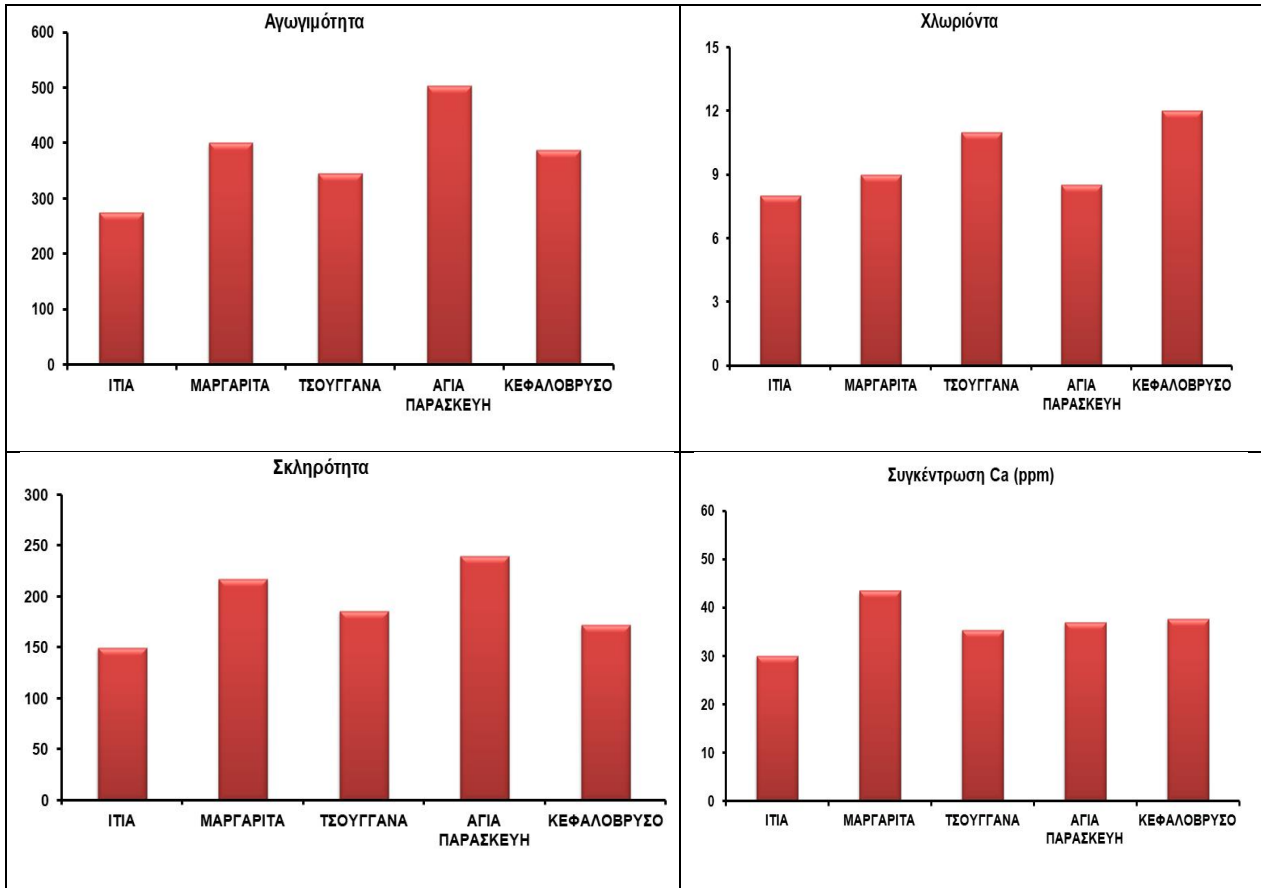
Συμπερασματικά, με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων προκύπτει ότι το νερό της πηγής στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία), παρουσιάζει υψηλές τιμές εντερόκοκκων και ολικών κολοβακτηριδίων, οι οποίες είναι πάνω από τα επιτρεπτά όρια που ορίζει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό. Επομένως, το νερό θα πρέπει να υποστεί χλωρίωση ώστε να κριθεί κατάλληλο για να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο.



Σχήμα 31 Γραφική απεικόνιση της παροχής της πηγής Κεφαλόβρυσο

Τέλος, όσον αφορά την **παροχή** της πηγής παρουσιάζει αύξηση μεταξύ της 2^{ης} δειγματοληψίας και της 3^{ης}, ενώ στην συνέχεια εμφανίζει σταδιακή μείωση στις υπόλοιπες δειγματοληψίες. Η ελάχιστη τιμή της, 228.3 lt/hour, σημειώθηκε στις 6/11/17 (τελευταία δειγματοληψία, ενώ η μέγιστη, 314. lt/hour, στις 27/6/17 (3^η δειγματοληψία). Να σημειωθεί ότι στη πρώτη δειγματοληψία δεν έγινε μέτρηση της παροχής.

Στην συνέχεια ακολουθούν συγκεντρωτικά διαγράμματα με τους μέσους όρους των τιμών της αγωγιμότητας, των χλωριόντων, της σκληρότητας και του ασβεστίου για κάθε πηγή. Σκοπός των συγκεντρωτικών διαγραμμάτων είναι να δείξουμε αν υπάρχει συγγένεια μεταξύ των πηγών, μέσω των χαρακτηριστικών τους.



Σχήμα 32 Γραφική απεικόνιση των μέσων τιμών αγωγιμότητας, χλωριόντων, σκληρότητας και συγκέντρωσης Ca

Από τα διαγράμματα προκύπτει ότι οι μεγαλύτερες ομοιότητες υπάρχουν μεταξύ των πηγών Τσουγγάνα και Κεφαλόβρυσο, καθώς οι μέσες τιμές της αγωγιμότητας, των χλωριόντων, της σκληρότητας και της συγκέντρωσης Ca είναι σχεδόν ίδιες και στις δύο πηγές. Συγκεκριμένα για τις μέσες τιμές των χλωριόντων, υπάρχουν ομοιότητες για τις πηγές Ιτιά, Μαργαρίτα και Αγία Παρασκευή και για τις πηγές Τσουγγάνα και Κεφαλόβρυσο αντίστοιχα. Οι μέσες τιμές της σκληρότητας, παρουσιάζουν ομοιότητες μεταξύ των πηγών Ιτιά, Τσουγγάνα και Κεφαλόβρυσο και στις πηγές Μαργαρίτα και Αγία Παρασκευή αντίστοιχα. Όσον αφορά τις μέσες τιμές της συγκέντρωσης Ca, προκύπτει ότι σχεδόν όλες οι πηγές παρουσιάζουν ομοιότητα και ίσως αυτό έχει σχέση με τη γεωλογική σύσταση της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

6.2 Συμπεράσματα

Κατά την συνολική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έγινε αναζήτηση του ιστορικού των πηγών από τα αρχεία της ΔΕΥΑ Καρπενησίου αλλά δεν κατέστη δυνατόν να ευρεθούν σχετικά δεδομένα. Συνέπεια ήταν η αδυναμία σύγκρισης των αποτελεσμάτων της παρούσης έρευνας με

παλαιότερα ώστε να είναι εφικτή η παρουσίαση της εποχικότητας ή μη των μετρήσεων που καταγράφηκαν.

Το **pH** του νερού μπορεί να χαρακτηριστεί σε γενικές γραμμές ως ουδέτερο σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας. Η κατώτερη τιμή που σημειώθηκε ήταν 5.65, στην πηγή Μαργαρίτα στις 27/6/17, η οποία θεωρείται απαγορευτική καθώς είναι εκτός των ορίων που ορίζει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό.

Η **αγωγιμότητα** κυμαίνεται στα όρια για τα επιφανειακά νερά αλλά και για το πόσιμο νερό, οπότε δεν εμφανίζονται προβλήματα που να οφείλονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις αλάτων.

Όσον αφορά το **νάτριο, το κάλιο και το ασβέστιο**, οι συγκεντρώσεις τους καθ' όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών ήταν σταθερά χαμηλότερες από τα όρια της νομοθεσίας για το πόσιμο νερό δείχνοντας την σταθερή σχέση με την γεωλογική σύσταση της περιοχής και την απουσία τυχόν ανθρωπογενούς ρύπανσης (λιπάσματα ή λύματα)

Οι συγκεντρώσεις των **TDS** κυμάνθηκαν σε χαμηλά επίπεδα με εύρος τιμών 127.7 - 346 mg/l. Μια μεγάλη περιεκτικότητα του νερού σε ολικά στερεά μπορεί πιθανόν να επηρεάσει τη διαύγεια, τη θερμοκρασία και το διαλυμένο οξυγόνο.

Τα **χλωριόντα** κυμαίνονται στα ίδια χαμηλά επίπεδα σχεδόν σε όλες τις δειγματοληψίες. Η μέγιστη τιμή τους, 25.9 mg/l, σημειώθηκε στην πηγή Τσουγγάνα στις 28/8/17. Οι χαμηλές συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου οφείλονται κυρίως στη χημική σύσταση των πετρωμάτων απ' όπου διέρχεται το νερό και δεν μπορούν να συσχετιστούν με ανθρωπογενή ρύπανση.

Το εύρος τιμών όπου κυμάνθηκε η **σκληρότητα** είναι μεταξύ 146 – 248 mg/l, τιμές οι οποίες θεωρούνται φυσιολογικές και δεν αποτελούν κίνδυνο. Η σκληρότητα όπως συμβαίνει και με τα χλωριόντα διαφέρει μεταξύ των πηγών, λόγω της διαφορετικής γεωλογικής σύστασης των πετρωμάτων από τα οποία διέρχεται το νερό.

Η **θολερότητα** διατηρήθηκε σε όλα τα σημεία των δειγματοληψιών σε χαμηλά επίπεδα, με τις τιμές να κυμαίνονται από 0.3 NTU έως 1.7 NTU. Οι μεγαλύτερες τιμές οφείλονται σε αιωρούμενα σωματίδια ανόργανης ή οργανικής φύσης (χώμα, βακτήρια) που βρίσκονται στα νερά, εξαιτίας της διάβρωσης τρωτών υλικών κατά την διαδρομή του νερού.

Οι συγκεντρώσεις των **νιτρικών ιόντων (NO₃⁻)** ήταν σχετικά χαμηλές και μέσα στα όρια της νομοθεσίας. Η μεγαλύτερη τιμή, 21.7 mg/l, σημειώθηκε στην πηγή Κεφαλόβρυσο και συγκεκριμένα στην πρώτη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε (26/3/17). Αξίζει να αναφερθεί ότι στην συγκεκριμένη δειγματοληψία, οι τιμές των νιτρικών ιόντων ήταν οι μέγιστες για κάθε πηγή. Πολλές φορές οι μεγάλες συγκεντρώσεις νιτρικών οφείλονται σε λιπάσματα και ζωικά απόβλητα (κοπριά). Στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης δεν υπάρχουν γεωργικές καλλιέργειες, πράγμα που σημαίνει ότι δεν υπάρχει περίπτωση μόλυνσης από λιπάσματα.

Οι περισσότερες συγκεντρώσεις των **αμμωνιακών ιόντων (NH_4^+)** ήταν πολύ χαμηλές σχεδόν σε όλα τα σημεία των δειγματοληψιών. Η υψηλότερη τιμή, 0.26 mg/l, παρατηρήθηκε στην πηγή Αγία Παρασκευή στις 10/9/17 (5^η δειγματοληψία). Η αμμωνία δεν επηρεάζει άμεσα την υγεία αποτελεί όμως δείκτη ρύπανσης από κοπρανώδεις ουσίες. Η υψηλή τιμή των αμμωνιακών ιόντων στη συγκεκριμένη πηγή, πιθανότατα να οφείλεται σε απόβλητα, έκπλυση μικρών κτηνοτροφικών μονάδων που υπάρχουν στη γύρω περιοχή.

Οι τιμές των **φωσφορικών ιόντων (PO_4^{3-})** κυμάνθηκαν σε χαμηλά επίπεδα σχεδόν σε όλες τις δειγματοληψίες. Η μέγιστη τιμή τους, 0.63 mg/l, σημειώθηκε στην πηγή Ιτιά στις 7/5/17, η οποία δεν βρίσκεται στα πλαίσια που ορίζει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό. Η πηγή δεν βρίσκεται κοντά σε κατοικημένη περιοχή, οπότε η αυξημένη τιμή των φωσφορικών ιόντων πιθανότατα να μην οφείλεται στη ρύπανση από αστικά λύματα αλλά να προκύπτει από τη διάβρωση φωσφορικών πετρωμάτων ή ακόμα και από τις βροχές.

Όλες οι συγκεντρώσεις των **θεικών ιόντων (SO_4^{2-})** είναι μικρότερες από τα 250 mg/l που ορίζει η νομοθεσία για το πόσιμο νερό. Η μεγαλύτερη τιμή, 87 mg/l, σημειώθηκε στην πηγή Αγία Παρασκευή στις 28/8/17. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα θειικά εισέρχονται κυρίως στα φυσικά νερά από το βρόχινο νερό ενώ άλλες πιθανές πηγές είναι τα ιζηματογενή πετρώματα που περιέχουν θεικό ασβέστιο ή θεικό πυρίτιο.

Οι τιμές του **βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD)** κυμάνθηκαν από 0 – 2 mg/L. Χαρακτηριστικό είναι ότι υπήρχε αύξηση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες σε όλες τις πηγές.

Όσον αφορά το **μικροβιολογικό φορτίο**, οι συγκεντρώσεις για τις πηγές Μαργαρίτα και Τσουγγάνα, ήταν σχεδόν μηδενικές. Στις υπόλοιπες πηγές σημειώθηκαν αυξημένες τιμές, οι οποίες όμως βρίσκονται στα πλαίσια που ορίζει η νομοθεσία για χρήση νερού πηγών για πόσιμο νερό και η οποία επιβάλλει την χλωρίωση που αποτελεί τον πιο κοινό τρόπο μείωσης του μικροβιολογικού φορτίου για το νερό.

Σχετικά με το ενδεχόμενο οι πηγές να παρουσιάζουν συγγένεια μεταξύ τους, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι οι πηγές Τσουγγάνα και Κεφαλόβρυσο έχουν αρκετές ομοιότητες, όσον αφορά τις παραμέτρους της αγωγιμότητας, των χλωριόντων, της σκληρότητας και της συγκέντρωσης Ca.

Από όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως προκύπτει ότι δε μπορούμε να βγάλουμε ασφαλές συμπέρασμα σε σχέση με την ποιότητα των υπόγειων υδάτων στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Καρπενησίου, παρά το γεγονός ότι τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών μετρήσεων είναι κατάλληλα για να κριθεί το νερό ως πόσιμο.

Επειδή οι μετρήσεις που παρουσιάστηκαν παραπάνω πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιόδου και σε συνδυασμό το ότι δεν κατέστη δυνατόν να ευρεθούν δεδομένα σχετικά με το ιστορικό των πηγών, δεν μας βοηθά στην εξαγωγή σωστών συμπερασμάτων.

Τέλος, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο Δήμος Καρπενησίου οφείλει να πραγματοποιεί συχνές φυσικοχημικές μετρήσεις στις πηγές και όχι μόνο, καθώς πρέπει να διασφαλίζεται η δημόσια υγεία. Επίσης, πρέπει να δημιουργήσει μια μεγάλη βάση δεδομένων, ώστε να μπορεί να

κρίνει τη καταλληλότητα των υδάτων σε ολόκληρο τον Νομό Ευρυτανίας, λαμβάνοντας υπόψη παλαιότερα δεδομένα. Πάντως, σύμφωνα με πληροφορίες που μας δόθηκαν από το Τμήμα Ύδρευσης – Αποχέτευσης του Δήμου Καρπενησίου, η απολύμανση του νερού ύδρευσης στο δίκτυο πραγματοποιείται μέσω της χλωρίωσης, όπου η τιμή του υπολειμματικού χλωρίου είναι 0,2 mg/L.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Από πτυχιακές εργασίες :

1. Δραγάζης Ελευθέριος. 2010. Αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του υπόγειου νερού στην παράκτια περιοχή της Χαλέπας. Πτυχιακή Εργασία. Τμήμα Μηχ Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος ΤΕΙ Κρήτης.
2. Καλημέρη Μαρία. 2004. Ποιοτικός έλεγχος των υδάτων των ποταμών Κοιλιάρη και Ταυρωνίτη. Πτυχιακή Εργασία. Τμήμα Μηχ. Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος ΤΕΙ Κρήτης.
3. Κυρίου Μαρία. 2010. Ανάλυση των φυσικοχημικών και μικροβιολογικών παραμέτρων ποιότητας των νερών παραπόταμων και πηγών της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη. Πτυχιακή Εργασία. Τμήμα Μηχ. Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος ΤΕΙ Κρήτης.
4. Τσετσώνη Μαγδαληνή. 2014. Προσδιορισμός του επιπέδου ρύπανσης των υπόγειων υδατικών πόρων και της παράκτιας ζώνης στη περιοχή της Χαλέπας Πτυχιακή Εργασία. Τμήμα Μηχ Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος ΤΕΙ Κρήτης.
5. Χατζηανδρέου Αθηνά. 2012. Ποιότητα και ρύπανση υπόγειων νερών. Πτυχιακή Εργασία. Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καλαμάτας, Τμήμα Τεχνολογίας Γεωργικών Προϊόντων.

Από Διαδικτυακές ιστοσελίδες :

6. http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/pdf/waterislife_el.pdf
7. http://www.medsos.gr/medsos/files/LIFE-PURE/FYLLA-PLIROFORION/FP_1.pdf
8. <https://www.slideshare.net/elokab/ss-7398738>
9. <http://old.primedu.uoa.gr/sciedu/BIBLIO/files/water.pdf>
10. <https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/OPE02163/%.pdf>
11. <http://www.prosodol.gr/?q=el/node/220#υπόγεια νερά>
12. http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_3.pdf
13. <http://www.geo.auth.gr/763/ch3.htm>
14. <https://eclass.chania.teicrete.gr/modules/document/index.php?course=FP108&openDir=/102419299p7b1>
15. http://nestor.teipel.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/14529/STEG_TEGEP_0034_6_Medium.pdf?sequence=1
16. <https://eclass.gunet.gr/modules/document/file.php/TESTGU289.pdf>

17. <https://www.watersave.gr/files/PDF/11ekp.pdf>
18. <https://www.watersave.gr/files/PDF/11ekp.pdf>
19. http://www.waterlabs.gr/yliko/epiptosei_aitia_apokatastasi_2.pdf
20. <http://www.eyath.gr/swift.jsp?CMCCode=160503&extLang=>
21. https://www.ekke.gr/estia/gr_pages/Erevnit_Prg/Life/Valitsaki/4_fusikoxhmika_xarakthristika.pdf
22. <http://chimikoergastirio.blogspot.gr/2010/03/blog-post.html>
23. <http://nutrilabs.gr/barea-metalla/>
24. <http://lyk-limnis.eyv.sch.gr/waterelymnio/waterabout/infopappa.htm>
25. https://www.uest.gr/notes/ygra_apovlita.pdf
26. [http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/All/AE6355B7560A95C9C2256EC1002B4519/\\$file/7.%20%.pdf](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/All/AE6355B7560A95C9C2256EC1002B4519/$file/7.%20%.pdf)
27. <http://users.uoa.gr/~hvasilat/files/BOD-COD-TOC.pdf>
28. <http://idro-lysi.gr/data/documents/Vasikes-Parametroi-elegxou-poiotitas-nerou-kai-lymaton.pdf>
29. http://ecourse.uoi.gr/pluginfile.php/88685/mod_resource/content/2/.pdf
30. <https://www.karpenissi.gr/wp-content/uploads/2015/01/%.pdf>
31. <https://www.meteoblue.com/el/>
32. <https://e-class.teilar.gr/modules/document/file.php/EY182/.pdf>
33. <https://epoptes.wordpress.com/%>
34. <https://ilampos.wordpress.com/2013/06/23/>
35. http://ekfe.chi.sch.gr/EXPERIMENTS/Peiramata_Ximeias/sklirotita_nerou.htm
36. http://49lyk-athin.att.sch.gr/YDROLOGIKOS_KYKLOS.htm
37. <https://docplayer.gr/12609505-Tehnika-haraktiristika-petromaton-epidراسi-ton-geologikon-haraktiristikon-ton-geoylikon-sta-tehnika-erga.html>
38. <https://www.dimas-geotriseis.gr/geotriseis.php>
39. <http://iek-varis.att.sch.gr/oikologia.pdf>
40. http://79.129.78.202/lifesos/images/stories/pdf/deliverables/11_02.pdf
41. <https://eclass.gunet.gr/modules/document/file.php/TESTGU289/.pdf>
42. <https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/4697/1/.pdf>
43. <https://slideplayer.gr/slide/11587101/>
44. environ.survey.ntua.gr/files/Dermatas_Ypogeia_Nera1.doc
45. <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-B115/90/712,2696/>
46. <http://www.larissa-chamber.gr/Uploads/Files/meletes/mercouri.pdf>