



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ &  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ & ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

---

**«Ανθρωπογενής επιβάρυνση του ποταμού Κλαδισού στα Χανιά»**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΠΟΥΤΡΟΥ ΕΛΕΝΗ**

**Επιβλέπων Καθηγητής Γιώργος Σταυρουλάκης**

**ΧΑΝΙΑ 2020**



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ &  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ & ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

---

«Ανθρωπογενής επιβάρυνση του ποταμού Κλαδισού στα Χανιά»

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΠΟΥΤΡΟΥ ΕΛΕΝΗ**

**Επιβλέπων** : Καθηγητής Σταυρουλάκης Γεώργιος

**Επιτροπή Αξιολόγησης** : Αναπληρώτρια Καθηγήτρια  
Κατσίβελα Ελευθερία

Διδάκτωρ  
Παπαφιλιππάκη Ανδρονίκη

**Ημερομηνία παρουσίασης** : 2 Δεκεμβρίου 2020

**Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας** : 80

## Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να απευθύνω ιδιαίτερες ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή Γεώργιο Σταυρουλάκη για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, το οποίο άπτεται των προσωπικών μου ενδιαφερόντων. Τον ευχαριστώ θερμά για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου αναθέτοντας μου αυτό το θέμα, για την εποικοδομητική συνεργασία που είχαμε καθώς και για την ουσιαστική καθοδήγηση του σχετικά με τη διεξαγωγή της έρευνας. Επίσης εκφράζω την ευγνωμοσύνη μου για την ενθάρρυνση, την επιμονή και τον συνολικό χρόνο που διέθεσε για την εκπόνηση της εργασίας αλλά και για την ευκαιρία που μου προσέφερε να γνωρίσω έναν καινούργιο κόσμο, διευρύνοντας τις γνώσεις μου.

Ακόμη ευχαριστώ εκ βαθέων και τα άλλα δύο μέλη της επιτροπής, τις καθηγήτριες κ. Κατσίβελα Ελευθερία και κ. Παπαφιλιππάκη Ανδρονίκη. Ιδιαίτερη αναφορά θα ήθελα να κάνω στην αρωγή της κ. Παπαδάκη Αντωνίας και της κ. Ζκέρη Ειρήνης, τόσο για την ενθάρρυνση τους, όσο και για τις εξαιρετικά χρήσιμες παρεμβάσεις τους.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στους συμφοιτητές μου και φίλους μου Στέφανο Κιουράνη και Παρασκευή Καραγιαννάκη για την ουσιαστική τους βοήθεια, όπου αυτή χρειάστηκε, καθώς και για την πολύτιμη ηθική τους συμπαράσταση.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου γιατί χωρίς την πολύτιμη βοήθεια τους καθώς και την στήριξη τους σε όλη μου την πορεία, δεν θα είχα καταφέρει να εκπληρώσω όλους μου τους στόχους για αυτό και τους την αφιερώνω.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	σελ. 1
ABSTRACT .....	2

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

1.1 Το νερό και η σημασία του.....	3
1.2 Η δομή του καθαρού νερού .....	3
1.3 Ο υδρολογικός κύκλος.....	4

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ

2.1 Υδάτινοι πόροι.....	7
2.1.1 Επιφανειακά νερά.....	7
2.1.2 Υπόγεια νερά.....	8
2.2 Οι ποταμοί.....	8
2.3 Ανάπτυξη ποταμού.....	12
2.4 Η δομή των ποταμών.....	13
2.5 Τύποι ποταμών.....	14
2.6 Κινήσεις του νερού.....	16

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

3.1 Ρύπανση.....	17
3.2 Μόλυνση.....	17
3.3 Ρύπανση του νερού των ποταμών.....	17
3.4 Σημειακές και μη σημειακές πηγές ρύπανσης.....	18
3.5 Ρύπανση από ραδιενέργεια .....	19
3.6 Θερμική ρύπανση .....	20
3.7 Ευτροφισμός.....	20

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

4.1 Χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα του νερού.....	23
4.2 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά.....	24
4.2.1 Θερμοκρασία.....	24
4.2.2 Θολερότητα.....	24
4.2.3 Συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου (pH).....	25
4.2.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	27
4.2.5 Στερεά.....	28
4.2.6 Σκληρότητα.....	29
4.2.7 Συγκέντρωση ιόντων Καλίου (K <sup>+</sup> ), Νατρίου (Na <sup>+</sup> ), Ασβεστίου (Ca <sup>2+</sup> ).....	30
4.2.8 Χλωριόντα (Cl <sup>-</sup> ).....	32
4.2.9 Αμμωνιακά ιόντα (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	32
4.2.10 Νιτρικά ιόντα (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	33
4.2.11 Φωσφορικά ιόντα (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ).....	33
4.2.12 Θειϊκά ιόντα (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ).....	34
4.3 Βιοχημικά χαρακτηριστικά.....	35
4.3.1 Διαλυμένο Οξυγόνο (DO).....	35
4.3.2 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD).....	35
4.3.3 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD).....	36

4.4 Οργανικά συστατικά.....	37
4.4.1 Απορρυπαντικά.....	37
4.4.2 Φαινόλες.....	38
4.5 Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά.....	39
4.5.1 Ολικά κολοβακτηριοειδή (Total Coliforms).....	40
4.5.2 Κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι (Fecal streptococci).....	40
4.5.3 Κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή (Fecal Coliforms).....	41
4.6 Δειγματοληψία.....	41
4.7 Δειγματοληψία από ποτάμια ή χειμάρρους.....	42
4.8 Μεταφορά και συντήρηση των δειγμάτων.....	42

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΛΑΔΙΣΟΥ**

5.1 Περιοχή μελέτης.....	43
5.2 Κλιματολογικές συνθήκες.....	44
5.3 Υδατικό δυναμικό Ν. Χανίων.....	44
5.4 Υλικά και μέθοδοι εργασίας.....	45
5.4.1 Διαδικασία και θέσεις δειγματοληψίας.....	45
5.5 Μέθοδοι ανάλυσης.....	51
5.5.1 Μέτρηση οξύτητας pH.....	51
5.5.2 Αγωγιμότητα- TDS.....	52
5.5.3 Θολερότητα.....	52
5.5.4 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD).....	53
5.5.5 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD).....	54
5.5.6 Σκληρότητα.....	55
5.5.7 Χλωριόντα (Cl <sup>-</sup> ).....	55
5.5.8 Νιτρικά ιόντα (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	56
5.5.9 Αμμωνιακά ιόντα (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	56
5.5.10 Φωσφορικά ιόντα (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ).....	57
5.5.11 Θειικά ιόντα (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ).....	57
5.5.12 Φαινόλες.....	58
5.5.13 Απορρυπαντικά.....	58
5.5.14 Προσδιορισμός των συγκεντρώσεων K-Na-Ca.....	59
5.5.15 Προσδιορισμός μικροβιολογικού φορτίου.....	59
5.6 Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.....	63
5.6.1 Εισροή Αγία Βαρβάρα.....	63
5.6.2 Εισροή Θερίσου α'.....	69
5.6.3 Εισροή β'.....	75
5.6.4 Ένωση α'+β'.....	81
5.6.5 Κλαδισός.....	87

<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	95
---------------------------	----

## Περίληψη

Το ενδιαφέρον για την μελέτη του Κλαδισού ποταμού προέκυψε όταν σε παλαιότερα δημοσιεύματα βρέθηκαν αναφορές για εισροή αποβλήτων από αγροβιομηχανικές δραστηριότητες και αστικών λυμάτων από την παρόχθια περιοχή. Επιπλέον επειδή η φυσική κατάληξη όμως των παραποτάμων μέσω του Κλαδισού ποταμού, είναι η παραλία της Νέας Χώρας των Χανίων, η οποία αποτελεί περιοχή κολύμβησης καθώς και τουριστικών δραστηριοτήτων αύξησε το ενδιαφέρον μας για την μελέτη της περιοχής.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η αξιολόγηση της ποιότητας των επιφανειακών απορροών του ποταμού Κλαδισού καθώς και των παραποτάμων του, μέσω της μελέτης χημικών, φυσικοχημικών και μικροβιολογικών παραμέτρων σε δείγματα νερού τα οποία συλλέχθηκαν από προκαθορισμένα σημεία δειγματοληψίας.

Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας έγινε συστηματική παρακολούθηση των ποιοτικών παραμέτρων του επιφανειακού νερού σε 3 σημεία εισροής στον κύριο ποταμό Κλαδισό και σε 1 σημείο στην εκβολή του κατά την χρονική περίοδο 2018-2019 με σκοπό να εκτιμηθεί το επίπεδο ρύπανσης των επιφανειακών απορροών.

Δείγματα νερού συλλέγονταν σε μηνιαία βάση ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και τις βροχοπτώσεις. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Υδατικών και Εδαφικών Πόρων του τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Κρήτης.

Από τα αποτελέσματα διακρίνουμε συχνά υψηλό μικροβιακό φορτίο το οποίο φαίνεται να οφείλεται κυρίως στην Εισροή β' και τον παραπόταμο Αγία Βαρβάρα καθώς και την περιοχή ανάντη της γέφυρας Κλαδισού. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στη διαρροή λυμάτων, ή/και ζωικών αποβλήτων κοπρανόδους προέλευσης, γεωργικών αποβλήτων και λιπασμάτων κοντά στις όχθες του ποταμού.

## **Title: « Anthropogenic pollution of the Kladissos River in Chania »**

### **Abstract**

Interest in the study of the Kladissos River emerged when reports of an influx of waste from agro-industrial activities and urban wastewater from the coastal area, were found in earlier publications. Our interest in the study of this area has increased because the natural fate of the tributaries of the Kladissos River is the beach of Nea Chora of Chania, which is an area used for swimming as well as other touristic activities.

The purpose of this under graduate thesis was to assess the quality of the surface runoff of the Kladissos River and its tributaries, by studying chemical, physico-chemical and microbiological parameters in water samples collected from predefined sampling points.

In order to assess the level of surface water pollution, the quality parameters of surface water were systematically monitored at 3 input points into the main river of Kladissos and at 1 point in its estuary during the period 2018-2019.

Water samples were collected on a monthly basis depending on weather conditions and rainfall. The analyses were carried out in the Water and Soil Resources Quality Control Laboratory of the Environmental and Natural Resources Engineering Department of TEI Crete.

According to the evaluation of the results, a high microbiological load is detected, mainly due to the input b' and the tributary of Agia Barbara, as well as the area upstream of the bridge of Kladissos. This may be due to the leakage of waste water, and/or animal waste of fecal origin, agricultural waste and fertilizers near the riverbanks.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

## 1.1 Το νερό και η σημασία του

Το καθαρό νερό είναι άχρουν, άοσμο και άγευστο 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 μας. 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.[1]

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 αλείας, της παραγωγής ενέργειας, της βιομηχανίας, των μεταφορών και του τουρισμού, αλλά είναι ζωτικός για όλα τα παγκόσμια οικοσυστήματα.

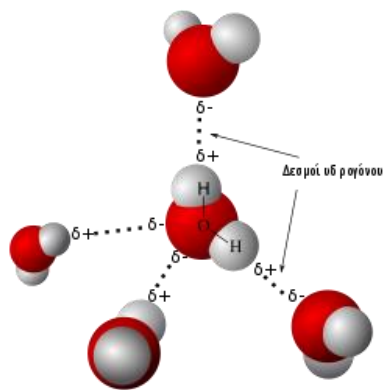
Ωστόσο, τα γεγονότα δείχνουν ότι αντιμετωπίζουμε παγκόσμια κρίση νερού. Σύμφωνα με την Οδηγία-Πλαίσιο περί Υδάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το νερό δεν αποτελεί εμπορικό προϊόν όπως οποιοδήποτε άλλο, αλλά θα πρέπει να θεωρείται περισσότερο ως κληρονομιά. Ωστόσο, είναι σημαντικό να δοθεί στο νερό μια τιμή, επειδή η τιμολόγηση ενεργεί ως κίνητρο για την ενθάρρυνση περισσότερο βιώσιμης χρήσης και για αυτό πολλές ευρωπαϊκές χώρες τιμολογούν το νερό εδώ και χρόνια.[2]

## 1.2 Η δομή του καθαρού νερού

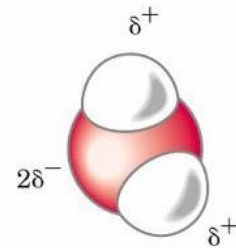
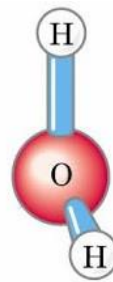
Στη δομή του μορίου του νερού (Σχήμα 1.1) συμμετέχουν τέσσερα μοριακά τροχιακά τα οποία περιέχουν τέσσερα ζεύγη ηλεκτρονίων (έξι ηλεκτρόνια από το οξυγόνο και ένα από κάθε ένα από τα δυο άτομα υδρογόνου). Δύο τροχιακά σχηματίζουν ομοιοπολικούς δεσμούς O-H και τα άλλα δύο τροχιακά παραμένουν ελεύθερα 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 1.1 β). Το ηλεκτρικά ουδέτερο λοιπόν μόριο του νερού είναι στη λεπτομέρεια 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 ( $\delta^+$ ) από τα κέντρα των αρνητικών φορτίων ( $\delta^-$ ). 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.





α. Δεσμοί υδρογόνου μεταξύ μορίων νερού



β. Κέντρα θετικών και αρνητικών φορτίων στο μοριακό δίπολο

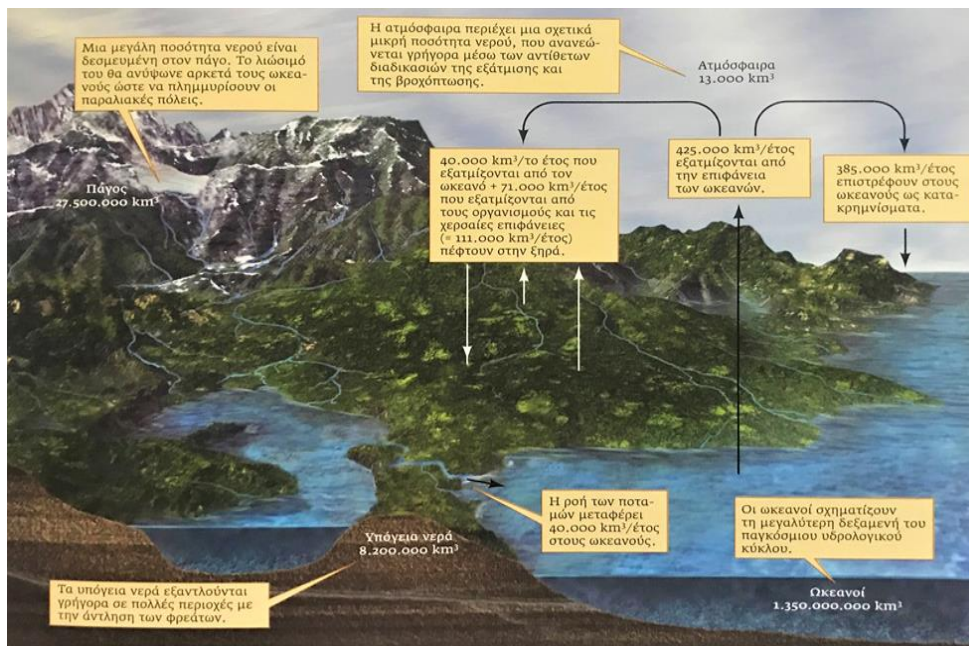
**Σχήμα 1.1:** Δομή του νερού και σύνδεση μορίων νερού με δεσμούς υδρογόνου.[3]

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 τετράεδρου 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.[1]

### 1.3 Ο υδρολογικός κύκλος

Το νερό απαντάται στον πλανήτη σε στερεή μορφή (πάγος), σε υγρή και σε αέρια μορφή (υδρατμοί). Πάνω όμως από 71% της επιφάνειας της γης καλύπτεται από νερό. Αυτό διανέμεται άνισα μεταξύ των υδάτινων περιβαλλόντων, όπως λίμνες, οι ποταμοί και οι ωκεανοί. Το περισσότερο είναι θαλασσινό νερό, οι ωκεανοί περιέχουν πάνω από 97% του νερού της βιόσφαιρας και τα πολικά καλύμματα πάγου και οι παγετώνες περιέχουν ένα επιπλέον 2%. Λιγότερο από 1% είναι το γλυκό νερό στους ποταμούς, τις λίμνες και τα ενεργά ανταλλάσσόμενα, υπόγεια νερά. Η κατάσταση στη γη είναι πράγματι όπως την είδε ο παλιός ναυτικός του Samuel Coleridge : «Νερό, νερό παντού, αλλά ούτε μια σταγόνα για να πιείς».

Ωστόσο η κατανομή του νερού σε όλη τη βιόσφαιρα δεν είναι στατική. Η Εικόνα 1.2 συνοψίζει τις δυναμικές ανταλλαγές που αποκαλούμε υδρολογικό κύκλο. Τα ποικίλα υδάτινα περιβάλλοντα, όπως λίμνες, ποτάμια και ωκεανοί, συν η ατμόσφαιρα, ο πάγος, το έδαφος και ακόμη κι οι οργανισμοί μπορούν να θεωρηθούν ως «δεξαμενές» μέσα στον υδρολογικό κύκλο, δηλαδή θέσεις όπου το νερό αποθηκεύεται για κάποια χρονική περίοδο. Το νερό σε αυτές τις δεξαμενές ανανεώνεται ή ανακυκλώνεται.[4]



**Εικόνα 1.2:** Δυναμικές ανταλλαγές, υδρολογικός κύκλος.[4]

Δηλαδή η θάλασσα, τα ποτάμια, οι λίμνες, η ατμόσφαιρα και το έδαφος βρίσκονται διαρκώς σε δυναμική κατάσταση μεταφοράς ποσοτήτων νερού. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.3 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.

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 δίοδο 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.[1]

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι χώροι αποθήκευσης του νερού θεωρούνται ως «δεξαμενές». Για να πραγματοποιηθεί λοιπόν μια ανανέωση ή ανακύκλωση στις δεξαμενές αυτές αποθήκευσης του νερού, υπάρχει ένα συγκεκριμένο χρονικό «όριο» που ονομάζεται **χρόνος ανακύκλωσης**. Ο χρόνος λοιπόν ανακύκλωσης, είναι ο χρόνος που απαιτείται για την ανανέωση όλου του όγκου νερού μιας συγκεκριμένης δεξαμενής.

Επειδή το μέγεθος κάθε δεξαμενής καθώς και οι ρυθμοί ανταλλαγής του νερού διαφέρουν, οι ρυθμοί ανακύκλωσης του νερού διαφέρουν και αυτοί πολύ. Το νερό στην ατμόσφαιρα ανακυκλώνεται περίπου κάθε 9 μέρες. Ο χρόνος ανανέωσης στα ποτάμια διαρκεί 12 με 20 μέρες και είναι το ίδιο γρήγορος. Οι χρόνοι ανανέωσης των λιμνών είναι μεγαλύτεροι, κυμαίνονται από ημέρες έως και αιώνες σε όλη τη γη και εξαρτώνται από την επιφάνεια, το βάθος και το ρυθμό αποστράγγισης.

Αλλά η μεγαλύτερη έκπληξη είναι ο χρόνος ανανέωσης για τη μεγαλύτερη δεξαμενή από όλες, δηλαδή τους ωκεανούς. Με ένα χρόνο ανανέωσης μόνο 3.100 ετών, ο συνολικός όγκος των ωκεανών, που είναι πάνω από 1,3 δισεκατομμύρια km<sup>3</sup> νερού, έχει ανακυκλωθεί περισσότερες από 30 φορές τα τελευταία 100.000 χρόνια ή περίπου τόσο, από τότε που οι πρώτοι σύγχρονοι άνθρωποι κοίταζαν έξω προς έναν ωκεανό.[4]

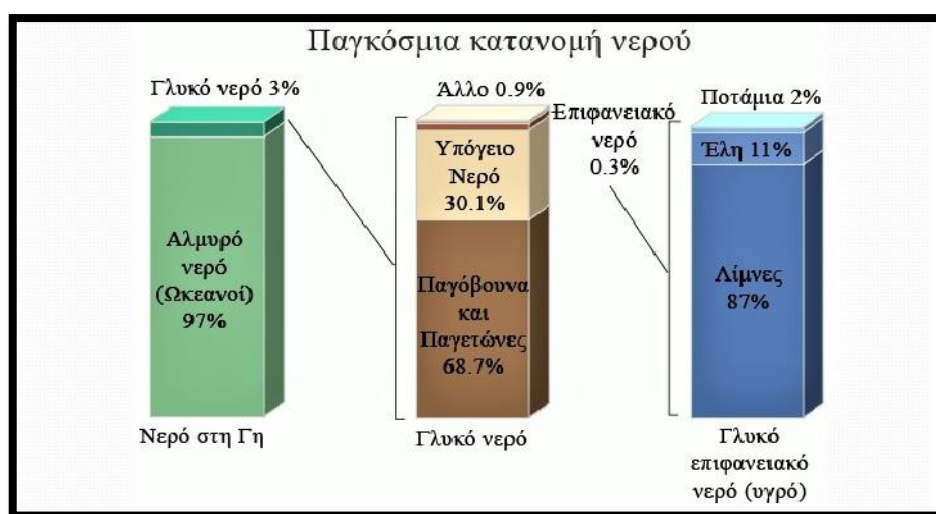


Εικόνα 1.3: Οι μηχανισμοί του υδρολογικού κύκλου. [5]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ

### 2.1 Υδάτινοι πόροι

Με τον όρο υδάτινοι πόροι περιγράφονται όλα τα επιφανειακά αλλά και υπόγεια ύδατα μιας περιοχής, ενώ ο όρος υπόγεια ύδατα αναφέρεται στις υδάτινες ποσότητες οι οποίες υπάρχουν στο υπέδαφος και στους διάφορους υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς. Η οδηγία-πλαίσιο για τα ύδατα 2000/60/ΕΚ αποτελεί σημαντικότατο νομοθετικό θέσπισμα όσον αφορά τα ύδατα, καθώς μεταξύ άλλων ορίζει τα επιφανειακά ύδατα ως τα εσωτερικά ύδατα, εξαιρώντας τα υπόγεια, τα μεταβατικά και τα παράκτια. Η κατανομή του νερού στα διάφορα αυτά είδη σε παγκόσμια κλίμακα αναπαρίστανται γραφικά παρακάτω στην Εικόνα 2.1. [6]



Εικόνα 2.1: Παγκόσμια κατανομή νερού.[7]

#### 2.1.1 Επιφανειακά νερά

Από την ποσότητα που πέφτει στη στεριά σύμφωνα με τον υδρολογικό κύκλο, ένα σημαντικό μέρος καταλήγει και πάλι στους ωκεανούς ρέοντας υπό την επίδραση της βαρύτητας, ως επιφανειακή απορροή. Η μεγαλύτερη ποσότητα της επιφανειακής απορροής μεταφέρεται στους ωκεανούς από τα ποτάμια, με τη μορφή ροής σε υδατορεύματα. Η επιφανειακή απορροή μπορεί ακόμη να καταλήξει στις λίμνες, που αποτελούν, μαζί με τους ποταμούς, τις κυριότερες αποθήκες γλυκού νερού. Ωστόσο, το νερό των κατακρημνισμάτων δεν ρέει αποκλειστικά μέσα στους ποταμούς. Κάποιες ποσότητες διαπερνούν το έδαφος με τη λειτουργία της διήθησης και σχηματίζουν το υπόγειο νερό. Μέρος του νερού αυτού μπορεί να ξαναβρεί το δρόμο του προς τα επιφανειακά υδάτινα σώματα (και τους ωκεανούς) ως εκφόρτιση υπόγειου νερού.[8]

Στα **επιφανειακά νερά** εντάσσονται τα εσωτερικά νερά (εκτός από τα υπόγεια), τα μεταβατικά και τα παράκτια.[9]

Στα **εσωτερικά νερά** περιλαμβάνεται το σύνολο των στάσιμων ή ρεόντων νερών επιφανειακών και όλα τα υπόγεια που βρίσκονται προς την πλευρά της ξηράς, σε σχέση με τη γραμμή η οποία οριοθετεί τα χωρικά ύδατα.

Στα **μεταβατικά ύδατα** περιλαμβάνονται τα επιφανειακά που βρίσκονται κοντά στο στόμιο εκβολής ποταμού, τα οποία είναι εν μέρει αλμυρά, λόγω της γειννίας τους με παράκτια, αλλά και επηρεάζονται ουσιαστικά από ρεύματα γλυκού νερού.

**Παράκτια ύδατα** είναι τα επιφανειακά που βρίσκονται σε θαλάσσια ζώνη προς την πλευρά της ξηράς, το εύρος της οποίας ορίζεται ως η απόσταση ενός ναυτικού μιλίου προς τη

θάλασσα από το πλησιέστερο σημείο μιας γραμμής βάσης, από την οποία συμβατικά προσδιορίζεται το εύρος των χωρικών υδάτων και τα οποία κατά περίπτωση, εκτείνονται μέχρι του απώτερου ορίου των μεταβατικών ορίων.[10 & 11]

### **2.1.2 Υπόγεια νερά**

**Υπόγεια νερά** χαρακτηρίζονται τα νερά 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.

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.[8]

## **2.2 Οι ποταμοί**

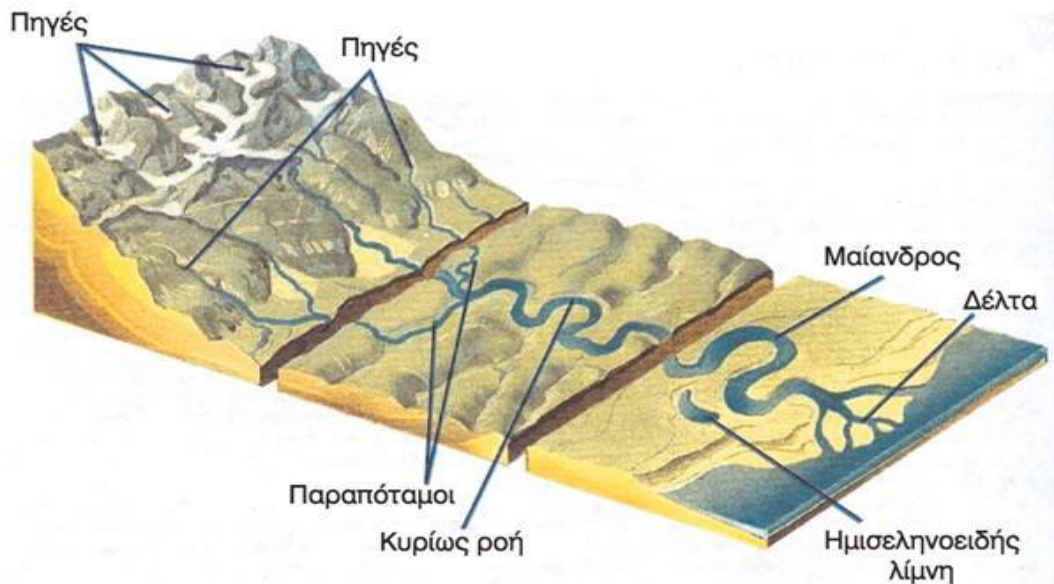
Τα ποτάμια δεν είναι σημαντικά μόνο για τους ανθρώπους, αλλά και για τη ζωή. Δεν είναι μόνο θαυμάσιοι τόποι αναψυχής αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης ως πηγή πόσιμου νερού, για άρδευση, για την παραγωγή ηλεκτρισμού, τη μετακίνηση εμπορευμάτων αλλά και ως πηγή τροφής. Μερικές φορές στα ποτάμια γίνεται απόρριψη λυμάτων τα οποία θα πρέπει να είναι επεξεργασμένα για την αποφυγή ρύπανσης και καταστροφής πολλών ειδών οργανισμών, φυτών και ζώων, που ζουν εκεί. Τα ποτάμια βοηθούν επίσης στην τροφοδοσία των υπόγειων υδροφόρων μέσω της διήθησης νερού από τη κοίτη τους προς τα κατώτερα υπεδάφια στρώματα.

### **Πηγή**

Πηγή ενός ποταμού είναι το άνοιγμα στη γη όπου αναβλύζει νερό και σχηματίζεται ρεύμα νερού ή το νερό των βροχών και το λιωμένο χιόνι που κινείται ψηλά στα βουνά, ο χώρος που ξεκινά το ποτάμι. (Εικόνα 2.2 & 2.3).[12]

### **Ποταμός**

Ποταμός είναι μια επιμήκης υδατοσυλλογή με τρεχούμενο νερό, το οποίο ρέει προς τα κατάντη με τη βαρύτητα. Δηλαδή χαρακτηρίζεται ένα μεγάλο ρεύμα υδάτων μέσα στο οποίο συγκεντρώνονται τα νερά των βουνών και μεταφέρονται στη θάλασσα. Οι ποταμοί αποστραγγίζουν τα περισσότερα από τα τοπία του κόσμου. Ακόμη και όταν πέφτει βροχή σε ένα τοπίο, ένα μέρος απορρέει είτε ως επιφανειακή είτε ως υπόγεια ροή. Ένας ποταμός προκύπτει από την ένωση διάφορων ρυακιών όπου η ροή του ποταμού ακολουθεί τη μορφολογία του τοπίου κυρίως σε είδη σχηματισμένες κοιλάδες ή σε τέτοιες που σχηματίζει ο ποταμός μόνος του.



**Εικόνα 2.2:** Τα στάδια σχεδίασης ενός ποταμού.[12]

### Παραπόταμος

Παραπόταμος είναι μικρότερος ποταμός που χύνεται σε μεγαλύτερο ποταμό.[12]

### Κυρίως ροή ποταμού ή «κοίτη»

Η κυρίως ροή είναι το μεγαλύτερο τμήμα του ποταμού, δηλαδή είναι μια στενή αύλακα που διοχετεύει τη ροή της υδάτινης μάζας του ποταμού προς τα κατάντη (Εικόνα 2.2 & 2.3). Διαμορφώνεται από τις δυνάμεις του τρεχόμενου νερού με τέτοιο τρόπο ώστε να μεταφέρει όσο το δυνατόν καλύτερα προς τα κατάντη, εκτός από τη μάζα του νερού και τις φερτές ύλες που αποτελούν προϊόντα της ποτάμιας διάβρωσης. Το μέγεθος της κοίτης ενός ποταμού ποικίλει από λίγα μέτρα έως χιλιόμετρα. Η διαδικασία που επικρατεί είναι αυτή της μεταφοράς. Η κυρίως ροή είναι το πιο μεγάλο μέρος του ποταμού, όπου μπορεί να ενώνεται με τους παραποτάμους, το μέρος όμως που ενώνονται δύο ποταμοί λέγεται **συμβολή**. [12]



**Εικόνα 2.3:** Πηγές, κυρίως ροή, παροχή και εκβολές ποταμού.[12]

Το τρεχούμενο πάνω στην επιφάνεια της Γης νερό αποτελεί τον σπουδαιότερο παράγοντα διαμόρφωσης του επιφανειακού ανάγλυφου. Έτσι όταν αυτό οργανώνεται σε μια επιμήκη υδάτινη μάζα μέσα σε ρυάκια, χείμαρρους και ποταμούς δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες για την διάβρωση, μεταφορά και απόθεση φερτών υλικών που αποσπάζτηκαν από τα μητρικά πετρώματα. Η δράση αυτή του νερού αποτελεί την κύρια αιτία για την δημιουργία των **λεκανών απορροής** και των κοιλάδων που σαν μορφολογικό σύνολο διαμορφώνουν στη βάση τους, τους δρόμους αποστράγγισης του νερού δηλαδή το **υδρογραφικό δίκτυο**. Ουσιαστικά το υδρογραφικό δίκτυο αποτελεί το δίκτυο μεταφοράς - κίνησης του επιφανειακού νερού και των ιζημάτων μιας υδρολογικής λεκάνης. Η μελέτη ενός υδρογραφικού δικτύου εστιάζεται στις ιδιότητες του και στους πιθανούς τρόπους ανάπτυξής του. Όταν η ροή του επιφανειακού νερού μεταβληθεί από επιφανειακού μανδύα σε γραμμική, τότε το νερό συγκεντρώνεται σε μια στενή **κοίτη** με πλευρικές όχθες και ρέει ευκολότερα προς τα κατόντη με την μορφή ενός επιμήκους υδάτινου ρεύματος το οποίο αποτελεί τη στοιχειώδη μονάδα του υδρογραφικού δικτύου που αλλιώς ονομάζεται **χείμαρρος**. [13]

### **Χείμαρρος**

Είναι το μικρό ορμητικό ρεύμα νερού (ποτάμι) το οποίο σχηματίζεται από τις βροχές αλλά και το λιώσιμο των πάγων και κατά τη θερμή περίοδο είναι ξερό. [12]

### **Υδρογραφικό δίκτυο**

Είναι το σύνολο επιφανειακών υδατορευμάτων, ρυακιών, χείμαρρων, παραποτάμων ενός ποταμού και ο ίδιος ο ποταμός μέσω των οποίων αποστραγγίζεται μια λεκάνη απορροής, (Εικόνα 2.4). [12]

### **Λεκάνη απορροής ή υδρολογική λεκάνη**

Το σύνολο της έκτασης που επηρεάζεται από τη δράση του επιφανειακού νερού αναφέρεται ως «**περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού**», (Εικόνα 2.4). Η περιοχή αντιστοιχεί στη διακεκριμένη χερσαία έκταση, εντός της οποίας συγκεντρώνονται τα νερά της βροχής και ρέουν προς τη θάλασσα. Η επιφανειακή διαδρομή των νερών της βροχής (έστω και αν η ροή των νερών για ένα μέρος της διαδρομής τους προς τη θάλασσα είναι υπόγεια) αναφέρεται ως ποταμός. Οι πλαγιές και οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου αποτελούν τα βασικά μορφολογικά στοιχεία της. Δηλαδή είναι η περιοχή που αποστραγγίζεται από ένα δίκτυο υδατορευμάτων. Στην περιοχή της λεκάνης απορροής των ποταμών περιλαμβάνονται και οι υδατοσυλλογές νερού στην χέρσο (λίμνες, έλη κ.λπ.), καθώς και η έκταση της θάλασσας κοντά στις εκβολές των ποταμών. [9]

Αν ένας ποταμός είναι παραπόταμος κάποιου άλλου μεγαλύτερου, τότε και η λεκάνη απορροής του είναι «**υπολεκάνη**» κάποιας ευρύτερης που αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο ποταμό. [14] Οι λεκάνες των ποταμών χωρίζονται μεταξύ τους από τους υδροκρίτες, δηλαδή τα τοπογραφικά υψηλά σημεία. Για παράδειγμα, οι κορυφές των Βραχωδών Ορέων διαιρούν την απορροή από το λιώσιμο του χιονιού. Το νερό στην ανατολική πλευρά των κορυφών ρέει στον Ατλαντικό ωκεανό, ενώ το νερό στη δυτική πλευρά στον Ειρηνικό ωκεανό. [4]

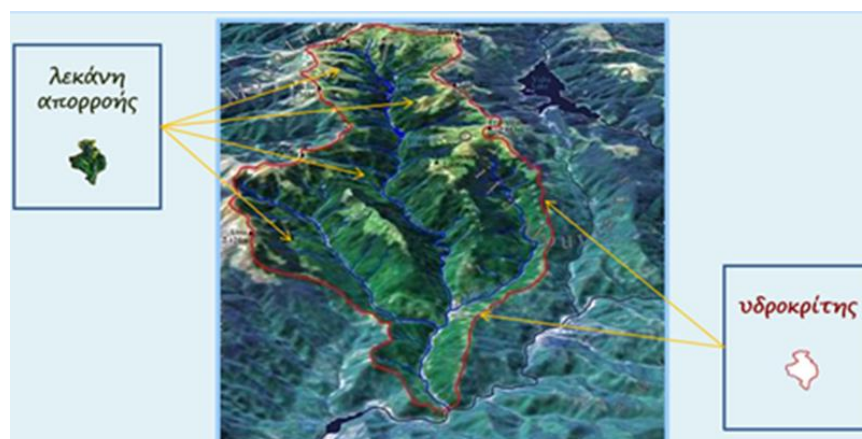
### **Υδροκρίτης**

Για να οριστούν τα όρια μιας λεκάνης απορροής που αποστραγγίζεται διαμέσου ενός υδρογραφικού δικτύου πρέπει πρώτα να κατασκευαστεί ο υδροκρίτης του δικτύου. Με τον όρο Υδροκριτική γραμμή ή Υδροκρίτης ονομάζεται η νοητή γραμμή που συνδέει τα ψηλότερα σημεία των υψωμάτων της επιφάνειας της Γης (λόφοι, βουνοκορφές) και διαχωρίζει τη ροή των όμβριων υδάτων (Εικόνα 2.4). [13]

### **Κλίση**

Η κλίση του ποταμού προκύπτει από την υψομετρική διαφορά μεταξύ της επιφάνειας της θάλασσας και της περιοχής σχηματισμού του ποταμού και την απόσταση αυτών. Η κλίση

σε συνάρτηση με την ποσότητα του νερού και τη διατομή αυτού προσδιορίζει την ταχύτητα ροής. Η ταχύτητα όμως ροής μέσα στη διατομή του ποταμού είναι ποικίλη, αυτή μεγαλώνει προς το κέντρο της ροής και με αυξανόμενο ύψος, λόγω ελάττωσης της τριβής.



**Εικόνα 2.4:** Υδρογραφικό δίκτυο μιας λεκάνης απορροής και η υδροκρίτης γραμμή.[15]

### Εκβολές – Δέλτα

Αφορούν τις περιοχές όπου ο ποταμός εκφορτίζει τα ύδατα του στη θάλασσα (Εικόνα 2.5). Στις περιοχές αυτές γίνεται και η απόθεση των φερτών υλικών, τα οποία αποτελούν και θρεπτικά συστατικά και ευνοούν την ανάπτυξη ποικιλίας χλωρίδας και πανίδας. Η παρουσία δελταϊκών σχηματισμών αποδεικνύει και την ικανότητα του ποταμού να μεταφέρει ιζήματα και να τα αποθέτει σε μικρότερο χρόνο από εκείνον που χρειάζονται τα ρεύματα και τα κύματα για να τα μετακινήσουν. Οι σχηματισμοί τύπου ‘δέλτα’ (Εικόνα 2.6), ευνοούνται όταν τα ποτάμια εκβάλλουν σε κλειστές θάλασσες με μικρή κλίση πυθμένος, όταν αφθονούν τα φερτά υλικά και παράλληλα απουσιάζουν δυνατά ρεύματα, κύματα και παλίρροιες. Οι παραπάνω προϋποθέσεις φαίνεται να πληρούνται σε πολλά από τα ποτάμια της χώρας μας τα οποία σχηματίζουν πλούσια δέλτα, ενταγμένα μάλιστα στη διεθνή σύμβαση Ramsar (Εβρος, Νέστος, Αξιός, Λουδίας, Αλιάκμονας, Λούρος, Αραχθός, Αχελώος, Εύηνος) ή στο δίκτυο Natura 2000, λόγω των ενδιατημάτων τους και της πλούσιας χλωρίδας και πανίδας τους.

Η δομή των εκβολών τροποποιείται από τη μορφολογία της περιοχής, την παλίρροια και το ποσό του εισερχόμενου γλυκού νερού. Η διαφορά πυκνότητας που δημιουργείται από το αλμυρό και το γλυκό νερό προκαλεί μια αλμυρή σφήνα (salt wedge), η οποία λόγω της υψηλής αλατότητας είναι βαρύτερη από το υπερκείμενο γλυκό νερό και εκτείνεται κάτω από αυτό. Στις περισσότερες περιοχές η εισροή γλυκού νερού ποικίλλει αξιοσημείωτα κατά τη διάρκεια του έτους και αυτό τροποποιεί την έκταση της αλμυρής σφήνας προς τον ποταμό. Η παλίρροια που καλύπτεται από την αλμυρή σφήνα, καθώς μετακινείται από τις εκβολές, είναι συχνά η ζώνη της μεγαλύτερης αφθονίας φυτοπλαγκτόν και ζωοπλαγκτόν.[16]



**Εικόνα 2.5:** Εκβολές ποταμού Άραχθος.[16]



**Εικόνα 2.6:** Δέλτα ποταμού.[17]



## 2.3 Ανάπτυξη ποταμού

Η ανάπτυξη ενός ποταμού διέρχεται από τρία στάδια εξέλιξης:

### 1. Στάδιο νεότητας (άνω ρου) :

Ο ποταμός δημιουργείται σε μια νέα ξηρά που μόλις έχει αναδυθεί από τη θάλασσα. Το υδρογραφικό δίκτυο που αναπτύσσεται διαβρώνει κυρίως κατά βάθος την κοίτη του, οι κοιλάδες που αναπτύσσονται έχουν απότομη κλίση και σχήμα κλειστού V, η κοίτη του ποταμού έχει μεγάλη κλίση και το νερό κινείται με μεγάλη ταχύτητα. Συνήθως το μήκος του ποταμού σε αυτό το στάδιο είναι μικρό (αν και εξαρτάται από τα πετρώματα που διαρρέει) και η λεκάνη απορροής του επιμήκης. Η κοιλάδα του είναι στενή και ανώμαλη και στο στάδιο αυτό εμφανίζονται φαράγγια και καταρράκτες.



### 2. Στάδιο ωριμότητας (μέσο ρου) :

Σε αυτό το στάδιο η διάβρωση γίνεται κυρίως πλευρικά, με αποτέλεσμα οι αρχικές κοιλάδες σχήματος κλειστού V να παίρνουν σχήμα ανοικτού U. Όσο προχωράει η διάβρωση τόσο το πλάτος της κοίτης αυξάνεται. Οι κλίσεις των κοιτών είναι μικρότερες με αποτέλεσμα η ταχύτητα απορροής να είναι μικρότερη, πράγμα που οδηγεί την εμφάνιση μαιάνδρων (βρόγχων) στα πεδινά τμήματα. Γενικά δεν παρατηρούνται οξύληκτες κορυφές αλλά στρογγυλοποιημένες και οι κλίσεις των κλιτύων είναι πιο ομαλές.



### 3. Στάδιο γήρατος (κάτω ρου) :

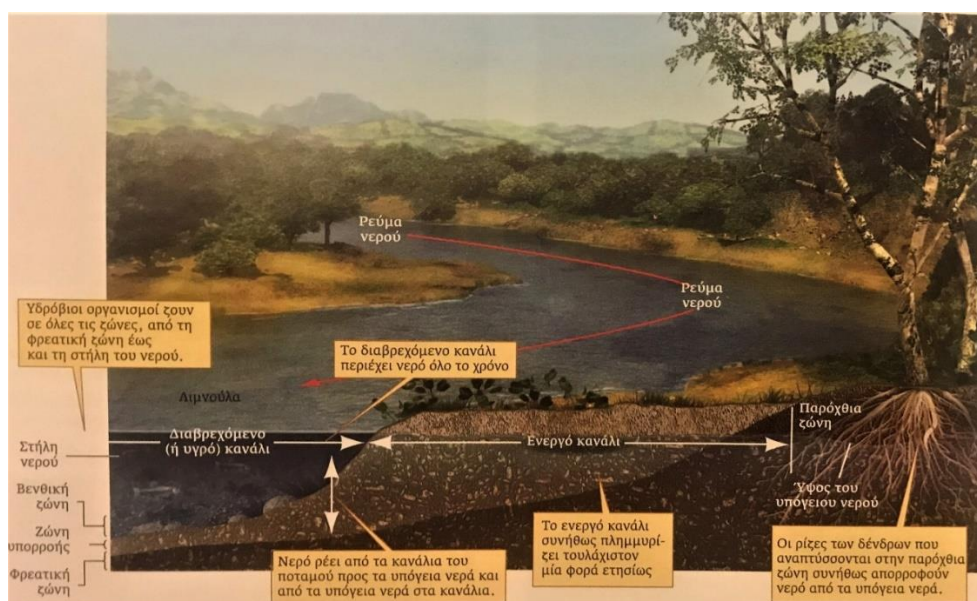
Ο ποταμός έχει φτάσει σε κατάσταση ισορροπίας. Στο στάδιο αυτό δεχόμαστε ότι δεν διαβρώνει αλλά απλά μεταφέρει υλικά. Στην πραγματικότητα βέβαια η διάβρωση συνεχίζεται αλλά έχει μειωθεί υπερβολικά ο ρυθμός της. Οι μαιάνδροι έχουν αναπτυχθεί πάρα πολύ και αλλάζουν θέση ελεύθερα κινούμενοι μέσα σε ένα πολύ μεγάλο πλάτος που έχει σχηματίσει η κοίτη. Η κλίση της κοίτης είναι ελάχιστη. Από τις αποθέσεις των υλικών του ποταμού έχουν σχηματιστεί εκτεταμένα αλλουβιακά πεδία (επίπεδες περιοχές που καλύπτονται από τις προσχώσεις του ποταμού), οι οποίες χρησιμεύουν στην γεωργία. Το ανάγλυφο είναι πολύ ομαλό.[18]



## 2.4 Η δομή των ποταμών

Οι ποταμοί και τα ρεύματα μπορούν να διαιρεθούν κατά μήκος τριών διαστάσεων. Μπορούν λοιπόν να διαιρεθούν **κατά μήκος** της κοίτης τους σε λίμνες, διαδρομές, κυματισμούς και ταχείες ροές και λόγω της παραλλαγής στη ροή, οι ποταμοί μπορούν, επίσης να διαιρεθούν **κατά πλάτος** σε διαβρεχόμενα ή υγρά κανάλια και σε ενεργά κανάλια. Ένα υγρό κανάλι περιέχει νερό ακόμη και κατά τη διάρκεια των συνθηκών χαμηλής ροής. Ένα ενεργό κανάλι που επεκτείνεται έξω από τη μια ή και τις δύο πλευρές ενός υγρού καναλιού μπορεί να είναι ξηρό μία χρονική περίοδο αλλά να πλημμυρίζει κατά τη διάρκεια των υψηλών ετήσιων ροών. Έξω από το ενεργό κανάλι είναι η παρόχθια ζώνη, μια μετάβαση μεταξύ του υδάτινου περιβάλλοντος του ποταμού και του πιο ψηλά ευρισκόμενου χερσαίου περιβάλλοντος. Οι ποταμοί και τα ρεύματα μπορούν να διαιρεθούν κάθετα στην επιφάνεια του νερού, στην υδάτινη στήλη και το βυθό ή βενθική ζώνη.

Η **βένθικη ζώνη** περιλαμβάνει την επιφάνεια του υποστρώματος του βυθού και το εσωτερικό του υποστρώματος έως τα βάθη στα οποία το επιφανειακό νερό ρέει ακόμα. Κάτω από τη βενθική ζώνη είναι η **ζώνη υπορροής ή υπορροϊκή ζώνη**, μία ζώνη μετάβασης μεταξύ των περιοχών της επιφανειακής ροής του νερού και των υπόγειων νερών. Η περιοχή που περιέχει τα υπόγεια νερά κάτω από την υπορροϊκή ζώνη καλείται **φρεατική ζώνη**. Κάθε μέρος ενός ποταμού ή ενός ρεύματος είναι φυσικά ή χημικά ένα ξεχωριστό περιβάλλον και καθένα υποστηρίζει διαφορετικούς οργανισμούς (Εικόνα 2.7).[4]



Εικόνα 2.7: Οι τρεις διαστάσεις της δομής του ρεύματος.[4]

## 2.5 Τύποι ποταμών

Οι ποταμοί είναι οι πιο σημαντικοί μεταφορείς υλικών στο χώρο της ξηράς και από τη συμπεριφορά τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό η μορφολογία της επιφάνειας των ηπείρων. Οι ποταμοί δρουν σ' ένα συγκεκριμένο χώρο που λέγεται λεκάνη απορροής και σχηματίζουν ένα πολύπλοκο δίκτυο από μικρά και μεγάλα ρεύματα (κανάλια ή κοίτες). Τα ρεύματα αυτά συγκεντρώνουν και διακινούν νερό και υλικά από τα ψηλότερα προς τα χαμηλότερα τμήματα της λεκάνης απορροής, για να καταλήξουν όλα μαζί σ' ένα κύριο ρεύμα –κορμό, που θα τα μεταφέρει προς τα βυθίσματα, τις λίμνες και τη θάλασσα. Η συμπεριφορά κάθε τέτοιου ποτάμιου συστήματος εξαρτάται από πολλούς γενικούς και τοπικούς παράγοντες όπως είναι το κλίμα, το ανάγλυφο, η λιθολογία, η τεκτονική κλπ. Για το λόγο αυτό κάθε ποταμός έχει τους δικούς του χαρακτήρες που διαφέρουν λίγο από τους χαρακτήρες των άλλων ποταμών.

Ακόμα πιο πολύπλοκες καταστάσεις, υπάρχουν στα διάφορα τμήματα του ίδιου του ποταμού, γιατί ένας ποταμός δεν έχει τις ίδιες σταθερές συνθήκες μεταφοράς και μορφές από τις πηγές του μέχρι τις εκβολές του. Ανάλογα με τη μορφολογία, την τροφοδοσία σε νερό, υλικά και άλλες συνθήκες, ο ποταμός αποκτά και τους μηχανισμούς του και τις μορφές του κατά την πορεία από τα ψηλότερα προς τα χαμηλότερα τμήματα της λεκάνης απορροής.

Επίσης σημαντικό είναι να γνωρίζουμε ότι ένας ποταμός δεν μεταφέρει μόνο τα υλικά του, αλλά ένα μέρος από αυτά τα αποθέτει κατά την πορεία του είτε μέσα, είτε έξω από την κοίτη του. Έτσι σχηματίζονται οι ποτάμιες αποθέσεις που παρουσιάζουν ποικιλία ανάλογη με την ποικιλία που έχουν οι χαρακτήρες του ποταμού. Ανάλογα με το σχήμα και τους άλλους χαρακτήρες που αποκτά η κοίτη των ποταμών, μπορούμε να τους διακρίνουμε στους παρακάτω τρεις τύπους (Εικόνα 2.8) με αντίστοιχες ιδιότητες.



■ **Ευθυτενής**



■ **Πλεξοειδής**



■ **Μαίανδρος**

**Εικόνα 2.8:** Βασικοί τύποι ποταμών.[19]

### ***Ευθυτενείς ποταμοί***

- Η κοίτη τους ακολουθεί μια περίπου ευθύγραμμη πορεία με μικρές κάμψεις.
- Το μήκος της κοίτης ταυτίζεται σχεδόν με το μήκος κύματος του ποταμού.
- Το πλάτος της κοίτης είναι πολύ μεγαλύτερο από το βάθος ροής δηλαδή πρόκειται για πλατείς και ρηχούς ποταμούς.
- Η πορεία του νερού μέσα στον πυθμένα της κοίτης ποικίλει, αλλά η διεύθυνση του ρεύματος σε γενικές γραμμές είναι σταθερή.
- Οι ροές κατά κανόνα είναι γρήγορες, ορμητικές, υπερκρίσιμες με έντονο τυρβώδες και είναι ικανές να μεταφέρουν χονδρόκοκκα υλικά με κύλιση ή πήδηση.

### ***Πλεξοειδείς ποταμοί***

- Το πλάτος της κοίτης παραμένει μεγάλο, αλλά η σχέση του με το βάθος ροής μικραίνει σημαντικά.
- Το πιο χαρακτηριστικό γνώρισμα που έχουν οι ποταμοί αυτοί είναι ο σχηματισμός φραγμάτων (νησίδων) μέσα στη κοίτη τους. Τα φράγματα αυτά μοιάζουν με φακούς, γλώσσες ή ατράκτους, σχηματίζονται είτε στο κέντρο, είτε κοντά στις όχθες, προσανατολίζονται με το μεγάλο άξονα παράλληλο προς τη ροή του νερού και δεν είναι πάντοτε σταθερά.
- Όταν η στάθμη του νερού μέσα στην κοίτη ανεβαίνει, τα φράγματα σκεπάζονται από το νερό ή καταστρέφονται ενώ όταν κατεβαίνει, τα φράγματα υψώνονται πάνω από αυτή και σε πολλές περιπτώσεις αναπτύσσεται βλάστηση στην επιφάνεια και τα σταθεροποιεί.
- Η παρουσία των φραγμάτων αυτών μέσα στην κοίτη, αναγκάζει το νερό να αλλάζει την πορεία του, να διχάζεται όταν τα πλησιάζει και να συμβάλει όταν απομακρύνεται από αυτό. Για τον λόγο αυτό οι ποταμοί ονομάστηκαν πλεξοειδείς, γνωστοί επίσης και με τον όρο αναστομωμένοι.
- Η έντονη διακύμανση της στάθμης που απαντάται σε περιόδους με πολύ νερό-ψηλή στάθμη και περιόδους με λίγο νερό-χαμηλή στάθμη, έχει εποχιακό χαρακτήρα με αποτέλεσμα την αντίστοιχη διακύμανση στη μεταφορά υλικών. Χονδρόκοκκα υλικά, κροκάλες και άμμος μεταφέρονται κατά τη διάρκεια της υψηλής στάθμης, κινούμενα με κύλιση και πήδηση από ισχυρά ρεύματα έλξης στον πυθμένα και λεπτόκοκκα υλικά αιωρούνται στα ανώτερα στρώματα της ροής. Τα υλικά αυτά αρχίζουν σιγά σιγά να αποτίθενται μέσα στην κοίτη καθώς η δύναμη των ρευμάτων μειώνεται προοδευτικά. Φακοί από κροκάλες και άμμο και τέλος μικρού πάχους στρώσεις από άμμο-ίλυ σχηματίζουν μέσα στην κοίτη ποικιλία αποθέσεων και φράγματα. Το υλικό έχει μια γενική διαβάθμιση μεγέθους (κανονική) και είναι πιο ταξινομημένο από το υλικό που αποτίθεται στην κοίτη των ευθύγραμμων ποταμών. Οι πλεξοειδείς ποταμοί συνήθως δεν είναι πλωτοί.

### ***Μαιανδρικοί ποταμοί***

- Η κοίτη των μαιάνδρων ακολουθεί μια κυματοειδή πορεία με μεγάλες κάμψεις (Εικόνα 2.9).
- Η κοίτη των μαιάνδρων δεν έχει σταθερή πορεία, αλλά συνεχώς μεταβάλλεται. Στις περισσότερες περιπτώσεις η μεταβολή αυτή γίνεται μέσα σ' ένα συγκεκριμένο χώρο που λέγεται μαιανδρική ζώνη, ενώ σε άλλες περιπτώσεις γίνεται ελεύθερα. Η μεταβολή αυτή οφείλεται στον τρόπο ροής του νερού μέσα στην κοίτη.

- Η ροή των μαιάνδρων έχει πιο σταθερούς χαρακτήρες από τη ροή των δύο προηγούμενων τύπων ποταμών, αλλά παρουσιάζει κι αυτή εποχιακές διακυμάνσεις με ψηλή και χαμηλή στάθμη.
- Τέλος στους μαιάνδρους, η κλίση της κοίτης είναι μικρή και η ταχύτητα των ρευμάτων έλξης και αιώρησης είναι μικρή με διακυμάνσεις, ανάλογα με την τροφοδοσία. Πολύ συνηθισμένο είναι το φαινόμενο της υπερχειλίσης της πλημμυρικής κοίτης. Οι μαιάνδροι γίνονται εύκολα πλωτοί ποταμοί αλλά η μαιανδρική ζώνη, θεωρείται ασταθής περιοχή για εγκαταστάσεις, εκτός από τους εγκιβωτισμένους μαιάνδρους μέσα στο γεωλογικό υπόβαθρο, όπως είναι ο Νέστος στην περιοχή των στενών του.[20]



**Εικόνα 2.9:** Το μαιανδρικό σχήμα του ποταμού Okavango στη Botswana.[4]

## 2.6 Κινήσεις του νερού

Αυτό που διακρίνει ένα ποτάμι είναι η συνεχής ροή (κίνηση) του νερού, από περιβαλλοντική άποψη τα ρεύματα των ποταμών μεταφέρουν τροφή, αφαιρούν τα απόβλητα, ανανεώνουν το οξυγόνο και επηρεάζουν έντονα το μέγεθος, τη μορφή και τη συμπεριφορά των οργανισμών των ποταμών.

Σε μια ήρεμη λίμνη τα ρεύματα μπορούν να ρέουν μόνο μερικά χιλιοστά ανά δευτερόλεπτο, αντίθετα το νερό στα πιο γρήγορα μέρη των ποταμών κατά το στάδιο πλημμύρας μπορεί να ρέει έως 6m ανά δευτερόλεπτο. Επίσης τα ρεύματα μεγάλων ποταμών μπορεί να είναι τόσο γρήγορα όσο τα ρεύματα στις πηγές. Η **εκφόρτιση του ποταμού** (δηλαδή η ποσότητα του νερού που μεταφέρεται από τα ποτάμια) διαφέρει πολύ από τη μια κλιματική κατάσταση στην άλλη. Οι ροές ποταμών είναι συχνά απρόβλεπτες και «δόλιες» μέσα στις ξηρές και ημίξηρες περιοχές, όπου οι παρατεταμένες ξηρασίες μπορεί να ακολουθηθούν από χειμαρρώδεις βροχές. Η ροή στα τροπικά ποτάμια ποικίλλει αρκετά. Πολλοί τροπικοί ποταμοί, οι οποίοι ρέουν πολύ λίγο κατά τη διάρκεια της ξηράς περιόδου, γίνονται χείμαρροι κατά τη διάρκεια της υγρής εποχής. Μερικές από τις πιο σταθερές ροές βρίσκονται στις δασικές εύκρατες περιοχές όπου η βροχόπτωση είναι αρκετά ομοιόμορφα κατανεμημένη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Ένα δασικό τοπίο μπορεί να μετριάσει τη μεταβολή στη ροή και αυτό το καταφέρνει απορροφώντας την περίσσεια της βροχής κατά τη διάρκεια των υγρών περιόδων και δρώντας ως δεξαμενή της ροής του ποταμού κατά τη διάρκεια των ξηρότερων περιόδων.

Φαίνεται πως η υγεία και η οικολογική ακεραιότητα των ποταμών και των ρευμάτων εξαρτώνται από τη διατήρηση του φυσικού καθεστώτος ροής για μια περιοχή. Τα ιστορικά πρότυπα της πλημμύρας έχουν ιδιαίτερα σημαντικές επιδράσεις στις διαδικασίες των οικοσυστημάτων των ποταμών, ειδικά στην ανταλλαγή των θρεπτικών ουσιών και της ενέργειας μεταξύ του καναλιού των ποταμών, της ζώνης πλημμυρών και των σχετικών υγρότοπων. Αυτή η ιδέα που προτάθηκε αρχικά ως έννοια του σφυγμού της πλημμύρας, υποστηρίζεται από ένα αυξανόμενο σώμα στοιχείων της έρευνας που πραγματοποιείται για τους ποταμούς σχεδόν σε κάθε ήπειρο.[4]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

### 3.1 Ρύπανση

**Ρύπανση** μπορεί να θεωρηθεί η δυσμενής μεταβολή των φυσικοχημικών ή βιολογικών συνθηκών ενός συγκεκριμένου περιβάλλοντος ή/και η βραχυπρόθεσμη ή μακροπρόθεσμη βλάβη στην ευζωία, την ποιότητα ζωής και την υγεία των ανθρώπων και των άλλων ειδών του πλανήτη. Η ρύπανση μπορεί να επηρεάζει επίσης την υλική και πολιτιστική βάση της ζωής, τους φυσικούς πόρους, τις ανθρώπινες δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένης και της αναψυχής. Η ρύπανση μπορεί να είναι χημική, με την εισαγωγή επικίνδυνων, βλαβερών ή και τοξικών ουσιών, ενεργειακή (θερμική, ραδιενεργή κα), βιολογική, αισθητική, ηχητική, γενετική (με την εισαγωγή πχ γενετικά μεταλλαγμένων ειδών).

**Άμεση ρύπανση** είναι αυτή που μπορεί να αντιληφθούμε άμεσα. Ένα παράδειγμα άμεσης ρύπανσης είναι η περίπτωση ενός ποταμού ή μιας λίμνης, όπου καταλήγουν τοξικά απόβλητα και προκαλείται άμεσος κι αιφνίδιος θάνατος ψαριών.

**Έμμεση ρύπανση** είναι η μορφή ρύπανσης, που δεν αντιλαμβανόμαστε εύκολα, επειδή δεν είναι ορατή. Για παράδειγμα, όταν καταλήγουν σε ένα ποτάμι ή σε μια λίμνη ή στη θάλασσα λύματα ή απόβλητα, σε ποσότητες που δεν μπορούν τα υδατικά οικοσυστήματα να καθαρίσουν, είναι πολύ πιθανό να προκληθούν σταδιακά αλλαγές στα είδη που υπάρχουν σε αυτό. Ορισμένα είδη αναπτύσσονται υπερβολικά, ενώ άλλα περιορίζονται ή εξαφανίζονται (ευτροφισμός). Σε πιο προχωρημένο επίπεδο ρύπανσης, μπορεί το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο να μειωθεί και να αρχίσει η παραγωγή άλλων αερίων, επικίνδυνων για τις μορφές ζωής (υδρόθειο, αμμωνιακά κα.).[21]

### 3.2 Μόλυνση

**Μόλυνση** είναι μια ειδική κατηγορία ρύπανσης, που οφείλεται σε μικροοργανισμούς. Όταν καταλήγουν σε ποτάμια, λίμνες ή στη θάλασσα βρώμικα νερά από κατοικίες, νοσοκομεία, χώρους απόρριψης σκουπιδιών κλπ. μπορεί να προκαλέσουν διάφορες μορφές ρύπανσης για παράδειγμα : ρύπανση εξαιτίας της παρουσίας χημικών, βλαβερών ουσιών, αλλά και μόλυνση εξαιτίας της παρουσίας μικροβίων και γενικότερα παθογόνων οργανισμών στα βρώμικα νερά.[21]

### 3.3 Ρύπανση του νερού των ποταμών

Οι πηγές ρύπανσης των υδατικών πόρων και οικοσυστημάτων διακρίνονται σε **αστικές, βιομηχανικές, γεωργικές και φυσικές**. Τα ποτάμια διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αφομοίωση ή τη μεταφορά βιομηχανικών ή αστικών αποβλήτων, κοπριάς ζώων και απορροής από αγροτικές εκτάσεις και δρόμους, που είναι υπεύθυνα για τη ρύπανση των ποταμών. Η απόθεση βιομηχανικών λυμάτων και αστικών αποβλήτων αλλά και λιπασμάτων θα μπορούσε να θεωρηθεί μία συνεχόμενη πηγή ρύπανσης σε αντίθεση με την επιφανειακή απορροή, η οποία είναι εποχική και επηρεάζεται σημαντικά από το κλίμα.

Η ροή των ποταμών είναι μια διεργασία πολλών παραγόντων, η οποία περιλαμβάνει ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, επιφανειακή απορροή, υπόγεια ροή και αντλούμενες εισροές και εκροές. Εποχικές διακυμάνσεις σε αυτούς τους παράγοντες επιδρούν στη ροή και επομένως και στις συγκεντρώσεις των ρυπαντών στο νερό του ποταμού. Μακροχρόνιες μελέτες έδειξαν ότι χωρικές (ρύπανση από ανθρωπογενή αίτια) και πρόσκαιρες (εποχικές και κλιματικές) διαφοροποιήσεις επηρεάζουν την ποιότητα και την υδροχημεία των ποταμών, καταδεικνύοντας συγκεκριμένα ότι το περιεχόμενο των ποταμών σε μεταλλικά στοιχεία είναι εποχικό και αναλόγως των κλιματολογικών συνθηκών, υποδεικνύοντας μια φυσική πηγή για αυτή τη μορφή ρύπανσης, ενώ η ρύπανση από οργανικό υλικό και θρεπτικά πηγάζει κυρίως από ανθρώπινες δραστηριότητες και κυρίως από τα αστικά λύματα.[22]

Εξ αιτίας φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών εντός του ποταμού, ο ρόλος αυτού του οικοσυστήματος δεν είναι απλά ένας αγωγός για τη μεταφορά εισροών. Αυτές οι διεργασίες δρουν ως φυσικό φιλτράρισμα με αποτέλεσμα η ποιότητα του ύδατος να είναι βελτιωμένη κατάντη μιας πηγής ρύπανσης. Μία ποιοτική παράμετρος πρωταρχικής σημασίας που επιταχύνει αυτές τις διεργασίες είναι η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου. Έτσι, ο καθαρισμός βασίζεται κατά πολύ στη συνεχή οξυγόνωση του ποτάμιου νερού, η οποία υποβοηθείται σε συνθήκες υψηλής ροής που ενθαρρύνουν τον επιφανειακό αερισμό. Αντιθέτως, η συμβολή των ρυπαντών υπό συνθήκες χαμηλής ροής μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στην ποιότητα του νερού. Ο ευτροφισμός, αιτία του οποίου είναι τα υπερβολικά επίπεδα θρεπτικών, είναι το πιο αξιοσημείωτο παράδειγμα.[23]

### **3.4 Σημειακές και μη σημειακές πηγές ρύπανσης**

Οι επιδράσεις από τους ρυπαντές χαρακτηρίζονται ως 'σημειακές' και 'μη σημειακές' (Εικόνα 3.1). Οι **σημειακές** αφορούν, αυστηρά καθορισμένες πηγές ρύπανσης διότι γίνονται σημειακά, τέτοιες σημειακές πηγές μπορεί να είναι :

- Απορροές υγρών αποβλήτων
- Θερμοηλεκτρικά εργοστάσια
- Παραπόταμοι- χείμαρροι
- Βιομηχανίες
- Λύματα ζώων από στάβλους
- Βλαβερές διαρροές
- Ατυχήματα

Οι **μη σημειακές** προκύπτουν όταν οι ρύποι που είναι διάσπαρτοι στην γη μεταφέρονται με την επιφανειακή απορροή του νερού και με την κίνηση του υπόγειου νερού στους αποδέκτες. Παραδείγματα μη σημειακών πηγών είναι:

- Επιφανειακή ή υπόγεια στράγγιση εδαφών
- Επιφανειακή απορροή από οικισμούς
- Μεταλλεία

Η ρύπανση από μη σημειακές πηγές είναι το αποτέλεσμα της μεταφοράς με το νερό των βροχοπτώσεων των υλικών και των ουσιών που ξεπλένονται και παρασέρνονται από τον αέρα και την επιφάνεια του εδάφους. Υλικά που μεταφέρονται από μη σημειακές πηγές είναι :

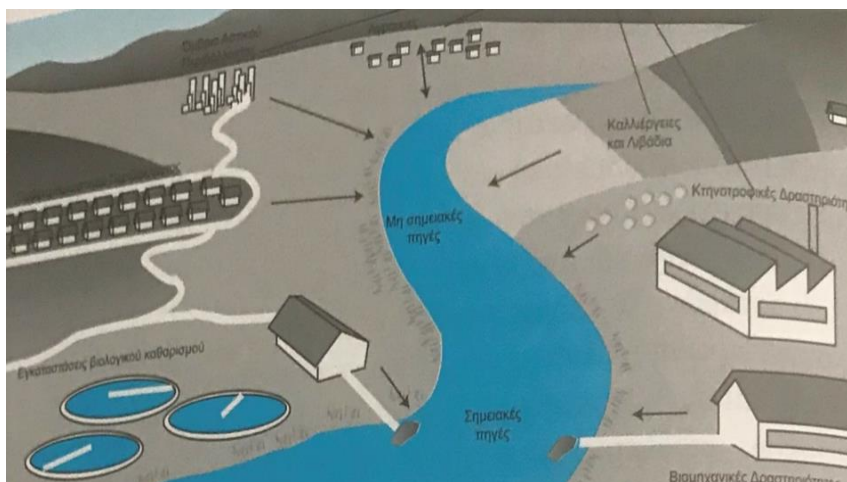
- Ιζήματα
- Απόβλητα ζώων
- Λιπάσματα
- Φυτοφάρμακα
- Θρεπτικά στοιχεία
- Οργανικά απόβλητα
- Μικροβιακοί ρύποι

Στις **μη σημειακές** πηγές περιλαμβάνονται οι περισσότερες πηγές της δραστηριότητας και ιδιαίτερα ο εμπλουτισμός των υδατορευμάτων προς τα κατάντη με ολικά διαλυμένα άλατα από την επιστροφή του νερού των αρδεύσεων [20]. Οι μη σημειακές λοιπόν πηγές αναφέρονται σε απορροές που προέρχονται από μια ευρύτερη γεωγραφική περιοχή, ενώ κάποιες από αυτές τις πηγές είναι ελεγχόμενες, ειδικότερα εκείνες που καθορίζονται από μια ρυθμιστική αρχή. Πάντως, η ρύπανση από μη σημειακές πηγές παρατηρείται ότι γίνεται εντονότερη κατά το λιώσιμο του χιονιού την άνοιξη ή κατόπιν καταιγίδων, οπότε και έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες ταχύτητες ροών, ενώ παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα και ποσότητα αυτής είναι ακόμη η τοπογραφία, τα χαρακτηριστικά του εδάφους και η ένταση της βροχόπτωσης.[24 & 25]

Η έκθεση των ανθρώπων και όλης της τροφικής αλυσίδας σε νερό υφιστάμενο ρύπανσης, έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια με αποτέλεσμα την υψηλή πιθανότητα κινδύνου της υγείας.

Μεταβολική ενεργοποίηση μεταλλαξογόνων και πιθανώς καρκινογόνων ουσιών στα νότια ισπανικά παράλια, ευθύνεται για την αυξημένη θνησιμότητα ψαριών και σχετίζεται με αυξημένα επίπεδα ρύπανσης. Και ενώ η συγκέντρωση των ρυπαντών σε βιολογικά συστήματα είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστεί, εν τούτοις, αλλαγές στην ενεργότητα ενζύμων και μορίων που εμπλέκονται στον μεταβολισμό, μπορεί να είναι ενδεικτικές, [26]. Έρευνες στην Αγγλία και τις ΗΠΑ προτείνουν ότι σε αστικές περιοχές η μη σημειακή ρύπανση είναι η κυριότερη απειλή για την ποιότητα των υδάτων, ενώ αγωγοί αστικών λυμάτων καθώς επίσης και μη επεξεργασμένα απόβλητα καταλήγουν παράνομα στις λεκάνες απορροής των ποταμών.[27]

Η χρήση φυτοφαρμάκων στη γεωργία μπορεί να οδηγήσει σε ρύπανση των επιφανειακών υδατικών σωμάτων αλλά και των υπόγειων υδροφορέων, μέσω απορροής, έκπλυσης, ρευμάτων και αποχετευτικού δικτύου. Η ρύπανση του επιφανειακού νερού μπορεί να έχει οικοτοξικολογικές επιδράσεις στην υδάτινη και παρυδάτια πανίδα και χλωρίδα. Βασίζεται συνήθως στη γεωργική περίοδο και δεν διαρκεί πολύ, αντίθετα από την υπόγεια ρύπανση, οι επιπτώσεις της οποίας μπορεί να είναι τεράστιες στην ανθρώπινη υγεία.



Εικόνα 3.1: Σημειακές και μη σημειακές πηγές ρύπανσης.[20]

### 3.5 Ρύπανση από ραδιενέργεια

Η ρύπανση του περιβάλλοντος με ραδιενεργά στοιχεία μπορεί να κριθεί σε **φυσική** και **ανθρωπογενή**.

**Φυσική ρύπανση:** Θεωρείται της ατμόσφαιρας, του εδάφους των νερών και του βιόκοσμου, όταν οι αποδέκτες αυτοί υφίστανται την επίδραση της κοσμικής ακτινοβολίας που προέρχεται από το διάστημα και τη φυσική ακτινοβολία η οποία προέρχεται από τα φυσικά ραδιενεργά στοιχεία της Γης. Ιζηματογενή πετρώματα, γρανίτης και κυρίως περιοχές με φυσικά κοιτάσματα ουρανίου, θορίου και ραδίου συμβάλλουν στη φυσική ρύπανση του περιβάλλοντος. Άλλες φυσικές πηγές ρύπανσης είναι τα ραδιενεργά στοιχεία που συνοδεύουν το φυσικό αέριο, τον άνθρακα, τα γεωθερμικά υλικά και τα φωσφορικά ορυκτά που χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη παρασκευής λιπασμάτων.

**Ανθρωπογενής ραδιενεργός ρύπανση:** Η πιο σοβαρή μορφή ρύπανσης για την οποία υπάρχουν πολλά περιθώρια περιορισμού αν όχι και παντελούς αποφυγής. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι υπεύθυνες για την παραγωγή ραδιενεργών ρύπων, οι οποίοι μπορούν να εισέλθουν και στις υδατοσυλλογές όταν δεν παίρνονται μέτρα ασφαλείας, μερικές από αυτές είναι :

- Εξόρυξη και επεξεργασία ραδιενεργών ορυκτών.
- Κανονική λειτουργία πυρηνικού εργοστασίου.
- Προϊόντα σχάσεως.
- Δοκιμές πυρηνικών όπλων.
- Απόβλητα πυρηνικών εργοστασίων.



Ραδιενεργά στοιχεία ελκόμενα στην ατμόσφαιρα επιστρέφουν στην γη με τη βροχή ή το χιόνι και αργά ή γρήγορα καταλήγουν στα επιφανειακά νερά. Τα πιο κοινά στοιχεία είναι  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , και  $^{40}\text{K}$  τα οποία έχουν εδαφική προέλευση. Γενικά η φυσική ραδιενέργεια στα επιφανειακά νερά είναι πολύ χαμηλή. Υψηλή ραδιενέργεια αυτών υποδηλώνει ανθρωπογενή ρύπανση.[28]

### 3.6 Θερμική ρύπανση

Η θερμική ρύπανση μπορεί να προκληθεί όταν σε ένα υδατικό σύστημα διοχετευθεί νερό διαφορετικής θερμοκρασίας από αυτή που συνήθως απαντάται στο νερό (Εικόνα 3.2). Αυτό μπορεί να προέλθει από δραστηριότητες ατμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου απαιτείται εισροή ψυχρού νερού για την ψύξη των μονάδων στην είσοδο τους και ως αποτέλεσμα εκροή θερμότερου νερού σε παρακείμενα υδατικά συστήματα. Στον αντίποδα, μπορεί να παρατηρηθεί και εκροή νερού χαμηλότερης θερμοκρασίας, στη ροή ποταμών κατάντη μεγάλων φραγμάτων που λειτουργούν ως υδροηλεκτρικά έργα. Αυτό συμβαίνει γιατί η άντληση των υδάτων από ένα ταμιευτήρα γίνεται από μεγάλα βάθη όπου συνήθως απαντάται το μόνιμο ψυχρό υπολίμνιο. Τα θερμά ή ψυχρά νερά των δραστηριοτήτων αυτών προκαλούν θερμική ρύπανση των ποταμών και πιθανό στρες των υδρόβιων οργανισμών που έχουν προσαρμόσει τις παραγωγικές τους δραστηριότητες σε ορισμένες θερμοκρασίες και διαταραχή του τροφικού πλέγματος. Τέλος για την περίπτωση της θερμικής ρύπανσης ο όρος ρύπανση αφορά μόνο στην θερμοκρασία και όχι κατ' ανάγκη σε άλλες παραμέτρους της ποιότητας του νερού.[20]



**Εικόνα 3.2:** Η θερμική ρύπανση και οι επιπτώσεις της σε ένα υδατικό οικοσύστημα.[29]

### 3.7 Ευτροφισμός

Η εισροή θρεπτικών συστατικών, ιδιαίτως αζώτου και φωσφόρου, μπορεί να έχει σημαντικές επιρροές στις υδάτινες οδούς, καταλήγοντας σε αλλαγές στα υδάτινα οικοσυστήματα. Αυτές περιλαμβάνουν αυξήσεις στη βιομάζα των νηματοειδών φυκών, των κυανοβακτηρίων και των μακρόφυτων.[30]

Ο ευτροφισμός είναι μια πολύπλοκη διεργασία που απαντάται σε γλυκά και αλμυρά ύδατα, όπου η αυξημένη ανάπτυξη συγκεκριμένων ειδών φυκών διαταράσσει τα υδάτινα οικοσυστήματα και γίνεται απειλητική για την υγεία των ζώων και των ανθρώπων. Η κύρια αιτία που οδηγεί στον ευτροφισμό είναι η αυξημένη συγκέντρωση φυτικών θρεπτικών στοιχείων προερχομένων από τη γεωργία ή την επεξεργασία λυμάτων. Συγκεκριμένα,

‘ευτροφισμός’ θεωρείται η επιταχυνόμενη ανάπτυξη φυκών (Εικόνα 3.3 & 3.4) εις βάρος υψηλότερων μορφών φυτικής ζωής λόγω του εμπλουτισμού του νερού με θρεπτικά συστατικά, ειδικότερα ενώσεις που περιέχουν άζωτο ή φώσφορο και που οδηγούν σε ανεπιθύμητες αναταράξεις στην ισορροπία των υδρόβιων οργανισμών και στην ποιότητα του εν λόγω ύδατος.

Η κύρια αιτία του ευτροφισμού είναι η μεγάλη εισροή θρεπτικών συστατικών στα υδάτινα σώματα, και ως κύρια επίπτωση είναι η ανισορροπία στην τροφική αλυσίδα που οδηγεί σε υψηλά επίπεδα μάζας φυτοπλαγκτού σε στρωματοποιημένα υδάτινα σώματα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε άνθιση φυκών. Ως άμεση συνέπεια είναι η υπερβολική κατανάλωση οξυγόνου κοντά στον βυθό. Οι πρόσθετοι παράγοντες που υποστηρίζουν αυτή τη διαδικασία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το αν συνδέονται με τη διασπορά των θρεπτικών και την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού, ή με τον κύκλο του οξυγόνου κοντά στο βυθό του υδάτινου σώματος (π.χ. συγκράτηση, φως και κινήσεις των υδάτων). Πολλοί ποταμοί καθίστανται ευτροφικοί τα τελευταία 40 χρόνια παγκοσμίως.[31]

Υπολογίζεται ότι ~ 70% του συνολικού αζώτου σε ηπειρωτικά ύδατα προέρχεται από διάσπαρτες πηγές όπως απορροές καλλιεργειών (γεωργία), ιζηματοποίηση και αστικά απόβλητα, ενώ το 43% του διαλυτού ενεργού φωσφόρου (SRP) προέρχεται από τη γεωργία, 24% από οικιακά/ανθρώπινα αποχετευτικά δίκτυα και το 19% από βιομηχανικά απορρυπαντικά.[30]



**Εικόνα 3.3:** Εικόνα ποταμού κατά τη παρουσία ευτροφισμού.[32]

Κατά τη διάρκεια του ευτροφισμού, η συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών στο νερό αλλάζει. Σε μερικές περιπτώσεις, ένα από τρία βασικά συστατικά (C, N, P) είναι απόλυτα συνδεδεμένο με τη ζωή του υδάτινου οικοσυστήματος και δεν είναι διαθέσιμο για περαιτέρω ανάπτυξη των φυκών. Το συστατικό αυτό τότε ονομάζεται **περιοριστικός παράγοντας**. Η αναλογία των αζωτούχων προς τις φωσφορούχες ενώσεις σε ένα υδάτινο σώμα είναι ένας σημαντικός παράγοντας που κρίνει ποιο από τα δύο στοιχεία θα είναι ο περιοριστικός παράγοντας, και κατά συνέπεια ποιος από αυτούς θα πρέπει να περιοριστεί για να μειωθεί η βλάστηση των φυκών. Γενικώς, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ο φώσφορος τείνει να είναι ο περιοριστικός παράγοντας για το φυτοπλαγκτόν στα γλυκά ύδατα. Ενδιάμεσες περιοχές, όπως εκβολές ποταμών, συχνά έχουν τον φώσφορο ως περιοριστικό παράγοντα την άνοιξη, ενώ το καλοκαίρι είναι πιθανόν να έχουν το οξείδιο του πυριτίου ή το άζωτο. Όταν περιοριστικός παράγοντας είναι ο φώσφορος, συγκεντρώσεις 0,01 mg/L είναι αρκετές για να συντηρήσουν το πλαγκτόν, ενώ συγκεντρώσεις από 0,03 – 0.1 mg/L ή υψηλότερες προκαλούν άνθιση φυκών.

Στις παράκτιες περιοχές η ανάπτυξη των διατόμων υποστηρίζεται από την παρουσία του οξειδίου του πυριτίου. Όταν η συγκέντρωση του οξειδίου του πυριτίου είναι χαμηλή, τα διάτομα δεν μπορούν να αναπτυχθούν. Τότε άλλα τοξικά είδη φυκών, τα οποία δεν έχουν πλέον ανταγωνισμό, αναπτύσσονται και δημιουργούν ανθίσεις. Εκτός από την εισροή θρεπτικών

συστατικών, η πρώτη συνθήκη που υποστηρίζει τη δημιουργία ευτροφισμού είναι καθαρά φυσική, και είναι η συγκράτηση (χρόνος ανανέωσης) των υδάτων. Άλλοι φυσικοί παράγοντες που επηρεάζουν τον ευτροφισμό των υδάτινων σωμάτων είναι η θερμική στρωματοποίηση των στάσιμων υδάτων (π.χ. λίμνες και λιμνοδεξαμενές), η θερμοκρασία και η επιρροή του φωτός στην ανάπτυξη των φυκών. Οι συνθήκες με αυξημένο φως και θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού εξηγούν γιατί ο ευτροφισμός εμφανίζεται κυρίως αυτές τις εποχές. Ο ίδιος ο ευτροφισμός επηρεάζει την εισχώρηση του φωτός μέσα από ένα υδάτινο σώμα λόγω της επισκίασης που προκαλεί η ανάπτυξη φυκών και άλλων οργανισμών. Αυτό το φαινόμενο οδηγεί σε μείωση της φωτοσύνθεσης στα βαθύτερα επίπεδα και μείωση της ανάπτυξης των υδρόβιων φυτών που ζουν εκεί.[31]



**Εικόνα 3.4:** Εικόνα ποταμού κατά τη παρουσία ευτροφισμού.[32]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

### 4.1 Χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα του νερού

Το νερό αποτελεί βασικό στοιχείο για τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη, τόσο το υπόγειο 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 του ανθρώπου απολύτως καθαρό καθώς και απαλλαγμένο από κάθε είδους παθογόνων μικροοργανισμών. Το **χημικώς καθαρό νερό**, το οξείδιο του υδρογόνου  $H_2O$ , δεν υπάρχει στη φύση και έχει ορισμένες ιδιότητες που το καθιστούν ακατάλληλο για πλείστες συνήθειες χρήσεις. Το **φυσικό νερό** περιέχει σε διάλυση διάφορα ιόντα και σε αιώρηση στοιχεία, ενώσεις και σωματίδια. Το είδος και η περιεκτικότητα σε αυτά του προσδίδουν ορισμένες φυσικές και φυσικοχημικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν την ποιότητα του. Περιεκτικότητες σε ορισμένα από αυτά πάνω από ορισμένη οριακή τιμή είναι δυνατό να το καθιστούν ακατάλληλο για κάποιες συγκεκριμένες χρήσεις. Η συνολική περιεκτικότητα σε διαλυμένες ή και αιωρούμενες ουσίες, όπως και η σύσταση της περιεκτικότητας αυτής, δίνουν τα χαρακτηριστικά, την ποιότητα του νερού. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού μπορούν να διακριθούν σε: **φυσικοχημικά**, **βιοχημικά** και **μικροβιολογικά** (Πίνακας 4.1).[33]

**Πίνακας 4.1:** Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού.

Ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού	Παράμετρος
<b>Φυσικοχημικά</b>	Θερμοκρασία
	Ενεργός οξύτητα (pH)
	Αγωγιμότητα- Ολικά στερεά (TDS)
	Θολρότητα
	Σκληρότητα
	$K^+$ , $Na^+$ , $Ca^{+2}$
	$NH_4^+$ , $NO_3^-$ , $PO_4^{-3}$ , $SO_4^{-2}$ , $Cl^-$
<b>Βιοχημικά</b>	Διαλυμένο οξυγόνο
	Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο
	Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο
<b>Οργανικά</b>	Απορρυπαντικά
	Φαινόλες
<b>Μικροβιολογικά</b>	Ολικά κολοβακτηριοειδή
	Κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή
	Κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι

## **4.2 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά**

### **4.2.1 Θερμοκρασία**

Η **θερμοκρασία** μαζί με το διαλυμένο οξυγόνο επηρεάζουν αρκετά την ζωή των υδρόβιων οργανισμών. Αυτό συμβαίνει διότι ζουν σε συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών και η άνοδος της θερμοκρασίας αρχικά μπορεί να επιφέρει στρες στους οργανισμούς και αμέσως μετά την θανάτωσή τους. Για αυτό και σε κάθε δειγματοληψία πρέπει να γίνεται η μέτρηση της θερμοκρασίας. Επίσης η θερμοκρασία αποτελεί σημαντική μέτρηση σε ορισμένες μεθόδους όπου χρειάζεται ο έλεγχος της, όπως είναι το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), η αλατότητα και η αλκαλικότητα. Η θερμοκρασία είναι η παράμετρος που υπεισέρχεται σε όλες τις φυσικοχημικές και τις βιοχημικές αντιδράσεις. Υψηλές θερμοκρασίες επιταχύνουν τις βιοχημικές αντιδράσεις και συντελούν στην αύξηση του πολλαπλασιασμού των μικροοργανισμών.

Στις ωκεανογραφικές και λιμνολογικές έρευνες οι μετρήσεις του διαλυμένου οξυγόνου, της θερμοκρασίας, του βάθους και της αλατότητας είναι βασικές προϋποθέσεις για τον υπολογισμό του επιπέδου κορεσμού του νερού σε οξυγόνο. Τα απόβλητα που απορρέονται στη θάλασσα ή σε επιφανειακά νερά θα πρέπει να έχουν ένα συγκεκριμένο όριο θερμοκρασίας το οποίο να είναι ανάμεσα στους 25-40°C και να ελέγχεται τακτικά. Οι θερμοκρασίες των υπόγειων νερών, καθορίζονται κυρίως από την θερμοκρασία των πετρωμάτων τα οποία τα περιβάλλουν και τείνουν να παραμένουν σταθερές, σε αντίθεση με τα επιφανειακά νερά που παρουσιάζουν διακυμάνσεις ως αποτέλεσμα των μεταβολών της ηλιακής ενέργειας στην επιφάνεια της γης. Η πλέον επιθυμητή διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού που προορίζεται για πόσιμο είναι μεταξύ 5 και 12°C. Πάνω από 12°C, πέρα από την αισθητική γευστική επίδραση, το νερό καθίσταται λιγότερο κατάλληλο για ορισμένες χρήσεις.[34]

Η θερμοκρασία των ποταμών ακολουθεί στενά τη θερμοκρασία του αέρα, αλλά δεν φτάνει τις ακραίες θερμοκρασίες των χερσαίων βιότοπων. Οι ψυχρότερες θερμοκρασίες των ποταμών όπως αυτές των υψηλών υψόμετρων και των υψηλών γεωγραφικών πλατών, μπορεί να μειωθούν σε ένα ελάχιστο 0°C. Τα ποτάμια όμως που είναι θερμότερα είναι εκείνα που διατρέχουν τις ερήμους, αλλά ακόμα και οι ποταμοί της ερήμου υπερβαίνουν σπάνια τους 30°C. Οι εκροές των θερμών πηγών μπορεί να βράζουν όταν φτάνουν στις ανώτερες θερμοκρασίες τους, αλλά οι πληθυσμοί των θερμόφιλων βακτηρίων ζουν και στις θερμότερες από αυτές.[4]

### **4.2.2 Θολερότητα**

Με τον όρο **θολερότητα** ή **θολότητα** εννοούμε την απουσία διαύγειας σε ένα υγρό δείγμα που προκαλείται από διάφορα τεμαχίδια οργανικού και ανόργανου υλικού (αιωρούμενα ή κolloειδή) τα οποία είναι διασπαρμένα στην υγρή φάση. Πιο συγκεκριμένα η θολερότητα είναι η έκφραση της οπτικής ιδιότητας ενός δείγματος νερού να σκεδάζει να απορροφά το φως που διέρχεται από αυτό και να μη μεταδίδει το φως σε ευθεία γραμμή. Η θολερότητα είναι πολύ σημαντική παράμετρος για την εκτίμηση της ποιότητας του νερού των λιμνών, των ποταμών, της θάλασσας και τον έλεγχο των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και αποβλήτων. Στα επιφανειακά και στα υπόγεια νερά η μέτρηση της θολερότητας είναι πολύ σημαντική διότι η διαύγεια του νερού επηρεάζει τους υδρόβιους οργανισμούς και τις χρήσεις των νερών (πόση, αναψυχή, βιομηχανία). Η θολερότητα στα επιφανειακά νερά προέρχεται από αιωρούμενα σωματίδια ανόργανης ή οργανικής φύσης (χώρα, πηλό, φύκη, βακτήρια).[34]

Η σπουδαιότητα λοιπόν της θολότητας αφορά αισθητικούς λόγους, οι οποίοι οφείλονται στα αιωρούμενα και τα κolloειδή συστατικά και λόγους υγείας, οι οποίοι σχετίζονται με την ανάπτυξη και η μεταφορά μικροοργανισμών με τα αιωρούμενα στερεά και τη δυσκολία καταστροφής τους με απολύμανση, καθώς η απαίτηση χλωρίου σχετίζεται με τη δημιουργία επιβλαβών χημικών ενώσεων με τα συστατικά των αιωρούμενων στερεών που δημιουργούν τη

θολότητα. Είναι η **περισσότερο μεταβαλλόμενη παράμετρος** ποιότητας του νερού, η οποία καθορίζει συχνά την επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας του. Τα στερεά που περιέχονται στο νερό έχουν μέγεθος μεγαλύτερο των μορίων και συνήθως δεν είναι ορατά δια γυμνού οφθαλμού, είναι αυτά που προκαλούν τα φαινόμενα θολότητας και ονομάζονται αιωρούμενα στερεά. Μπορεί να είναι προϊόντα τόσο φυσικών όσο και ανθρωπογενών διεργασιών. Σύμφωνα με την ΚΥΑ 46399 (1986) οι επιθυμητές τιμές των αιωρούμενων στερεών για τους υδρόβιους οργανισμούς είναι τα 25 mg/L, ενώ δεν αναφέρονται κάποια ανώτατα όρια.

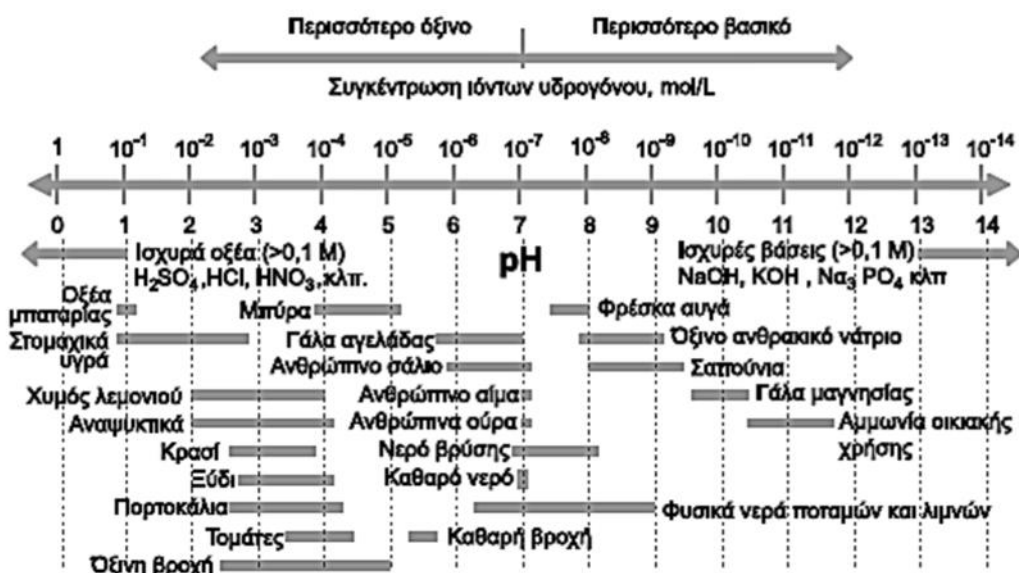
Ο προσδιορισμός της θολερότητας είναι η νεφελομετρία η οποία γίνεται μόνο για χαμηλές τιμές και γίνεται με όργανα τα οποία ονομάζονται νεφελόμετρα ή θολερόμετρα. Αποτελούνται από μια πηγή φωτός, ένα ή δύο φωτοηλεκτρικούς ανιχνευτές (φωτοκύτταρα) και διάταξη ανάγνωσης της έντασης του φωτός που διέρχεται το δείγμα. Ο βαθμός σκέδασης του φωτός από το δείγμα σε σχέση με ένα πρότυπο αιώρημα αναφοράς αντιστοιχεί σε θολερότητα που εκφράζεται σε μονάδες N.T.U (Nephelometric Turbidity Units). Ως αιώρημα αναφοράς, για τη ρύθμιση του οργάνου χρησιμοποιείται πρότυπο αιώρημα φορμαζίνης, που παρασκευάζεται από πολυμερές της φορμαζίνης που αναπαράγει αρκετά πιστά τη θολερότητα των φυσικών νερών. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στα πόσιμα, επιφανειακά και θαλασσινά νερά στην περιοχή από 0 έως 40 νεφελομετρικές μονάδες (N.T.U). [20]

#### **4.2.3 Συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου (pH)**

Ο όρος **pH** χρησιμοποιείται για να εκφράσει την ένταση της οξύτητας ή της αλκαλικότητας ενός διαλύματος ή αλλιώς ως ένας αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου ( $-\log[H^+]$ ). Το καθαρό νερό ιονίζεται σε κατιόντα υδρογόνου ( $H^+$ ) και ανιόντα υδροξυλίου ( $OH^-$ ).[35]

Το pH μαζί με τους άλλους παράγοντες καθορίζει την ποιότητα και την καταλληλότητα εδαφών και νερών για χρήση και εκμετάλλευση, επίσης το pH κατά την επεξεργασία του νερού παίζει σημαντικό ρόλο στην κροκίδωση, απολύμανση, αποσκλήρυνση και στον έλεγχο διάβρωσης. Σημαντικό ρόλο παίζει και στα απόβλητα, όπου για την κατεργασία των υγρών αποβλήτων με βιολογικές διαδικασίες, το pH πρέπει να διατηρείται μέσα σε καθορισμένο βέλτιστο εύρος, ευνοϊκό για τους συγκεκριμένους οργανισμούς που χρησιμοποιούνται.

Η κλίμακα μέτρησης του πεχάμετρου είναι από 0 έως 14 η ουδετερότητα του όμως αντιστοιχεί σε 7. Οι τιμές που είναι μικρότερες του 7 δείχνουν ότι πρόκειται για όξινο περιβάλλον (υπεροχή υδρογονιόντων) ενώ τιμές μεγαλύτερες του 7 μας δείχνει ότι είναι σε αλκαλικό περιβάλλον (υπεροχή υδροξυλιόντων), (Εικόνα 4.2). Δεν μετριέται όμως με το pH η οξύτητα ή η αλκαλικότητα αλλά η τάση που έχει το δείγμα που μετριέται να πηγαίνει προς το όξινο ή το αλκαλικό περιβάλλον. Στα νερά επίσης που είναι φυσικής προέλευσης όπως και το πόσιμο το εύρος τιμών που πρέπει να κινείται το pH θα πρέπει να είναι στο 6,5 έως και το 8,5 χωρίς βέβαια να αποκλείονται οι ακραίες τιμές. Συνήθως πριν γίνει η διάθεση των λυμάτων και των αποβλήτων στη θάλασσα, σε ρεύματα και σε υπονόμους το pH τους θα πρέπει να είναι στο ίδιο εύρος με τα νερά φυσικής προέλευσης. Οι τιμές για το νερό, γλυκό και αλμυρό διαφέρουν σημαντικά και εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως είναι η θερμοκρασία, η κυκλοφορία, η περιεκτικότητα σε οξυγόνο και το βάθος. Στο νερό των θαλασσών και ιδιαίτερα στην ανώτερη επιφανειακή ζώνη το pH είναι αλκαλικό και είναι περίπου σταθερό στην τιμή 8,3. Όσο αυξάνεται το βάθος του νερού, ελαττώνονται οι τιμές του pH, λόγω της αύξησης της ποσότητας του  $CO_2$  που διαλύεται μέσα στο νερό. [20]



Εικόνα 4.2: Κλίμακα pH και μερικές τιμές pH κοινών ουσιών.[35]

Συγκεκριμένα το νερό των ποταμών συνήθως κυμαίνεται όπως και το πόσιμο σε pH ανάμεσα στο 6,5 και στο 8,5, εύρος το οποίο θεωρείται ιδανικό για την πλειονότητα της υδρόβιας ζωής. Το φυσιολογικό pH ενός ποταμού διαφέρει μεταξύ των ποικίλων ποταμών, αλλά γενικώς το εύρος των τιμών του pH ενός ποταμού παραμένει σταθερό. Το φυσιολογικό pH ενός ποταμού καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη γεωλογία και τα εδάφη της περιοχής. Παραδείγματος χάριν σε περιοχές με ασβεστόλιθο το φυσιολογικό pH των ποταμών είναι υψηλό (αλκαλικό), ενώ περιοχές με κυρίαρχο υπόστρωμα την τύρφη είναι σχετικά χαμηλό (όξινο). Επίσης το διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα μπορεί να επηρεάσει το pH των ποταμών, αφού όταν αναμειγνύεται με το νερό αυξάνει την οξύτητά του.[36]

Το pH ενός ποταμού επηρεάζει τους έμβιους οργανισμούς του. Μεγάλες εναλλαγές του pH, εκτός των φυσιολογικών ορίων του ποταμού, οδηγούν σε πιέσεις στην υδρόβια ζωή του. Χαμηλά επίπεδα pH (κάτω των ιδανικών) μπορεί να οδηγήσουν σε θάνατο της ιχθυοπανίδας επιβαρύνοντας τους οργανισμούς, προκαλώντας σωματικές βλάβες, οι οποίες εν συνεχεία καθιστούν ευάλωτα τα είδη σε ασθένειες. Παρομοίως το υψηλό pH, ειδικότερα σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες ύδατος, μπορεί να αυξήσει την ποσότητα της ελεύθερης αμμωνίας, η οποία είναι ιδιαίτερος τοξική για τα ψάρια. Επίσης το χαμηλό pH ελευθερώνει δεσμευμένα βαρέα μέταλλα, η αύξηση των οποίων είναι τοξική για την υδρόβια ζωή. Χαμηλό ή υψηλό pH μπορεί επίσης να επηρεάσει σημαντικά τη διαθεσιμότητα των απαραίτητων για τα φυτά θρεπτικών συστατικών στο νερό.

Παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν έντονες εναλλαγές στο pH ενός ποταμού, είναι κυρίως ανθρωπογενείς. Αυτοί περιλαμβάνουν γεωργικές απορροές (εντομοκτόνα, λιπάσματα κ.α.), όξινες απορροές από ορυχεία, και εκπομπές αερίων από καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, οξειδία του θείου και οξειδία του αζώτου). Οι εκπομπές αερίων από καύση ορυκτών καυσίμων στην ατμόσφαιρα αντιδρούν με το νερό των ποταμών παράγοντας ένα αδύναμο οξύ. Η όξινη βροχή είναι ένα κοινό πρόβλημα στις πιο βιομηχανοποιημένες περιοχές του πλανήτη και έχει συνδεθεί με μεγάλης κλίμακας θανάτους ψαριών στα ποτάμια.

Επιπλέον, τα επίπεδα του pH μεταβάλλονται μεταξύ ημέρας και νύχτας ως αποτέλεσμα της αναπνοής και της φωτοσύνθεσης των φυτών. Η φωτοσύνθεση των φυτών, ιδίως κατά τη διάρκεια άνθησης φυτοπλαγκτικών οργανισμών, μπορεί να οδηγήσει το pH σε υψηλά επίπεδα. Τα μέγιστα επίπεδα του pH συνήθως συμπίπτουν με τα μέγιστα επίπεδα οξυγόνου αργά το μεσημέρι όταν η φωτοσύνθεση από τα φυτά είναι και αυτή στο απόγειό της. Παρομοίως, τα χαμηλότερα επίπεδα pH καταγράφονται κατά τη διάρκεια της νύχτας όταν η φωτοσύνθεση είναι στα χαμηλότερα επίπεδα και η αναπνοή των φυτών είναι υψηλή.[37]

#### 4.2.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση των ηλεκτρικών φορτίων που φέρει ένα υδατικό διάλυμα. Η αγωγιμότητα ενός δείγματος νερού εξαρτάται, κυρίως από την ολική συγκέντρωση των ιοντιζόμενων ουσιών, που περιέχονται στο δείγμα, τη θερμοκρασία στην οποία έγινε η μέτρηση, την συγκέντρωση και την κινητικότητα. Τέτοιες ουσίες είναι τα άλατα Φθορίου (F), Χλωρίου (Cl), Νατρίου (Na), Ασβεστίου (Ca), Μαγνησίου (Mg).[8] Τα περισσότερα ανόργανα οξέα, βάσεις και άλατα όπως για παράδειγμα το HCL, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaCL και άλλα πολλά, έχουν την μεγαλύτερη αγωγιμότητα ενώ αντίθετα τα οργανικά μόρια έχουν πολύ μικρή αγωγιμότητα. Η μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας είναι το μmhos/cm ή ms/m (1 ms/m=10 μmhos/cm).[34]

Η αλατότητα του νερού σε υφάλμυρα, παράκτια θαλάσσια περιβάλλοντα, μετράτε έμμεσα με την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Έχει καθιερωθεί ο όρος αλατότητα να χρησιμοποιείται για τα θαλάσσια, παράκτια και γενικά υφάλμυρα ύδατα ενώ ο όρος αγωγιμότητα χρησιμοποιείται για τα εσωτερικά νερά εκτός από τις αλμυρές λίμνες (π.χ. Νεκρά θάλασσα). Σε νερό χαμηλής συγκέντρωσης σε άλατα και με κυρίαρχο άλας το χλωριούχο νάτριο υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού σε μS/cm και των ολικών διαλυμένων στερεών σε mg/L.[20]

Ένα νερό που είναι πρόσφατα αποσταγμένο έχει αγωγιμότητα 0,5-2 μmhos/cm ενώ μετά από μερικές εβδομάδες που θα έχει παραμείνει η αγωγιμότητα του θα είναι 2-4 μmhos/cm και αυτό γιατί θα έχει απορροφηθεί διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Στο πόσιμο όμως νερό η τιμές κυμαίνονται από 50-1500 μmhos/cm ενώ σε ορισμένα βιομηχανικά απόβλητα η αγωγιμότητα μπορεί να φτάσει και πάνω από 10.000 μmhos/cm.[34]

Γενικά, η υψηλή συγκέντρωση αλάτων στο νερό αποτελεί πρόβλημα για οικιακή χρήση, όπως αλλοίωση της γεύσης του και προβλήματα υγείας ανάλογα με το είδος των αλάτων. Για παράδειγμα υψηλά επίπεδα πρόσληψης Na ιδίως αν δεν εξισορροπείται από πρόσληψη Ca, έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται σοβαρά προβλήματα υγείας στους ανθρώπους. Επίσης μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις και στο νερό που προορίζεται για βιομηχανική χρήση.[20]

Η αγωγιμότητα είναι ένα πολύ μεγάλο κριτήριο για την επίδραση των διάφορων ιόντων στις χημικές ισορροπίες, τον ρυθμό διάβρωσης των μετάλλων, την ανάπτυξη φυτών και ζώων, καθώς και κριτήριο για την απόδοση ιοντοανταλλακτικών ρητίνων ή άλλων συσκευών αποσκλήρυνσης του νερού. Επίσης σε πολλές συσκευές αποσκλήρυνσης του νερού χρησιμοποιούνται αγωγιμόμετρα εντός της συσκευής για να γίνεται συνεχής έλεγχος. Τα αγωγιμόμετρα συνήθως αποτελούνται από μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος που είναι η γέφυρα Wheatstone και κύτταρο αγωγιμότητας όπου δίνουν απευθείας την τιμή της αγωγιμότητας. 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.[34]

Συγκεκριμένα όσον αφορά την αγωγιμότητα στο νερό των ποταμών, μελέτες σε υδάτινα συστήματα της ενδοχώρας δείχνουν ότι ποτάμια που υποστηρίζουν με επιτυχία μεικτούς πληθυσμούς υδρόβιων οργανισμών έχουν ένα εύρος αγωγιμότητας που κυμαίνεται από 150 έως 500 μmhos/cm. Αγωγιμότητα εκτός του συγκεκριμένου εύρους υποδεικνύει ότι το νερό δεν είναι κατάλληλο για συγκεκριμένα είδη ψαριών και μακροασπονδύλων. Οι μέσες τιμές αγωγιμότητας (200-1000 μmhos/cm) είναι το σύνηθες στα μεγάλα ποτάμια και τιμές έξω από αυτές υποδηλώνουν ότι το νερό είναι πλέον ακατάλληλο για ορισμένα είδη ψαριών και εντόμων. Υψηλή αγωγιμότητα (1000-10000 μmhos/cm) υποδεικνύει συνθήκες υψηλής αλατότητας και παρουσιάζεται σε νερά που πλήττονται βαρέως από βιομηχανικά λύματα.

Η αγωγιμότητα στα ρυάκια και στα ποτάμια επηρεάζεται σημαντικά από την γεωλογία της λεκάνης απορροής. Ποτάμια συστήματα που ρέουν μέσα από περιοχές με γρανιτικά πετρώματα τείνουν να έχουν χαμηλότερη αγωγιμότητα επειδή ο γρανίτης αποτελείται στην πλειοψηφία του από αδρανή υλικά που δεν ιονίζονται (διαλύονται σε ιονισμένα συστατικά) όταν διαλυθούν μέσα στο νερό. Αντιθέτως, ποτάμια συστήματα που ρέουν μέσα από περιοχές



με πηλώδη υποστρώματα τείνουν να έχουν υψηλότερη αγωγιμότητα λόγω της παρουσίας υλικών που ιονίζονται διαλυμένα στο νερό. Απορροές στα ποτάμια έχουν την ικανότητα να μεταβάλλουν την αγωγιμότητα ανάλογα με την προέλευσή τους. Ένα απαρχαιωμένο σύστημα υπονόμων θα αύξανε την αγωγιμότητα ενός ποταμού λόγω της παρουσίας χλωρικών, φωσφορικών και νιτρικών ιόντων. Ανάλογως, μια διαρροή ελαίων θα μείωνε την αγωγιμότητα του ποταμού.

Μεγάλες αυξομειώσεις στη αγωγιμότητα ενός ποταμού είναι δυνατόν να συμβούν μετά από περιόδους βροχοπτώσεων ή λιωσίματος του χιονιού. Η επιπρόσθετη ποσότητα νερού που εισάγεται στα ποτάμια μετά από βροχοπτώσεις ή λιώσιμο του χιονιού αυξάνει την αραίωση, η οποία εν συνεχεία μειώνει το ποσοστό αλάτων και την αγωγιμότητα του ποταμού. Αντιθέτως, το αλάτι που απλώνεται στους δρόμους για την αποφυγή δημιουργίας πάγου, μπορεί να εισέλθει στο ποτάμι και να αυξήσει την αγωγιμότητα του.[38]

Πρακτικά η αγωγιμότητα είναι μια έμμεση μέτρηση της αλατότητας του νερού. Τα ψάρια και οι άλλοι οργανισμοί που ζουν στο γλυκό νερό δεν μπορούν να ανεχθούν μεγάλες αυξήσεις στη αλατότητα του νερού καθώς δεν θα μπορούν να διατηρήσουν το νερό μέσα στα σώματα τους. Τα ψάρια και ζώα που ζουν σε νερά με μεγαλύτερη αλατότητα, όπως στους ωκεανούς, είναι προσαρμοσμένα σε αυτά τα περιβάλλοντα και έχουν την ικανότητα να επιβιώνουν. Η μόλυνση μπορεί επίσης να αυξήσει την αγωγιμότητα ενός ποταμού ή μιας λίμνης καθώς τα βιομηχανικά και τα ανθρώπινα λύματα έχουν υψηλή αγωγιμότητα.[39]

#### **4.2.5 Στερεά**

Με τον όρο **στερεά** ή **στερεό υπόλειμμα** εννοούμε την περιεκτικότητα ενός δείγματος νερού σε σωματίδια. Τα στερεά που βρίσκονται στο νερό μπορεί να είναι διαλυμένα, κολλοειδή και αιωρούμενα. Τα διαλυμένα στερεά δεν αποτελούν διακριτή φάση από την υγρή φάση του νερού. Τα κολλοειδή στερεά είναι ομοιόμορφα διασπαρμένα μέσα στην υγρή φάση αλλά αποτελούν μια ξεχωριστή στερεά φάση. Τα κολλοειδή σωματίδια αποτελούνται από πολύ μικρές ενότητες που έχουν διάσταση στην περιοχή 1 έως περίπου 0,01 μm και ονομάζονται μικκύλια (μικκύλιο = υποκοριστικό από την αρχαία ελληνική λέξη μικκός → μικρός). Τα μικκύλια είναι ηλεκτρικά φορτισμένα και φέρουν συνήθως αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο.[1]

Οι φυσικοί αποδέκτες δέχονται μεγάλες ποσότητες στερεών τα οποία προέρχονται κυρίως από τη φυσική αποσάθρωση του εδάφους και των διάφορων πετρωμάτων καθώς και τα υγρά απόβλητα. Η παρουσία στερεών ουσιών – διαλυμένων ή αδιάλυτων διαμορφώνει παραμέτρους που επηρεάζουν τη χρήση των νερών και τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων. Οι κυριότεροι παράμετροι που έχουν σχέση με τις στερεές ουσίες είναι :

#### **Ολικά στερεά (Total Solids-TS)**

Η παράμετρος αυτή αναφέρεται στο σύνολο των στερεών ουσιών που υπάρχουν σ' ένα δείγμα νερού. Προσδιορίζονται ζυγίζοντας το υπόλειμμα ορισμένου όγκου δείγματος μετά από ξήρανση στους 105°C σε mg/L. Στη συνέχεια με πύρωση στους 550 °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 η 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 την βοήθεια κενού και τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg/L δείγματος.[34]

#### 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 του γίνεται σε δείγματα 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.[34]

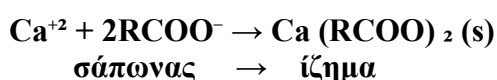
#### Καθιζάνοντα στερεά (Settleable Solids-SS)

Η παράμετρος αυτή αναφέρεται στα στερεά τα οποία καθιζάνουν από μόνα τους σε μία ώρα σε κώνο imhof. [34]

### 4.2.6 Σκληρότητα

Όλα τα φυσικά νερά περιέχουν διαλυμένα άλατα εξαιτίας της επιφανειακής ή της υπόγειας διαδρομή τους και της αλληλεπίδρασης τους με τα πετρώματα τα οποία συναντούν. Εξαιτίας λοιπόν των αλάτων αυτών το νερό αποκτά την γεύση του η οποία θα πρέπει να είναι ευχάριστη για νερά που προορίζονται για ύδρευση. Όμως η υπερβολική συγκέντρωση αλάτων στο νερό δεν επηρεάζει μόνο δυσάρεστα τη γεύση του αλλά δημιουργεί γενικότερα προβλήματα στη χρήση του. Για παράδειγμα μια υψηλή συγκέντρωση αλάτων στο νερό που θα χρησιμοποιηθεί ως ψυκτικό μέσο στη βιομηχανία δημιουργεί ιζήματα στις σωληνώσεις μεταφοράς του. Επίσης ένα νερό με υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων σχηματίζει αδιάλυτες ενώσεις με τους σάπωνες (τα μόρια στα οποία οφείλεται η καθαριστική ικανότητα των απορρυπαντικών και του σαπουνιού), με αποτέλεσμα τη μείωση της δραστηριότητας των απορρυπαντικών. Αυτό συμβαίνει επειδή χρειάζεται αρκετή ποσότητα απορρυπαντικού μέχρι να απομακρυνθούν τα ιόντα στο νερό και έτσι να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καθαριστικό μέσο.[35]

Για παράδειγμα τα ιόντα ασβεστίου στο νερό αντιδρούν με τους σάπωνες ως εξής :



Το αποτέλεσμα που έχει η παραπάνω αντίδραση συμπλοκοποίησης είναι η μη δυνατότητα των μορίων του σαπουνιού (που συμμετέχουν στο σχηματισμό του συμπλόκου) να επιδράσουν πάνω στην βρωμιά του υφάσματος και επι πλέον αυτό το σύμπλοκο αποτίθεται πάνω στο ύφασμα και προκαλεί ανεπιθύμητες καταστάσεις. Μόνον όταν καταναλωθεί η ισοδύναμη ποσότητα σαπουνιού (με τα δισθενή ιόντα που υπάρχουν στο νερό πλύσης) θα αρχίσει ο καλός αφρισμός και η αποτελεσματική αφαίρεση της βρωμιάς. Έτσι το αποτέλεσμα της μεγαλύτερης συγκέντρωσης δισθενών κατιόντων στο νερό είναι η μεγαλύτερη κατανάλωση σαπουνιού. [1]

Η **σκληρότητα** λοιπόν είναι μια χαρακτηριστική ιδιότητα του νερού που οφείλεται στην παρουσία διαλυμένων αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου δεσμευμένων με ανθρακικά και δισανθρακικά ιόντα σχηματίζοντας τις ενώσεις  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ . Η σκληρότητα μπορεί να προέλθει και από άλλα κατιόντα που συνήθως η συμμετοχή τους είναι πολύ μικρή και για αυτό τον λόγο δεν προσδιορίζονται εύκολα. Η σκληρότητα διακρίνεται σε **ολική**, **ανθρακική** και **μη ανθρακική**, όπου **ολική σκληρότητα** εννοούμε την αριθμητική τιμή που είναι ίση με το άθροισμα της ανθρακικής και της μη ανθρακικής. Η **ανθρακική σκληρότητα** αντιστοιχεί στον όρο «παροδική» σκληρότητα προσδιορίζεται με την

αλκαλικότητα, ενώ η μη ανθρακική αντιστοιχεί στον όρο «μόνιμη». Εάν όμως η ολική σκληρότητα έχει αριθμητική τιμή μεγαλύτερη από την ολική αλκαλικότητα (ανθρακική και δισανθρακική) τότε η αλκαλικότητα εκφράζει την ανθρακική ή παροδική σκληρότητα. Η διαφορά της αλκαλικότητας από την ολική σκληρότητα εκφράζει την μη ανθρακική ή μόνιμη σκληρότητα. Στην περίπτωση που η ολική σκληρότητα έχει αριθμητική τιμή ίση ή μικρότερη από την ολική αλκαλικότητα τότε όλη η ολική σκληρότητα αναφέρεται ως ανθρακική σκληρότητα και δεν υπάρχει μη ανθρακική σκληρότητα.

Ο προσδιορισμός της **σκληρότητας** γίνεται με ογκομέτρηση, η οποία βασίζεται στην από κοινού δέσμευση των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου από τη χημική ένωση E.D.T.A (Ethylene-Diamino-Tetraacetic Acid / αιθυλενο-διαμινο-τετραοξικού οξέος) σε αλκαλικό περιβάλλον (pH =10 +/-0,1), παρουσία δείκτη Eriochrome Black T. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή και ως μέθοδος E.D.T.A. Οι μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται για την σκληρότητα είναι mg/L CaCO<sub>3</sub>, mmole/L και meq/L αλκαλικών ιόντων ή Γαλλικοί, Γερμανικοί και Βρετανικοί βαθμοί. Το νερό ανάλογα με την σκληρότητα του διακρίνεται σε :

- **Μαλακό νερό** : 0-100 mg/L CaCO<sub>3</sub>
- **Μέσης σκληρότητας** : 100-200 mg/L CaCO<sub>3</sub>
- **Σκληρό νερό** : 200-300 mg/L CaCO<sub>3</sub>
- **Πολύ σκληρό νερό** : >300mg/L CaCO<sub>3</sub>

Οι σχέσεις αντιστοιχίας των μονάδων μέτρησης της σκληρότητας μεταξύ τους προκύπτουν από τον παρακάτω Πίνακα 4.3 :

**Πίνακας 4.3:** Μετατροπές μονάδων σκληρότητας νερού.[34]

Σκληρότητα	Αλκαλικά ιόντα	Αλκαλικά ιόντα	Γερμανικός βαθμός	CaCO <sub>3</sub>	Βρετανικός βαθμός	Γαλλικός βαθμός
	mmole/L	meq/L	d	mg/L	-	-
1mmole/L αλκαλικών ιόντων	<b>1,00</b>	2,00	5,60	<b>100,0</b>	7,02	10,0
1meq/L αλκαλικών ιόντων	0,50	<b>1,00</b>	2,80	<b>50,0</b>	3,51	5,0
1Γερμ. βαθμός	0,18	0,357	<b>1,00</b>	<b>17,80</b>	1,25	1,78
1 mg/L CaCO <sub>3</sub>	0,01	0,020	0,058	<b>1,00</b>	0,0702	0,10
1Βρεταν. βαθμός	0,14	0,285	0,798	<b>14,30</b>	<b>1,00</b>	1,43
1 Γαλλικός βαθμός	0,10	0,200	0,560	<b>10,00</b>	0,702	<b>1,00</b>

Τέλος η σκληρότητα ενός νερού μπορεί να παρουσιάσει διάφορες διακυμάνσεις οι οποίες μπορεί να ξεκινούν απλά από μηδενική τιμή έως εκατοντάδες mg/L CaCO<sub>3</sub>, αλλά αυτό συμβαίνει ανάλογα με την προέλευση και την επεξεργασία που έχει υποστεί. Στα φυσικά νερά η σκληρότητα οφείλεται στη γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων από τα οποία διέρχεται το νερό. Στην χώρα που βρισκόμαστε τα νερά παρουσιάζουν πολύ υψηλή σκληρότητα λόγω της ασβεστολιθικής σύστασης πολλών περιοχών.[34]

#### 4.2.7 Συγκέντρωση ιόντων Καλίου (K<sup>+</sup>), Νατρίου (Na<sup>+</sup>), Ασβεστίου (Ca<sup>2+</sup>)

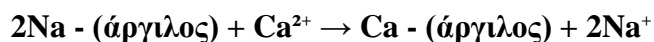
##### Κάλιο (K<sup>+</sup>) :

Το **κάλιο (K<sup>+</sup>)** βρίσκεται συνήθως με μικρότερες συγκεντρώσεις από το νάτριο στα φυσικά νερά. Σπάνια η συγκέντρωσή του είναι πάνω από 10 mg/L, είναι απαραίτητο θρεπτικό συστατικό για τα φυτά και τα ζώα. Στις ποσότητες που απαντάται στα φυσικά νερά δε

δημιουργεί προβλήματα και δεν υπάρχουν προδιαγραφές για την επιτρεπόμενη συγκέντρωση καλίου στο πόσιμο νερό.[1]

### **Νάτριο (Na<sup>+</sup>) :**

Το **νάτριο (Na<sup>+</sup>)** εισέρχεται στο πόσιμο νερό από διάφορες πηγές, όπως ορυκτό χλωριούχο νάτριο (NaCl) και διάφορα μετά νατρίου αργιλοπυριτικά ορυκτά (NaAlSiO<sub>4</sub>, NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>). Αρκετές ποσότητες νατρίου στο νερό προκύπτουν από φυσική εναλλαγή ιόντων στο αργιλικό ορυκτό με το όνομα μοντμοριλλονίτης (montmorillonite)  $\{(Na,Ca)(Al,Mg)_6(Si_4O_{10})_3(OH)_6 \cdot nH_2O\}$  όπως φαίνεται από την ακόλουθη αντίδραση εναλλαγής ιόντων :



Οι τυπικές συγκεντρώσεις νατρίου στα φυσικά νερά είναι στη περιοχή 5 έως 50 mg/L. Η μέση ημερήσια απαίτηση νατρίου από ένα ενήλικο άτομο είναι 5700 mg. Στην περίπτωση όμως των υπερτασικών ατόμων που ακολουθούν την αυστηρότερη διαίτα νατρίου (ημερήσια χρήση νατρίου 500 mg) είναι σημαντικό να είναι χαμηλή η συγκέντρωση νατρίου στο πόσιμο νερό που χρησιμοποιούν.[1]

### **Ασβέστιο (Ca<sup>2+</sup>) :**

Το **ασβέστιο (Ca<sup>2+</sup>)** εισέρχεται στο νερό από διάφορα πετρώματα που περιέχουν ενώσεις του ασβεστίου όπως το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO<sub>3</sub>), ο δολομίτης (CaCO<sub>3</sub>•MgCO<sub>3</sub>), ο γύψος (CaSO<sub>4</sub>•2H<sub>2</sub>O), το φθοριούχο ασβέστιο (CaF<sub>2</sub>), διάφορα αργιλοπυριτικά άλατα του ασβεστίου (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) κ.α. Είναι το δεύτερο σε συγκέντρωση συστατικό (μετά από τα δισανθρακικά, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) στα φυσικά νερά. Τα φυτά το χρησιμοποιούν ως θρεπτικό συστατικό και ακόμη είναι απαραίτητο για την καθημερινή διαίτα του ανθρώπου και των ζώων. Η έλλειψη ασβεστίου μπορεί να προκαλέσει οστεοπόρωση και οι μεγάλες καθημερινές δόσεις του είναι δυνατόν να προκαλέσουν πέτρες στα νεφρά. Η συγκέντρωση ασβεστίου στο πόσιμο νερό κυμαίνεται στην περιοχή 10-100 mg/L και τα νερά που έχουν συγκέντρωση στην περιοχή από 40 έως 100 mg/L θεωρούνται σκληρά έως πολύ σκληρά. Τα επίπεδα ασβεστίου στο πόσιμο νερό δεν ικανοποιούν την καθημερινή απαίτηση ανθρώπινου οργανισμού.[1]

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό των συγκεντρώσεων **Καλίου (K)**, **Νατρίου (Na)** και **Ασβεστίου (Ca)** χρησιμοποιείται η φλογοφωτομετρική μέθοδος (Shewood flame Photometer). Η χρήση των φασμάτων εκπομπής σε φλόγα ή φλογοφωτομετρία, για ποσοτικές αναλύσεις χρονολογείται από το 1930. Η εκπομπή και η απορρόφηση σε φλόγα είναι τεχνικές που αλληλοσυμπληρώνονται, καθώς ορισμένα από τα στοιχεία ανιχνεύονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις με μετρήσεις εκπομπής και ορισμένα μόνο με μετρήσεις απορρόφησης.

Η παρουσία ενός άλατος του νατρίου στο χώρο μιας φλόγας χρωματίζει την φλόγα κίτρινη. Η παρουσία ενός άλατος του ασβεστίου χρωματίζει την φλόγα κόκκινη. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί την βάση για την ανίχνευση κυρίως νατρίου, καλίου και ασβεστίου (πυροχημικές αντιδράσεις). Ο χρωματισμός της φλόγας οφείλεται στο γεγονός ότι τα μόρια της ένωσης η οποία μπαίνει στην φλόγα διασπώνται σε άτομα. Τα άτομα διεγείρονται και κατά την αποδιέγερση τους, παρατηρείται εκπομπή της ακτινοβολίας. Το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται (δηλαδή το χρώμα της φλόγας) εξαρτάται από την φύση του στοιχείου που εισέρχεται στο χώρο της φλόγας. Αυτή η εκπομπή σε συγκεκριμένο μήκος κύματος μπορεί να απομονωθεί με την χρήση κατάλληλων οπτικών φίλτρων και να ανιχνευθεί από έναν φωτό-ανιχνευτή. 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.[40]

#### 4.2.8 Χλωριόντα (Cl<sup>-</sup>)

Τα **ιόντα του χλωρίου (Cl<sup>-</sup>)** είναι απαραίτητα για την ισορροπία των ηλεκτρολυτών και των άλλων βασικών ιόντων στους ζωντανούς οργανισμούς. Εξαιτίας όμως της διαρκούς παραλαβής και απόρριψης χλωρίου από όλα τα ζώα, τα Cl<sup>-</sup> βρίσκονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις σε λύματα και αποτελούν ένα σημαντικό δείκτη για μόλυνση των υδάτων. Τα Cl<sup>-</sup> δίνουν μια αλμυρή γεύση στο νερό η οποία μπορεί να γίνει αισθητή σε συγκεντρώσεις γύρω στα 250 ppm εάν το συνοδευτικό κατιόν είναι το Na<sup>+</sup>, ενώ εάν συνοδευτικό ιόν είναι ασβέστιο ή μαγνήσιο, η αλμυρή γεύση θα γίνει αισθητή σε πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από 1000 ppm.

Στα φυσικά νερά η προέλευση των ιόντων Cl<sup>-</sup> μπορεί να αποδοθεί από την διάλυση ανόργανων χλωριούχων αλάτων από τα πετρώματα τα οποία συναντούν κατά την διαδρομή τους είτε από την επιφάνεια της γης προς τους υδροφόρους υδροφορείς στο εσωτερικό της γης όπου αποθηκεύονται, είτε κατά την αντίστροφη πορεία. Για παράδειγμα το θαλασσίνο νερό περιέχει πολύ υψηλές συγκεντρώσεις Cl<sup>-</sup> που προέρχονται από διαλυμένα χλωριούχα άλατα, κυρίως του νατρίου (NaCl). Οι ανθρωπογενείς πηγές Cl<sup>-</sup> στα επιφανειακά νερά περιλαμβάνουν τα υπολείμματα σε βιολογικούς καθαρισμούς, τη χρήση αλατιού στις χώρες με έντονες χιονοπτώσεις για να καθαριστούν οι δρόμοι που έχουν πρόβλημα, τη βιομηχανία τροφίμων και την παρασκευή φαγητού (όπου το αλάτι είναι βασικό συστατικό για την βελτίωση της γεύσης). Τα υπόγεια νερά που βρίσκονται κοντά σε πηγές αλμυρού νερού, πηγές όπως η θάλασσα που μπορεί να μολύνει με Cl<sup>-</sup> μέσω της υπεράντλησης (πχ. Για ανεξέλεγκτη άρδευση οπότε αλμυρό νερό περνά μέσα στον υδροφορέα). Σε πολλές χώρες της Ευρώπης τα ποτάμια που χρησιμοποιούν τόσο για ύδρευση όσο και για αποχέτευση των λυμάτων, παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων παρόλο που τα λύματα υφίστανται προωθημένη επεξεργασία (τριτογενής καθαρισμός) πριν την διάθεση τους στον τελικό αποδέκτη.

Ο προσδιορισμός των χλωριόντων γίνεται με τη μέθοδο του νιτρικού αργύρου (μέθοδος Mohr). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το δείγμα ογκομετρείται με διάλυμα νιτρικού αργύρου, και σαν δείκτης τελικού σημείου χρησιμοποιείται διάλυμα διχρωμικού καλίου. Από την νομοθεσία όμως ορίζεται πως το όριο της συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου στο πόσιμο νερό δεν πρέπει να ξεπερνά τα 200 ppm. Αν η συγκέντρωση χλωρίου στα νερά είναι πολύ υψηλότερη τότε αποτελούν απειλή για τις καλλιέργειες αλλά και για κάποια ζώα και υδρόβια φυτά τα οποία δεν έχουν αναπτύξει μηχανισμούς αποβολής της περίσσειας των αλάτων από τους οργανισμούς τους. Η υψηλή συγκέντρωση χλωριούχων αλάτων στα νερά των βιομηχανιών μπορεί να επιφέρει προβλήματα απόφραξης των σωληνώσεων που μεταφέρουν τα νερά αυτά, ή διάβρωση των συστημάτων μεταφοράς νερού ψύξης.[35]

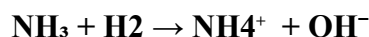
#### 4.2.9 Αμμωνιακά ιόντα (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) :

Στα επιφανειακά νερά και στα απόβλητα το άζωτο δεν εμφανίζεται με τη αέρια μορφή (ως N<sub>2</sub>) αλλά βρίσκεται δεσμευμένο ως οργανικό άζωτο, σε υπολείμματα ή προϊόντα φυτών και ζώων υπό τη μορφή πρωτεϊνών, πεπτιδίων κλπ., ή υπό την μορφή ανόργανων ενώσεων όπως αμμωνιακών (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), νιτρικών (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) και νιτρωδών (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) ιόντων. Οι ανόργανες μορφές του αζώτου προέρχονται από την οξείδωση του οργανικού αζώτου, εκπλύσεις γεωργικών εκτάσεων, επιβαρυνμένων με λιπάσματα ή από λύματα και βιομηχανικά απόβλητα.

Η **αμμωνία** μπορεί να συναντάται στα επιφανειακά νερά και απόβλητα, αλλά και στα υπόγεια νερά όπου η συγκέντρωση της αμμωνίας είναι γενικά χαμηλή γιατί προσροφάτε από το έδαφος, ιδιαίτερα στα αργιλώδη εδάφη. Η ύπαρξη αμμωνίας στα νερά οφείλεται κατά κύριο λόγο στην απαμίνωση των αζωτούχων οργανικών ενώσεων την υδρόλυση της ουρίας [(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO], και λιγότερο στην αναγωγή των νιτρικών, από αναερόβια βακτήρια. Επιπλέον, το άζωτο είναι παρόν στα φύκη, στα θρύμματα (που προέρχονται από νεκρά φύκη) καθώς και ως αιωρούμενο (μη θρυμματικό) οργανικό άζωτο. Το άζωτο μπορεί επίσης να είναι παρόν υπό διάφορες μορφές στα βενθικά ιζήματα.

Η συγκέντρωση της αμμωνίας, κυμαίνεται από τιμές μικρότερες των 10 mg/L, στα φυσικά επιφανειακά και υπόγεια νερά, ως 30 mg/L, σε ορισμένα απόβλητα. Σε υψηλές συγκεντρώσεις, η αμμωνία είναι τοξική για τα ψάρια και άλλους υδρόβιους οργανισμούς γ' αυτό, η συγκέντρωση της στα επιφανειακά νερά πρέπει να ελέγχεται και να βρίσκεται σε ορισμένα όρια.

Το αμμωνιακό άζωτο μπορεί να βρίσκεται υπό την μορφή αμμωνιακών ιόντων (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ή ελεύθερης αμμωνίας (NH<sub>3</sub>), ανάλογα με το pH και τη θερμοκρασία του διαλύματος σύμφωνα με την παρακάτω σχέση ισορροπίας :



Σε αλκαλικό όμως περιβάλλον, η αντίδραση μετατοπίζεται προς τα αριστερά, ενώ σε όξινο περιβάλλον προς τα δεξιά. Όσο αυξάνει η θερμοκρασία, η αντίδραση μετατοπίζεται προς τα αριστερά και αντίστροφα. Σύμφωνα όμως με την ισχύουσα νομοθεσία στη χώρα μας, το ανώτατο επιτρεπτό όριο στη συγκέντρωση των ιόντων αμμωνίου στο πόσιμο νερό (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) είναι 0,5 mg/L ενώ το ανώτατο επιτρεπτό όριο στα γλυκά νερά για τη διαβίωση της πέστροφας και ειδών της οικογένειας των Σαλμονιδών και Κυπρινίδων είναι 0,025 mg/L. Στα απόβλητά όμως που εκβάλλουν στα επιφανειακά νερά η τιμή της ολικής αμμωνίας δεν πρέπει να ξεπερνά τα 15 mg/L.[34 & 41]

#### **4.2.10 Νιτρικά ιόντα (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

Το άζωτο απαντάται στη φύση σε διάφορες μορφές όπως οργανικό άζωτο (πρωτεΐνες, αμινοξέα, ουρία) αμμωνία, νιτρώδη, νιτρικά και μοριακό άζωτο. Από την αποσύνθεση οργανικού υλικού προκύπτει αμμωνία η οποία οξειδώνεται βιολογικά από μικροοργανισμούς (nitrosomonas) προς νιτρώδη και στη συνέχεια από άλλους μικροοργανισμούς (nitrobacter) προς νιτρικά. Τα **νιτρικά ιόντα** αποτελούν το τελικό στάδιο οξείδωσης των αζωτούχων ενώσεων :



Τα νιτρικά στα υδατικά αποθέματα δεν προέρχονται μόνο από αποσύνθεση οργανικού υλικού αλλά κυρίως από τις απορροές από καλλιεργούμενες εκτάσεις στις οποίες εφαρμόζεται λίπανση με νιτρικά. Ένα ποσοστό της τάξης του 2-10% από τα νιτρικά που χρησιμοποιούνται για λίπανση καλλιεργειών εκτιμάται ότι καταλήγει στα επιφανειακά και υπόγεια νερά.[1]

Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, είναι δείκτης ρύπανσης των υδάτων από λιπάσματα ή λύματα και απόβλητα. Τα λύματα που είναι ανεπεξέργαστα δεν περιέχουν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών, αυτό συμβαίνει διότι το μεγαλύτερο μέρος του αζώτου βρίσκεται δεσμευμένο σε οργανικές ενώσεις. Αντίθετα όμως τα λύματα που έχουν υποστεί επεξεργασία περιέχουν συνήθως υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών ως αποτέλεσμα του παρατεταμένου αερισμού που οδηγεί στην νιτροποίηση των αζωτούχων ενώσεων. Τα όρια όμως που γίνονται αποδεκτά για την συγκέντρωση των νιτρικών στο πόσιμο νερό είναι 50 mg/L στα απόβλητα που διαθέτονται στα ρεύματα (ΕΥΔΑΠ) το όριο είναι 4 mg/L και στην θάλασσα είναι 20 mg/L.[34]

#### **4.2.11 Φωσφορικά ιόντα (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)**

Το άζωτο και ο φώσφορος είναι δύο από τα βασικά θρεπτικά συστατικά, τα οποία καθορίζουν την πρωτογενή παραγωγή των οικοσυστημάτων. Η συγκέντρωση των θρεπτικών είναι σημαντική, καθώς τόσο η έλλειψη όσο και η περίσσεια αυτών προκαλούν προβλήματα και μπορεί να οδηγήσουν ως και στην κατάρρευση των οικοσυστημάτων. Για τα υδάτινα περιβάλλοντα, και ιδιαίτερα για τα γλυκά νερά, ο φώσφορος είναι αυτός που θεωρείται **περιοριστικός παράγοντας**. [42]

Στα επιφανειακά νερά αλλά και στα απόβλητα ο **φώσφορος** εμφανίζεται σε πολλές μορφές πιο συχνά όμως εμφανίζεται με την μορφή ορθοφωσφορικών ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) και πολυφωσφορικών (π.χ.  $\text{Na}_3(\text{PO}_3)_6$ ) ιόντων, ως οργανικός φώσφορος, δεσμευμένος σε οργανικές ενώσεις. Ο φώσφορος που εμφανίζεται στα επιφανειακά νερά οφείλεται σε πολλές πηγές, φυσικής ή ανθρωπογενής προέλευσης. Επίσης πολλά από τα απορρυπαντικά που χρησιμοποιούμε (οικιακής ή βιομηχανικής χρήσης) περιέχουν πολυφωσφορικά ιόντα για την αποσκλήρυνση του νερού. Άρα τα λύματα και τα απόβλητα που θα καταλήξουν στους επιφανειακούς αποδέκτες, είναι επιβαρυνμένα με σημαντικές ποσότητες φωσφόρου. Τα φωσφορούχα λιπάσματα που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες, δεν δεσμεύονται ποσοτικά από τα φυτά ή το έδαφος έτσι οι εκπλύσεις εδαφών περιέχουν και αυτές σημαντικά φορτία φωσφόρου. [34]

Στα ποτάμια ο ενεργός φώσφορος είναι η πιο βιοδιαθέσιμη μορφή φωσφόρου για τα φυτά και τα φύκη, και επίσης είναι η κυρίαρχη μορφή φωσφόρου στα υδάτινα σώματα. Τα υδρόβια φυτά και τα φύκη είναι διακανονιστές της υγείας των υδάτινων οικοσυστημάτων, καθώς προσφέρουν τροφή, καταφύγιο και περιβάλλον για τα ψάρια και τις άλλες μορφές υδρόβιας ζωής. Μια μετακίνηση του σημείου ισορροπίας αυτών των φυτικών κοινοτήτων θα έχει σοβαρές επιπτώσεις για τις υπόλοιπες ζωικές κοινότητες. [41]

Όσο η παρουσία του φωσφόρου αποτελεί βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των οργανισμών, έτσι και η έλλειψη του μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη της πρωτογενούς παραγωγής σε μια υδατική μάζα. Στην περίπτωση όπου ο φώσφορος είναι περιοριστικός παράγοντας, η διοχέτευση επεξεργασμένων ή ανεπεξέργαστων λυμάτων, κτηνοτροφικών αποβλήτων, εκπλύσεων γεωργικών εδαφών ή ορισμένων βιομηχανικών αποβλήτων μπορεί να προκαλέσει την υπέρμετρη ανάπτυξη φωτοσυνθετικών, υδρόβιων φυκών ή μακρόφυτων που με τη σειρά του προκαλούν ευτροφισμό. Το ανώτατο επιτρεπτό όριο στο επιφανειακό νερό σύμφωνα με την νομοθεσία είναι 0,4-0,7 mg/L. [34]

Τέλος, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Περιβαλλοντική Επιτροπή (European Environment Agency), μεγάλο ποσοστό της ρύπανσης από φώσφορο προέρχεται από τις οικίες και την βιομηχανία, συμπεριλαμβανομένης και της χρήσης καθαριστικών με βάση τον φώσφορο. Η ραγδαία αύξηση της βιομηχανικής παραγωγής και της κατανάλωσης στις οικίες κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα οδήγησαν σε μεγαλύτερους όγκους λυμάτων πλούσιων σε θρεπτικά υλικά. Μολονότι προσφάτως υπάρχει καλύτερη διαχείριση του αζώτου και του φωσφόρου στις γεωργικές πρακτικές, κορεσμός εδαφών με φώσφορο σημειώνεται σε κάποιες περιοχές όπου χρησιμοποιείται υπερβολική ποσότητα κοπριάς ζώων. Η απομάκρυνση των θρεπτικών συστατικών σε βιολογικούς καθαρισμούς και η προώθηση απορρυπαντικών χωρίς φώσφορο είναι ζωτικής σημασίας στην ελαχιστοποίηση της επιρροής του αζώτου και του φωσφόρου στη μόλυνση των υδάτινων σωμάτων στην Ευρώπη. [43]

#### **4.2.12 Θεϊκά ιόντα ( $\text{SO}_4^{2-}$ )**

Η ύπαρξη των **θεϊκών ιόντων** στα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά μπορεί να προέρχεται από τη γεωλογική σύσταση των πετρωμάτων, από τα οποία διέρχεται το νερό από ορισμένες χρήσεις του νερού από τον άνθρωπο ή από το νερό της βροχής. Η συγκέντρωση των θεϊκών ιόντων στα φυσικά νερά παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις ανάλογα με το είδος των πετρωμάτων, από τα οποία διέρχονται και το είδος και την ένταση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Ο έλεγχος των θεϊκών αλάτων στο πόσιμο νερό έχει σημασία γιατί έχει βρεθεί ότι τα θεϊκά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου έχουν καθαριστική δράση στον άνθρωπο για αυτό το μέγιστο επιτρεπτό όριο θεϊκών ιόντων στο πόσιμο νερό είναι 250 mg/L. [34]

### **4.3 Βιοχημικά χαρακτηριστικά**

#### **4.3.1 Διαλυμένο οξυγόνο**

Το οξυγόνο που υπάρχει στο νερό μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες όπως είναι η θερμοκρασία, η πίεση, η ηλιοφάνεια, ο κυματισμός, τα ρεύματα, η περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα και οργανικές ουσίες, το περιεχόμενο σε μικροοργανισμούς και άλλα. Οι πιο σημαντικοί όμως παράγοντες που επηρεάζουν την διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό είναι η θερμοκρασία (όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μειώνεται η διαλυτότητα του οξυγόνου και προφανώς συμβαίνει και αντιστρόφως) αμέσως μετά είναι η αλατότητα (όσο αυξάνεται η αλατότητα μειώνεται και η διαλυτότητα του οξυγόνου και αντιστρόφως) και τέλος η πίεση (έτσι και εδώ όσο αυξάνεται η πίεση μειώνεται η διαλυτότητα του οξυγόνου και αντιστρόφως). Έτσι λοιπόν κάτω από δεδομένες συνθήκες θερμοκρασίας, αλατότητας και πίεσης η διαλυτότητα του οξυγόνου στο νερό είναι συγκεκριμένη και εφόσον δεν υπάρχουν άλλοι παράγοντες μπορεί να υπολογιστεί ή να βρεθεί από πίνακες. Η τιμή αυτή που θα βρεθεί είναι η τιμή του κορεσμού του νερού σε οξυγόνο και αποτελεί μέτρο για την κατάσταση των επιφανειακών υδάτων. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορούν να μειώσουν την περιεκτικότητα του νερού σε οξυγόνο (σε σχέση με την τιμή του κορεσμού), όπως οι οργανικές ουσίες από λύματα ή απόβλητα που για την αποσύνθεσή τους (από αερόβιους μικροοργανισμούς) απαιτούν την κατανάλωση οξυγόνου.

Αντίθετα αύξηση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στο νερό γίνεται μέσω της φωτοσύνθεσης, όπως είναι τα μικροφύκη και τα υδρόβια φυτά. Πολλές φορές σε συνθήκες ευτροφισμού παρατηρείται το φαινόμενο, την ημέρα να υπάρχει υπερκορεσμός σε οξυγόνο ενώ τη νύχτα και ιδιαίτερα τις πρώτες πρωινές ώρες να παρατηρείται σημαντική μείωση του οξυγόνου (σε σχέση με την τιμή του κορεσμού) που σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να φτάσει το επίπεδο ανοξίας. Το φαινόμενο αυτό συναντάται ιδιαίτερα σε λίμνες και κλειστούς κόλπους. Άρα η μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό δεν μπορεί να αξιολογηθεί παρά μόνο εφόσον συνοδεύεται από μέτρηση της θερμοκρασίας και της αλατότητας (στα θαλασσινά νερά).

Σύμφωνα με την νομοθεσία στη χώρα μας, τα πόσιμα νερά πρέπει να έχουν διαλυμένο οξυγόνο με τιμή 75 % τουλάχιστον της τιμής του κορεσμού, στα νερά της κολύμβησης το διαλυμένο οξυγόνο θα πρέπει να είναι 80-120 % της τιμής του κορεσμού ενώ στα γλυκά νερά στα οποία διαβιούν πέστροφες και άλλα είδη της οικογένειας των σαλμονιδών το διαλυμένο οξυγόνο θα πρέπει να είναι στο 50 % των εξετασθέντων δειγμάτων μεγαλύτερο από 9 και στο 100 % των δειγμάτων μεγαλύτερο από το 6.[34]

Τέλος όσον αφορά την περιεκτικότητα του νερού των ποταμών σε οξυγόνο σχετίζεται αντίθετα με τη θερμοκρασία. Τα αποθέματα του οξυγόνου είναι γενικά πλουσιότερα σε κρύα και καλά αναμειγμένα νερά στα ανώτερα μέρη των πηγών των ρευμάτων και μειώνονται στα θερμά νερά, στα κάτω τμήματα των ποταμών. Εντούτοις, επειδή τα νερά μέσα στα ρεύματα και τα ποτάμια αναμειγνύονται συνεχώς, το οξυγόνο είναι γενικά μη περιοριστικός παράγοντας στην κατανομή των οργανισμών των ποταμών. Η κύρια εξαίρεση σε αυτή τη γενίκευση είναι στα τμήματα των ρευμάτων και των ποταμών που δέχονται οργανικά απόβλητα από τις πόλεις (απόβλητα με υψηλή βιομηχανική απαίτηση οξυγόνου ή BOD) και τη βιομηχανία. Μόνο οι ανεκτικοί οργανισμοί σε χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου μπορούν να κατοικήσουν αυτά τα τμήματα του ποταμού.[4]

#### **4.3.2 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)**

Ως **Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο** μπορεί να οριστεί η ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνουν τα αερόβια μεσόφιλα βακτήρια, σε διάστημα 5 ημερών για την χημική και τη βιολογική οξείδωση των οργανικών κυρίως ουσιών που περιέχει ορισμένος όγκος δείγματος ακάθαρτων νερών, που επωάζονται σε σκοτεινό θάλαμο, σταθερής θερμοκρασίας 20°C.



Ο προσδιορισμός του BOD γίνεται μανομετρικά, με την βοήθεια της ειδικής συσκευής μέτρησης BOD (Lovibond). Η κατανάλωση του περιεχομένου οξυγόνου στο δοχείο κατά τη διάσπαση του οργανικού φορτίου του δείγματος από τους μικροοργανισμούς, υπολογίζεται ως μεταβολή της πίεσης στο δοχείο και μετριέται μανομετρικά από την ψηφιακή κεφαλή εμφανίζοντας τα αποτελέσματα στην οθόνη της σε mg/L.

Το BOD όπως αναφέρθηκε εκφράζεται σε mg/L και συμβολίζεται ως BOD<sub>5</sub>, όταν ο χρόνος επώασης του δείγματος είναι πέντε μέρες. Το BOD είναι μια εμπειρική δοκιμασία που εκτελείται στο εργαστήριο κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες και χρησιμοποιείται ως μέτρο εκτίμησης του ρυπαντικού φορτίου που διαθέτουν τα λύματα, τα απόβλητα και τα ρυπασμένα ύδατα. Κατά την διαδικασία αυτή μετράτε η ποσότητα του οξυγόνου που έχουν καταναλώσει τα αερόβια μεσόφιλα βακτήρια για την αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών που περιέχει το εξεταζόμενο δείγμα (ανθρακούχα απαίτηση) και η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την χημική οξείδωση ανόργανων ουσιών όπως τα θειούχα, ο σίδηρος κλπ. Με την ίδια διαδικασία μετράτε ακόμα η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την οξείδωση ανηγμένων μορφών του αζώτου (αζωτούχα απαίτηση) που ενδεχομένως περιέχει το δείγμα. Ο προσδιορισμός του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (με τον αγγλοσαξονικό όρο Biochemical Oxygen Demand) είναι μια από τις παλιότερες και συχνά εφαρμοσμένη ως σήμερα μέθοδος για την εκτίμηση της οργανικής κυρίως ρύπανσης από λύματα ή βιομηχανικά απόβλητα σε φυσικούς αποδέκτες (λίμνες, ποτάμια κτλ.) τον σχεδιασμό και τον έλεγχο συστημάτων βιολογικού καθαρισμού λυμάτων και αποβλήτων.

Στα ανεπεξέργαστα λύματα, το BOD<sub>5</sub> κυμαίνεται από 250 ως 350 mg/L, ενώ σε ορισμένες κατηγορίες βιομηχανικών αποβλήτων πχ απόβλητα γαλακτοβιομηχανίας, μπορεί να φθάσει ως 20.000 mg/L (όταν δεν γίνεται ανάκτηση του ορού γάλακτος). Σύμφωνα με την νομοθεσία που ισχύει στη χώρα μας, τα απόβλητα που αποχετεύονται σε επιφανειακούς αποδέκτες (ποτάμια, λίμνες, θάλασσα) πρέπει να έχουν BOD<sub>5</sub> μικρότερο από 40 mg/L, ενώ ορισμένες φορές καθορίζονται ακόμα αυστηρότερα όρια.[34]

#### **4.3.3 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)**

Το **χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)**, είναι η ισοδύναμη ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την οξείδωση σε έντονα οξειδωτικό περιβάλλον των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε δείγματα υδάτων η αποβλήτων. Η αρχή της μεθόδου βασίζεται στην οξείδωση του δείγματος με ισχυρό οξειδωτικό (διάλυμα K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) σε όξινο περιβάλλον (εξασφαλίζεται με πυκνό H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) και ως καταλύτης χρησιμοποιείται Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Είναι μια ακριβής και γρήγορη μέτρηση, χρήσιμη στην εκτίμηση της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων και για έλεγχο και σχεδιασμό συστημάτων βιολογικού καθαρισμού λυμάτων και αποβλήτων. Σε ορισμένα δείγματα το COD μπορεί να συσχετισθεί με το BOD, τον οργανικό άνθρακα (TOC, TOD) ή το περιεχόμενο σε οργανικές ουσίες. Ο βαθμός συσχέτισης του COD με το θεωρητικά απαιτούμενο οξυγόνο, για την πλήρη οξείδωση των οργανικών ενώσεων του δείγματος, εξαρτάται από τη δυνατότητα πλήρους οξείδωσης των ουσιών που περιέχονται σ' αυτό. Πολλές οργανικές ενώσεις, οξειδώνονται σε ποσοστό 90-100 % και σε νερά που περιέχουν κυρίως τέτοιες ενώσεις όπως τα αστικά λύματα, η τιμή του COD είναι ένα αρκετά καλό μέτρο του θεωρητικά απαιτούμενου οξυγόνου. Έτσι στα αστικά λύματα η σχέση COD/BOD κυμαίνεται από 2,5:1 ως 3,0:1. Σε δείγματα που περιέχουν μεγάλες ποσότητες από ουσίες που οξειδώνονται δύσκολα στις συνθήκες του προσδιορισμού, η τιμή του COD δεν είναι αντιπροσωπευτική του θεωρητικά απαιτούμενου οξυγόνου. Η περίπτωση αυτή μπορεί να παρατηρηθεί σε ορισμένα βιομηχανικά απόβλητα. Υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη μέτρηση του COD, όπως είναι η οξείδωση ανόργανων συστατικών, κυρίως των χλωριόντων, των νιτρωδών, του δισθενούς σιδήρου και των θειούχων. Άρα η σημασία της τιμής του COD εξαρτάται από τη σύσταση του νερού που εξετάζεται.[34]

## 4.4 Οργανικά συστατικά

### 4.4.1 Απορρυπαντικά

**Απορρυπαντική** είναι κάθε ουσία που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό υλικών. Ο όρος κανονικά αναφέρεται και στις σχετικά απλές ουσίες όπως το κοινό σαπούνι και η καθαρή βενζίνη. Κυρίως όμως αναφέρεται στα σύγχρονα συνθετικά απορρυπαντικά που χρησιμοποιούνται ευρύτατα για οικιακές κυρίως χρήσεις. Τα απορρυπαντικά (επιφανειοδραστικές ουσίες) συντίθεται από μόρια τα οποία περιέχουν υδρόφιλες και υδρόφοβες ομάδες. Επομένως τείνουν να δρουν στις διεπιφάνειες αέρα – νερού και ελαίου-νερού. Ελαττώνουν την επιφανειακή τάση και διευκολύνουν την δημιουργία γαλακτώματος. Εξαιτίας της ιδιότητάς τους αυτής έχουν καθιερωθεί ως μέσα καθαρισμού (Απορρυπαντικά).[28]

Η παρουσία των απορρυπαντικών στα επιφανειακά νερά όπου καταλήγουν τα αστικά λύματα, είναι μετρήσιμη ενώ συχνά η παρουσία τους γίνεται ορατή και μακροσκοπικά από την παρουσία αφρών και γαλακτωμάτων στην επιφάνεια της θάλασσας ή των λιμνών.

Η υδρόφοβη ομάδα των απορρυπαντικών αποτελείται από ένα υδρογονάνθρακα με 10 ως 20 άτομα άνθρακα. Οι υδρόφιλες ομάδες είναι δύο τύπων, αυτές που ιονίζουν το νερό και αυτές που δεν το ιονίζουν. Τα απορρυπαντικά που ιονίζουν το νερό μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες, τα **ανιονικά** και τα **κατιονικά**. Τα μη ιονιζόμενα απορρυπαντικά συνήθως περιέχουν πολυοξυαιθυλενικές υδρόφιλες ομάδες. Οι επιπτώσεις που προκαλούν τα απορρυπαντικά στο φυσικό περιβάλλον, εκτός από τα προβλήματα αφρισμού και γαλακτωμάτων που δημιουργούν, είναι ο μεγάλος χρόνος διάσπασης τους και η συμβολή τους στη δημιουργία ευτροφικών συνθηκών. Αυτό συμβαίνει σε κλειστά συστήματα επιφανειακών υδάτων, λόγω της περιεκτικότητας τους σε πολυφωσφορικά άλατα που προστίθενται από απορρυπαντικά για αποσκλήρυνση του νερού. Παλιότερα τα προβλήματα ήταν ιδιαίτερα σοβαρά διότι χρησιμοποιούνταν απορρυπαντικά τύπου A.B.S ( αλκυ-λο-βενζο-σουλφονικά άλατα) που δομικά περιέχουν ομάδες αλκυλίων διακλαδισμένης διάταξης, δύσκολα βιοδιασπάσιμες. Η αλλαγή της σύνθεσης των απορρυπαντικών, από τα μέσα του 1965 και η παραγωγή περισσότερο βιοδιασπάσιμων απορρυπαντικών, τύπου L.A.S (ευθείας αλύσου σουλφονικά άλατα), μείωσε σημαντικά τα περιστατικά αφρισμού, δεν εξάλειψε όμως τα προβλήματα ευτροφισμού από την παρουσία των πολυφωσφορικών αλάτων. Τα περισσότερα απορρυπαντικά που χρησιμοποιούνται σήμερα, είναι ανιονικού τύπου. Στα ανεπεξέργαστα λύματα, η περιεκτικότητα των ανιονικών απορρυπαντικών κυμαίνεται από 1 ως 20 mg/L. Στα επιφανειακά νερά, η περιεκτικότητα των ανιονικών απορρυπαντικών είναι συνήθως μικρότερη από 0,1 mg/L, με εξαίρεση τα σημεία εκβολής των αποχετευτικών αγωγών, όπου μπορεί να είναι υψηλότερη. Στο πόσιμο νερό η ανώτατη παραδεκτή τιμή των επιφανειοδραστικών ουσιών που αντιδρούν με κυανούν του μεθυλενίου είναι 200 μg/L. Τα απόβλητα όμως που αποχετεύονται σε ρέματα ή στη θάλασσα πρέπει να είναι λιγότερο από 5mg/L και βιοδιασπάσιμα σε ποσοστό 80%.[34]

Τα **ανιονικά** επιφανειοδραστικά τύπου σουλφονικού και θειϊκού αντιδρούν με την κατιονική χρωστική ουσία μπλε του μεθυλενίου για να σχηματίσουν ένα ζεύγος ιόντων που στη συνέχεια εκχυλίζεται με χλωροφόρμιο, το μπλε χρώμα της οργανικής φάσης προσδιορίζεται φωτομετρικά.

Τα **κατιονικά** επιφανειοδραστικά της ένωσης τεταρτοταγούς αμμωνίου, της ιμιδαζολίνης και του τύπου αμίνης αντιδρούν με την ανιονική χρωστική ουσία δισουλφινικού μπλε για να σχηματίσουν ένα ζεύγος ιόντων που στη συνέχεια εκχυλίζεται με οργανικό διαλύτη. Το μπλε χρώμα της οργανικής φάσης προσδιορίζεται φωτομετρικά.

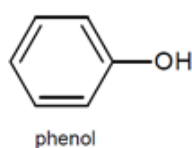
Τα **μη ιονικά** επιφανειοδραστικά (αιθοξυλικά με 3 έως 20 αιθερικές γέφυρες) αντιδρούν με ένα δείκτη (TBPE) για να σχηματίσουν ένα σύμπλεγμα το οποίο στη συνέχεια εκχυλίζεται με διχλωρομεθάνιο. Το πράσινο χρώμα της οργανικής φάσης προσδιορίζεται φωτομετρικά.[44]

#### 4.4.2 Φαινόλες

Η **φαινόλη**, η αλλιώς φαινολική αλκοόλη, είναι μια μοριακή ένωση, άχρωμη προς ανοιχτό ροζ χρώμα, όταν βρίσκεται σε ανόθευτη μορφή, και σε εμπορεύσιμη μορφή βρίσκεται σε υγρή κατάσταση ενώ εμπεριέχει και ποσότητα νερού. Η φαινόλη παρουσιάζει μια χαρακτηριστική και έντονη οσμή. Με την οσμή ο άνθρωπος μπορεί να αντιληφθεί την φαινόλη στην ατμόσφαιρα όταν βρίσκεται σε συγκεντρώσεις πάνω από 40 ppb αντίθετα όμως μπορεί να τη γευτεί στο νερό σε συγκεντρώσεις από 1 έως 8 ppm. Ο μοριακός τύπος της φαινόλης σε καθαρή μορφή είναι :



Επίσης η φαινόλη ανήκει στην κατηγορία των αρωματικών αλκοολών και το μόριο της μπορεί να περιγραφεί ως ένας βενζολικός δακτύλιος, στον οποίο έχει αντικατασταθεί το άτομο ενός υδρογόνου με την χαρακτηριστική ομάδα του υδροξυλίου (Σχήμα 4.4).[45]



**Σχήμα 4.4:** Χημικός τύπος της φαινόλης.[45]

Συγκεντρώσεις φαινόλης έχουν ανιχνευτεί στο φυσικό περιβάλλον, στην ατμόσφαιρα, στο έδαφος αλλά και στα νερά. Η φαινόλη απελευθερώνεται αρχικά στην ατμόσφαιρα και στο νερό κυρίως σαν αποτέλεσμα βιομηχανικών επεξεργασιών, στην ατμόσφαιρα όμως οι φαινόλες εξαφανίζονται εύκολα σε σχέση με το νερό που μπορεί να παραμείνουν περισσότερο. Στα νερά η απελευθέρωση φαινολών, που προέρχονται από ανθρωπογενείς αιτίες στα φυσικά νερά περιλαμβάνουν την διοχέτευση υγρών αποβλήτων από βιομηχανίες επεξεργασίας πετρελαίου και παραγώγων του [46], απόβλητα από βιομηχανικές μονάδες επεξεργασίας και παραγωγής όπως ρητίνες, πλαστικά, νήματα, κολλητικές ταινίες, ατσάλι και σίδηρο, αλουμίνιο, δέρματα, συνθετικό καουτσούκ και υγρά απόβλητα που προέρχονται από παρασκευή συνθετικών προϊόντων και καυσίμων.[47]

Στα νερά όμως φαινόλες μπορούν να απελευθερώνονται και από άλλες βιομηχανίες όπως είναι η παραγωγή χαρτικών ειδών [48], αλλά και από μονάδες επεξεργασίας ξύλου δηλαδή μονάδες επιπλοποιείας.[49]

Οι άλλες πηγές απελευθέρωσης των φαινολών στα νερά, περιλαμβάνουν την εμπορική χρήση της φαινόλης και των προϊόντων που εμπεριέχουν φαινόλη, συμπεριλαμβανομένων και των απολυμαντικών ουσιών, εντομοκτόνων και καθαριστικών [50 & 51]. Επίσης μπορεί να προέρχονται από φαρμακευτικά προϊόντα υπό μορφή αλοιφών, σταγόνων, απολυμαντικών για πληγές, στοματικών διαλυμάτων, παυσίπονων χαπιών, αναλγητικών εμπλάστρων, καραμελών για το λαιμό και αντισηπτικών σιροπιών. [52 & 53]

Μεταξύ των αποβλήτων όμως που απελευθερώνεται στο περιβάλλον και φέρει φαινολικό φορτίο είναι και ο κατσίγαρος. Ο κατσίγαρος είναι το τυπικό απόβλητο της βιομηχανίας παραγωγής ελαιόλαδου χωρίς εμπορική αξία που όμως είναι πλούσιο σε οργανικές ουσίες και κυρίως φαινολικές ενώσεις. Τα απόβλητα των ελαιουργείων αποτελούν μια εν δυνάμει πηγή φαινολικής δύναμης τόσο για τα επιφανειακά ύδατα όσο και για τα υπόγεια. Στα επιφανειακά ύδατα μπορεί να καταλήξει άμεσα με την διοχέτευση και απόθεση υγρών αποβλήτων σε ποταμούς ή λίμνες, είτε έμμεσα αν παρασυρθεί από τα νερά της βροχής. Αντίθετα στους υπόγειους υδροφορείς μπορεί να καταλήξει μέσω του μηχανισμού της κατείσδυσης.

#### 4.5 Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά

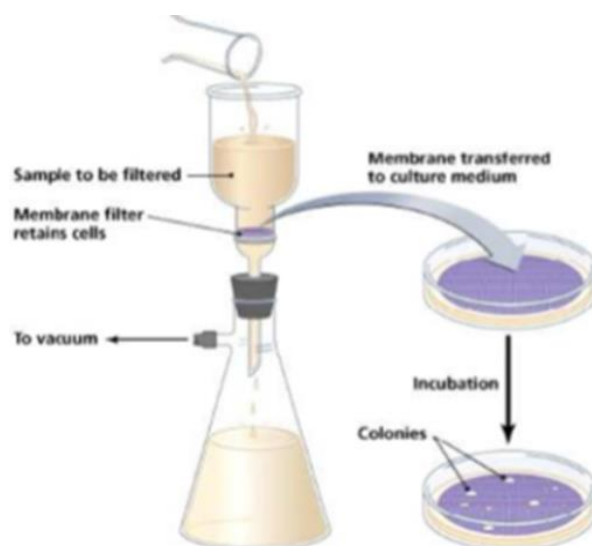
Μικροοργανισμοί θεωρούνται οι οργανισμοί στους οποίους δεν μπορούμε να διακρίνουμε λεπτομέρειες με γυμνό μάτι. Δηλαδή μικρόβια που εντοπίζονται με το μικροσκόπιο. Πολλές φορές όμως υπήρξαν και περιπτώσεις όπου είχε γίνει μετάδοση ασθενειών από το πόσιμο νερό. Οι μικροοργανισμοί όμως που έχουν ενδιαφέρον για την ποιότητα του νερού από άποψη υγιεινής είναι κυρίως οι ιοί, τα βακτήρια, τα πρωτόζωα και οι έλμινθες ή παρασιτικοί σκώληκες.

Με τον όρο όμως **μικροβιολογική εξέταση** του νερού εννοείται ο εντοπισμός και ο ποσοτικός προσδιορισμός των μικροοργανισμών που περιέχονται σε ένα δείγμα νερού και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό. Η μικροβιολογική εξέταση του νερού συνήθως περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των παθογόνων μικροοργανισμών για τον άνθρωπο και τα ζώα. Ο σκοπός της μικροβιολογικής εξέτασης του νερού, είναι η εξέταση του βαθμού μόλυνσης των υδάτων από λύματα ή κτηνοτροφικά απόβλητα και ο έλεγχος της καταλληλότητας του νερού (Πίνακας 4.5) για διάφορες χρήσεις όπως πόση, κολύμβηση, κτλ. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με συγκεκριμένη μεθοδολογία και τεχνικές που σκοπό έχουν τον εντοπισμό της παρουσίας και προσδιορισμό της πυκνότητας μικροοργανισμών που είναι δείκτες κοπρικής μόλυνσης ή έχουν παθογόνο δυναμικό. Από το πλήθος μικροοργανισμών που υπάρχουν στη φύση λίγοι είναι εκείνοι που είναι παθογόνοι και μπορούν να μεταδοθούν στον άνθρωπο από το νερό. Στους παθογόνους όμως μικροοργανισμούς περιλαμβάνονται είδη που προκαλούν ασθένειες στον άνθρωπο σοβαρές όπως είναι : ο τύφος από *Salmonella typhosa*, η χολέρα από *Vibrio comma*, η δυσεντερία από *Entamoeba histolytica* κτλ. Σε μικροοργανισμούς όμως οφείλονται και ιώσεις όπως είναι η ηπατίτιδα, η πολυμελίτιδα, κτλ. καθώς και οι μυκητιάσεις όπως οι κολπίτιδες και οι δερματίτιδες.

**Πίνακας 4.5:** Χαρακτηρισμός νερών.[28]

Αριθμός κολοβακτηριδίων / 100 ml νερού	Χαρακτηρισμός
0-1	Πόσιμο νερό
10-100	Κανονικά επιφανειακά νερά, μη ρυπασμένα
500-1.000	Νερά ύποπτα μόλυνσης
1.000-5.000	Επιφανειακά νερά με μέτρια μόλυνση
10.000-100.000	Επιφανειακά νερά εντόνως μολυσμένα από λύματα (επικίνδυνα για την υγεία)
>100.000	Λύματα (αυτούσια)

Ο πλήρης και σωστός μικροβιολογικός έλεγχος θα έπρεπε να είναι εκείνος που βασίζεται στον προσδιορισμό όλων των παθογόνων μικροοργανισμών που ενδέχεται να υπάρχουν στο νερό. Επειδή όμως δεν υπάρχει τυποποιημένη τεχνική που να επιτρέπει την γρήγορη ανίχνευση όλων των παθογόνων μικροοργανισμών ο μικροβιολογικός έλεγχος των υδάτων γίνεται με την χρήση δεικτών κοπρικής ρύπανσης, δηλαδή ομάδων μικροοργανισμών που η ανίχνευση τους στα νερά δείχνει την παρουσία στο νερό περιττωμάτων ή λυμάτων από ζώα ή τον άνθρωπο. Ως κοπρικοί δείκτες χρησιμοποιούνται τα ολικά κολοβακτήρια (Total Coliforms), τα κοπρανώδη κολοβακτήρια (Fecal Coliforms) και οι κοπρανώδη στρεπτόκοκκοι (Fecal Streptococci). Για τον έλεγχο των μικροοργανισμών δεικτών χρησιμοποιείται η μέθοδος της διήθησης δια μεμβράνης (Εικόνα 4.6).[26]



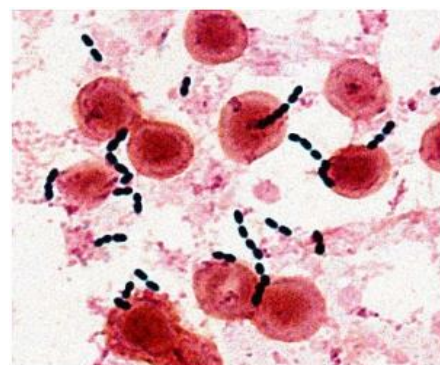
**Εικόνα 4.6:** Διαδικασία μικροβιολογικής ανάλυσης με τη μέθοδο των διηθητικών μεμβρανών.[54]

#### **4.5.1 Ολικά κολοβακτηριοειδή (Total Coliforms)**

Τα **Ολικά κολοβακτήρια** ανήκουν στην οικογένεια των εντεροβακτηριακών, που είναι αρνητικά κατά Gram, μη σπορογόνα, αερόβια και δυνητικά αναερόβια βακτήρια τα οποία ζυμώνουν την λακτόζη και παράγουν αέριο στους  $36\pm 1^\circ\text{C}$  στις 48h, που αναπτύσσονται στο εντερικό σύστημα στο φυσικό περιβάλλον (έδαφος, επιφανειακά νερά) και τα τρόφιμα. Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει είδη από τα γένη *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Serratia*, *E. Coli* και *Klebsiella*. Στην ομάδα των κολοβακτηρίων περιλαμβάνονται και είδη που ζουν στο παχύ έντερο του ανθρώπου και των θερμόαιμων ζώων και αποβάλλονται με τα λύματα και τα κτηνοτροφικά απόβλητα. Στα φυσικά νερά δεν είναι απόλυτη ένδειξη ότι το νερό έχει επιμολυνθεί με κοπρανώδες υλικό, καθώς πολλά είδη αυτών εντοπίζονται στο περιβάλλον (έδαφος, φύλλα κλπ.). Καθιστά όμως το νερό ύποπτο και επιβάλλει την περεταίρω διερεύνηση. Παρέχει επομένως ενδείξεις για την ποιότητα του νερού. Η ύπαρξη κολοβακτηριοειδών φανερώνει πιθανώς κακή συντήρηση του συστήματος ύδρευσης, πιθανή ανάπτυξη παθογόνων βακτηριδίων, ύπαρξη βιοϋμένιου και πιθανόν την εισροή χρώματος στο σύστημα ύδρευσης. Το ανώτερο επιτρεπόμενο όριο είναι 0 ζώντα κύτταρα ανά 100 ml νερού (0 cfu/100 ml). [34 & 54]

#### **4.5.2 Κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι (Fecal Streptococci)**

Οι **στρεπτόκοκκοι** είναι βακτήρια που ζουν συνήθως στο έντερο του ανθρώπου και των θερμόαιμων ζώων (ιπποειδή, βοοειδή, χοίροι, πουλερικά κλπ.). Η παρουσία κοπρικών στρεπτόκοκκων στο νερό είναι σαφής ένδειξη κοπρικής μόλυνσης. Η ομάδα των κοπρικών στρεπτόκοκκων περιλαμβάνει διαφορετικά είδη και ποικιλίες, όπως *Streptococcus faecalis*, *S. faecium*, *S. bovis*, και *S. equinus*, με διαφορετικά βιοχημικά χαρακτηριστικά το καθένα και εξειδίκευση ως προς το ξενιστή τους. Οι διαφορές μεταξύ των ειδών και ποικιλιών του *Streptococcus*, χρησιμοποιούνται για την ταυτοποίηση της πηγής μόλυνσης των υδάτων.

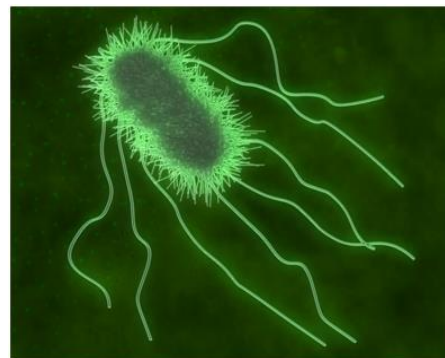


**Εικόνα 4.7:** Μορφολογικά χαρακτηριστικά Του *Enterococcus*. [54]

Για παράδειγμα, η υπεροχή των ειδών *S.bovis* και *S.equinus* έναντι των άλλων ειδών κτηνοτροφικών μονάδων, της επεξεργασίας κρέατος, γαλακτοβιομηχανίες κλπ. Τα είδη *S.bovis* και *S.equinus* έχουν χρόνο επιβίωσης εκτός του φυσικού τους βιότοπου έτσι η παρουσία τους στο νερό δείχνει πρόσφατη επιμόλυνση. Η ομάδα των εντεροκόκκων (enterococci), (Εικόνα 4.7) είναι υποομάδα των κοπρανωδών στρεπτόκοκκων και περιλαμβάνουν τα είδη *S.faecium*, *S.avium*, *S.faeca/is*, *S.ga/linarum*. Είναι δείκτες κοπρανώδους μόλυνσης και το ανώτερο επιτρεπτό όριο στο πόσιμο νερό δικτύου ύδρευσης είναι 0 ζώντα κύτταρα ανά 100 ml νερού (0 cfu/100 ml). [34 & 54]

#### **4.5.3 Κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή (Fecal Coliforms)**

Τα **κοπρανώδη κολοβακτήρια** αποτελούν υποομάδα των ολικών κολοβακτηριοειδών και βρίσκονται στο έντερο του ανθρώπου και των θερμόαιμων ζώων. Έχουν τις ίδιες ιδιότητες με τα ολικά κολοβακτηριοειδή αλλά η διαφορά τους είναι ότι μπορούν να πολλαπλασιαστούν στους  $44,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ . Τα κοπρανώδη κολοβακτήρια περιέχονται σε μεγάλους αριθμούς της τάξης των εκατομμυρίων, στα περιττώματα, λύματα και κτηνοτροφικά απόβλητα. Αυτή η ομάδα περιλαμβάνει κυρίως το είδος *Escherichia coli* και σπανιότερα άλλα είδη. Η *Escherichia coli* (Εικόνα 4.8) 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. Τέλος 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*. [34]



**Εικόνα 4.8:** Μορφολογικά χαρακτηριστικά της *Escherichia Coli*. [54]

#### **4.6 Δειγματοληψία**

Η ανάλυση δειγμάτων νερού προϋποθέτει την σωστή δειγματοληψία από την περιοχή μελέτης. Ως **δειγματοληψία**, ορίζονται όλες οι διαδικασίες επιλογής, συλλογής διατήρησης και μεταφοράς προς ανάλυση μιας ενδεικτικής ποσότητας ενός υλικού. Επίσης η ποσότητα αυτή του δείγματος θα πρέπει να ανταποκρίνεται στα χαρακτηριστικά του προς ανάλυση υλικού και να επιτρέπει την αναγωγή των παραμέτρων που θα προσδιοριστούν στο δείγμα. Πριν λοιπόν από κάθε δειγματοληψία μελετάται το υλικό που πρόκειται να αναλυθεί, καθορίζονται οι απαιτούμενοι προσδιορισμοί και επιλέγονται οι ποσότητες που θα χρησιμοποιηθούν ως δείγμα. Το δείγμα όμως πρέπει να είναι σωστό αλλά και αντιπροσωπευτικό του αρχικού υλικού. Η αντιπροσωπευτικότητα εξασφαλίζεται με την κατάλληλη επιλογή σημείων, χρόνων δειγματοληψίας και το δείγμα να διατηρείται αναλλοίωτο μέχρι να γίνουν οι αναλύσεις.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων πρέπει να είναι επαναλήψιμα για αυτό και τα σημεία από έναν υδάτινο αποδέκτη όπου συλλέγουμε το δείγμα θα πρέπει να είναι σταθερά ή να προσδιορίζονται και να καταγράφονται σε έναν τοπογραφικό χάρτη. Η δειγματοληψία ομοιογενών υλικών όπως είναι το νερό που προέρχεται από δίκτυο ύδρευσης πόλεων και τα λύματα πόλεων είναι αρκετά ποιο εύκολη σε σχέση με την συλλογή δείγματος από λίμνες, ποτάμια, θάλασσες και βιομηχανικά απόβλητα. Αυτό συμβαίνει διότι παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας και του έτους με αποτέλεσμα να απαιτείται ειδική μελέτη για τον καθορισμό των σημείων και συχνότερη συλλογή δειγμάτων.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως τα επιφανειακά νερά (ποτάμια, λίμνες, θάλασσες) χρήζουν ειδική μελέτη και η απεικόνιση τους πρέπει να γίνεται σε τοπογραφικό χάρτη του υδρολογικού δικτύου της περιοχής, της χρήσεως γης και των πηγών ρύπανσης σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Επίσης θα πρέπει να προσδιοριστούν οι ποσότητες και η εποχή παραγωγής των διάφορων ρυπαντών. Σαν βασική αρχή για να γίνει λοιπόν συλλογή δείγματος από έναν επιφανειακό αποδέκτη θα πρέπει το νερό να έχει αναμιχθεί πλήρως με το νερό πλευρικών εκβολών ή παραπόταμων εκτός αν έχει ζητηθεί ο προσδιορισμός τοπικής επίδρασης μιας εκβολής στο κυρίως υδατόρευμα. Σε έναν χειμάρρο ή σε ένα τυρβώδες ποτάμι η συλλογή ενός δείγματος οπουδήποτε κατά πλάτος της κοίτης του, είναι αρκετή για να μας δώσει την εικόνα που επικρατεί στη θέση αυτή. Αν όμως για διάφορους λόγους δεν μπορεί να συλλεχθεί το νερό από ένα τέτοιο σημείο τότε καλύτερα η συλλογή να γίνει πριν και μετά τη πλευρική εκβολή.[34]

#### **4.7 Δειγματοληψία από ποτάμια ή χειμάρρους**

Τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των ποταμών και χειμάρρων ποικίλλουν με το βάθος, τη ροή, τη ταχύτητα, την απόσταση από τις όχθες κτλ. Σε ένα ελληνικό ποτάμι η συλλογή ενός δείγματος από το μέσον του ποταμού είναι, συνήθως αντιπροσωπευτική της ποιότητας του νερού στη θέση αυτή. Σημαντικές μεταβολές στην ποιότητα του νερού των ποταμών παρατηρούνται ανάλογα με την χρονική περίοδο. Για παράδειγμα μετά από βροχοπτώσεις στην λεκάνη απορροής ενός ποταμού η ποιότητα των νερών μεταβάλλεται σε πολύ μεγάλο ποσοστό. Αν οι βροχοπτώσεις σημειωθούν μετά την περίοδο χρήσης λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, τότε θα παρατηρηθούν αυξημένες συγκεντρώσεις των ουσιών αυτών στα νερά των ποταμών. Η επιλογή των σημείων δειγματοληψίας κατά μήκος ενός ποταμού καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, από τους οποίους οι κυριότεροι είναι:

1. Η λεκάνη απορροής του ποταμού.
2. Τα σημεία όπου εισέρχονται οι παραπόταμοι.
3. Τα σημεία όπου πιθανόν αποχετεύονται πόλεις ή χωριά.
4. Τα σημεία απ' όπου γίνεται υδροληψία είτε για υδροδότηση κατοικημένων περιοχών, είτε για άρδευση.[34]

#### **4.8 Μεταφορά και συντήρηση των δειγμάτων**

Η μεταφορά των δειγμάτων από τα σημεία της δειγματοληψίας στο Εργαστήριο, όπου θα γίνουν οι αναλύσεις, γίνεται σε ειδικά **δοχεία δειγματοληψίας**. Τα δοχεία δειγματοληψίας καθαρίζονται σχολαστικά πριν από κάθε χρήση τους, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος επιμόλυνσης του δείγματος. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του δείγματος και τις παραμέτρους που θέλουμε να προσδιορίσουμε χρησιμοποιούμε το κατάλληλο δοχείο, όπως δοχεία κατασκευασμένα από ύαλο Pyrex, από Teflon, από Plexiglas ή από ευγενή μέταλλα, ώστε να μην υπάρχει αλλοίωση του δείγματος. Μετά τη συλλογή των δειγμάτων ακολουθεί άμεση μεταφορά τους στο εργαστήριο, όπου θα διεξαχθούν οι αναλύσεις. Καθώς η ανάλυση δεν είναι δυνατόν να γίνει αμέσως μετά τη δειγματοληψία, αλλά παρεμβάλλεται κάποιο χρονικό διάστημα από τη στιγμή της δειγματοληψίας μέχρι την ανάλυση, πρέπει με κάποιο τρόπο να διατηρηθεί το δείγμα στην αρχική του κατάσταση (θερμοκρασία, σύσταση). Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται φορητά ψυγεία θερμοκρασίας 4°C (νερό με πάγο), ώστε τα δείγματα να διατηρούνται στην αρχική τους μορφή. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η αναστολή ανεπιθύμητων βιολογικών και χημικών αντιδράσεων.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΛΑΔΙΣΟΥ**

Το ενδιαφέρον για την μελέτη του Κλαδισού ποταμού προέκυψε όταν σε παλαιότερα δημοσιεύματα βρέθηκαν αναφορές για εισροή αποβλήτων από αγροβιομηχανικές δραστηριότητες και αστικών λυμάτων από την παρόχθια περιοχή. Επιπλέον επειδή η φυσική κατάληξη όμως των παραποτάμων μέσω του Κλαδισού ποταμού, είναι η παραλία της Νέας Χώρας των Χανίων, η οποία αποτελεί περιοχή κολύμβησης καθώς και τουριστικών δραστηριοτήτων αύξησε το ενδιαφέρον μας για την μελέτη της περιοχής.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η αξιολόγηση της ποιότητας των επιφανειακών απορροών του ποταμού Κλαδισού καθώς και των παραποτάμων του, μέσω της μελέτης χημικών, φυσικοχημικών και μικροβιολογικών παραμέτρων σε δείγματα νερού τα οποία συλλέχθηκαν από προκαθορισμένα σημεία δειγματοληψίας. Τα αποτελέσματα θα αναδείξουν την χωρική και χρονική κατανομή του ρυπαντικού φορτίου του ποταμού Κλαδισού.

### **5.1 Περιογή μελέτης**

Η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας, με έκταση 8261, κατ' άλλους 8335, τ.μ., και το πέμπτο της Μεσογείου. Είναι ένα νησί γεμάτο αντιθέσεις. Ο συνολικός πληθυσμός της είναι μεγαλύτερος από 500.000 κατοίκους. Ο νομός Χανίων καλύπτει το δυτικό τμήμα του νησιού, η συνολική έκταση του νομού Χανίων ανέρχεται σε 2.376 km<sup>2</sup>, δηλαδή περίπου το 2.5% της πατρίδας μας. Ο πληθυσμός του νομού ανέρχεται σε 156.585 κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή του 2011, από τους οποίους περίπου 60.000 είναι κάτοικοι της πόλης των Χανίων. Διοικητικά ο νομός των Χανίων χωρίζεται σε πέντε επαρχίες: Κυδωνίας, Κισάμου, Αποκορώνου, Σελίνου και Σφακίων. Οι κυριότερες κωμοπόλεις είναι η Παλαιόχωρα και η Κάντανος στο Σέλινο, η Χώρα Σφακίων στα Σφακιά.

Στα Χανιά στη συνοικία της Νέας Χώρας στο τέρμα της οδού Σελίνου εκβάλλει ο Κλαδισός ποταμός (Εικόνα 5.1). Ο Κλαδισός ποταμός πηγάζει από τα Λευκά Όρη και συγκεντρώνει τα νερά της κοιλάδας του Θερίσου. Διαρρέει το ομώνυμο φαράγγι και την πεδιάδα των Χανίων και εκβάλλει στον κόλπο των Χανίων δυτικά από την παραλία της Νέας Χώρας.



**Εικόνα 5.1:** Άποψη Κλαδισού ποταμού, Μάρτιος 2018.



Το αρχαίο όνομα του ποταμού ήταν Κερδισός. Παλιότερα ο ποταμός ήταν ένα ορμητικό ποτάμι των Χανίων με πλούσια βλάστηση που δημιουργούσε μοναδικές εικόνες και τοπία στο πέραςμα του. Σήμερα ειδικά στις εκβολές του στη θάλασσα, κοντά στο κέντρο των Χανίων, το ποτάμι θυμίζει μολυσμένο βάλτο. Ακόμη και σήμερα έχει δημιουργηθεί ένα μοναδικό οικοσύστημα για την πανίδα και τη χλωρίδα της περιοχής. Θα πρέπει όμως να προστατευθεί από τις ανθρώπινες παρεμβάσεις και την αλλοίωση του τοπίου.[55]

## **5.2 Κλιματολογικές συνθήκες**

Η μορφολογία του εδάφους και η θέση της Κρήτης στο κέντρο της Μεσόγειου έχουν άμεση απήχηση με το κλίμα του Ν. Χανίων που χαρακτηρίζεται εύκρατο μεσογειακό και ιδιαίτερα ξηροθερμικό, με την ηλιοφάνεια να καλύπτει το 70 % των ημερών του έτους. Ο χειμώνας χαρακτηρίζεται ως ήπιος και ξεκινάει τον Νοέμβριο μήνα μέχρι τον Μάρτιο περίπου και ο καιρός χαρακτηρίζεται κρύος άλλα όχι παγερός. Στις περιοχές με υψηλό υψόμετρο (περίπου 1000 m) επικρατούν πολλές βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις.

Τα Λευκά Όρη ασπρίζουν στις αρχές του Νοέμβρη από χιόνι που διατηρείται μέχρι το τέλος του Μάη. Η Άνοιξη είναι μικρότερης διάρκειας και αρχίζει από τον Απρίλιο και διαρκεί μέχρι τα μέσα Μαΐου, αλλά είναι συνήθως ξηρή με ελάχιστες βροχοπτώσεις. Το Καλοκαίρι είναι αρκετά ζεστό και ξηρό, ενώ οι ασθενείς άνεμοι μετριάζουν την αίσθηση της ζέστης. Το Φθινόπωρο είναι σχετικά υγρό και θερμό με ραγδαίες βροχές κατά τον Οκτώβρη και Νοέμβρη μήνα.[56]

## **5.3 Υδατικό δυναμικό Ν. Χανίων**

Ο Νομός Χανίων διαθέτει ένα σημαντικό υδατικό δυναμικό που οφείλεται τόσο στο μεγάλο ετήσιο ύψος βροχής του, όσο και κυρίως στην ύπαρξη του σημαντικού ορεινού συγκροτήματος των Λευκών Ορέων που δομούνται κατά κύριο λόγο από ανθρακικούς υδροπέρατους σχηματισμούς.

Τα ανθρακικά πετρώματα των Λευκών Ορέων είναι έντονα τεκτονισμένα και καρστικοποιημένα, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο ποσοστό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που πέφτει σ' αυτά να κατεισδύει και στη συνέχεια να κινείται υπόγεια και να εμφανίζει περιμετρικά σε πηγές γλυκού νερού, ενώ παράλληλα δημιουργεί σημαντικούς υπόγειους υδροφορείς. Έτσι, με χονδρική εκτίμηση στο Ν. Χανίων μόνο στη Βόρεια παραλία 600 εκατομμύρια m<sup>3</sup> νερού κινούνται ετήσια επιφανειακά προς τη θάλασσα και άλλα 600 εκατομμύρια m<sup>3</sup> εισδύουν στους περατούς γεωλογικούς σχηματισμούς των Λευκών Ορέων και στη συνέχεια κινούνται υπόγεια με τελικό αποδέκτη τη θάλασσα της βόρειας παραλίας.

Παρά το παραπάνω σημαντικό διαθέσιμο Υδατικό δυναμικό, ο Νομός μας αντιμετωπίζει σε ορισμένες περιοχές του ελλείμματα μικρά ή μεγάλα, τόσο για τις σημερινές του ανάγκες, όσο και τις μελλοντικές, που κυρίως οφείλονται στην έλλειψη των κατάλληλων ενιαίων έργων που θα το αξιοποιούν και θα αντιμετωπίζουν την άνιση κατανομή του στο χώρο και το χρόνο. Οι κύριες χρήσεις του νερού στο Ν. Χανίων είναι η αγροτική, η ύδρευση και ο τουρισμός (αναψυχή). Ο Νομός Χανίων έχει σήμερα 150.000 μόνιμους κατοίκους και 50.000 τουριστικές κλίνες και επομένως οι υδατικές ανάγκες ύδρευσης μαζί με τις απώλειες του, είναι  $150 \text{ m}^3 / \text{κάτοικο} \times 200.000 = 30.000.000 \text{ m}^3$  ετησίως. Όσον αφορά την άρδευση, η καλλιεργούμενη έκταση στο Νομό μας, είναι 572.805 στρέμματα, από τα οποία, αρδεύονται 251.098, δηλαδή ποσοστό 44,0 % έναντι 37% στο σύνολο της χώρας μας και 42% στο σύνολο της Περιφέρειας Κρήτης. Οι ανάγκες επομένως για πλήρη κάλυψη των αναγκών μαζί με τις απώλειες, είναι  $400 \text{ m}^3 / \text{έτος} \times 500.000 = 200.000.000 \text{ m}^3$  ετησίως, ενώ η σημερινή ζήτηση κυμαίνεται στα 100 εκατομ. m<sup>3</sup> νερού. Συνολικά οι ανάγκες της επόμενης 35 ετίας, δηλαδή μέχρι το 2040 εκτιμώνται για πλήρη κάλυψη των αναγκών 200 εκατομμύρια για άρδευση και 60 εκατομμύρια για ύδρευση μόνιμων κατοίκων και τουριστικών κλινών, όπου ισούται με 260 εκατομ. κ. μ. νερού.[56]

## 5.4 Υλικά και μέθοδοι εργασίας

### 5.4.1 Διαδικασία και θέσεις δειγματοληψίας

Αναλυτικά τα σημεία δειγματοληψίας αναφέρονται παρακάτω καθώς και οι δορυφορικές θέσεις δειγματοληψίας των ποταμών από όπου ελήφθησαν δείγματα νερού, φαίνονται στις εικόνες που ακολουθούν:



**Εικόνα 5.2:** Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης, με τις θέσεις δειγματοληψίας (ποτάμια).[57]



**Εικόνα 5.3:** Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης (Σημείο: Κλαδισός ποταμός).[57]

### **Ποταμός Κλαδισός (γέφυρα πριν την εκροή του ποταμού στην θάλασσα):**

Ο Κλαδισός ποταμός είναι το σημείο που καταλήγουν όλα τα υπόλοιπα ποτάμια. Βρίσκεται σε αστική περιοχή και ως εκ τούτου υπάρχουν πολλές εκροές προς τον ποταμό. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ο ποταμός πηγάζει από τα Λευκά Όρη και συγκεντρώνει τα νερά των 4 παραποτάμων. Εκβάλλει στον κόλπο των Χανίων, δυτικά από την παραλία της Νέας Χώρας, συνεπώς η κατάληξή του είναι στην θάλασσα. Στις περισσότερες δειγματοληψίες το ποτάμι είναι φανερό ότι έχει αρκετό ευτροφισμό, εκτός από τον μήνα Φεβρουάριο, που ήταν η χρονική περίοδος με τις περισσότερες βροχοπτώσεις.

Χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν το σημείο :

Συντεταγμένες : 35°30'26.30'' Β 24°00'13.35'' Ε

Υψόμετρο : 3 m



**Εικόνα 5.4:** Δειγματοληψία ποταμού Κλαδισού στις 16 Απριλίου 2018.



**Εικόνα 5.5:** Άποψη ποταμού Κλαδισού 20 Φεβρουαρίου 2019 μετά από πολλές βροχοπτώσεις.



**Εικόνα 5.6:** Άποψη ποταμού Κλαδισού κατά την δειγματοληψία 21 Μαρτίου 2019.

### **Εισροή α' (απορροή από το φαράγγι Θερίσου):**

Το σημείο δειγματοληψίας Εισροή α' αποτελεί την εκροή παραποτάμου του Κλαδισού ο οποίος ξεκινά από το φαράγγι του Θερίσου. Το σημείο δειγματοληψίας επιλέχθηκε στα όρια του καταστήματος οικοδομικών υλικών Φραγκεδάκη όπου υπήρχε δυνατότητα ομαλής πρόσβασης στην κοίτη του. Το ποτάμι κατά την πρώτη περίοδο δειγματοληψίας 2018, είχε πολύ χαμηλή ροή λόγω περιορισμένων βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων και υπήρχε περίφραξη στα όρια της κοίτης. Στην επόμενη χειμερινή περίοδο δειγματοληψία, το νερό που έρρεε στο ποτάμι ήταν πολύ περισσότερο ενώ μετά τις έντονες βροχοπτώσεις που σημειώθηκαν στα Χανιά και το λιώσιμο του χιονιού, το ποτάμι στο πέρασμα του παρέσυρε και κατέστρεψε ακόμη και την παρόχθια ζώνη μαζί με την υφιστάμενη περίφραξη. Η συλλογή του δείγματος έγινε με δειγματολήπτη συλλογής νερού (με το κοντάρι και το δοχείο άντλησης).

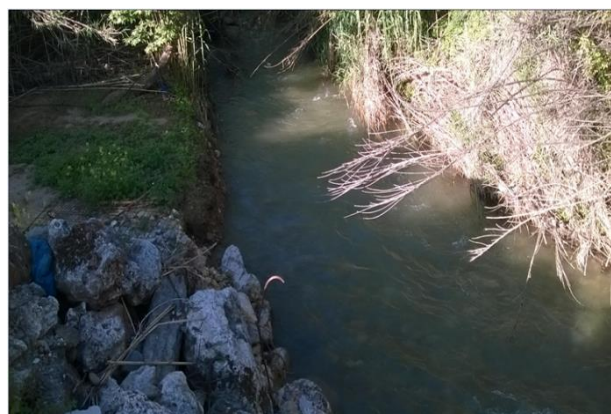
Χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν το σημείο :

Συντεταγμένες : 35°29'40.50''B 23°59'24.63'' E

Υψόμετρο : 24 m



**Εικόνα 5.7:** Άποψη παραποτάμου Εισροής α', κατά την δειγματοληψία 21 Μαρτίου 2019.



**Εικόνα 5.8:** Άποψη παραποτάμου Εισροής α', κατά την δειγματοληψία 9 Μαΐου 2019.

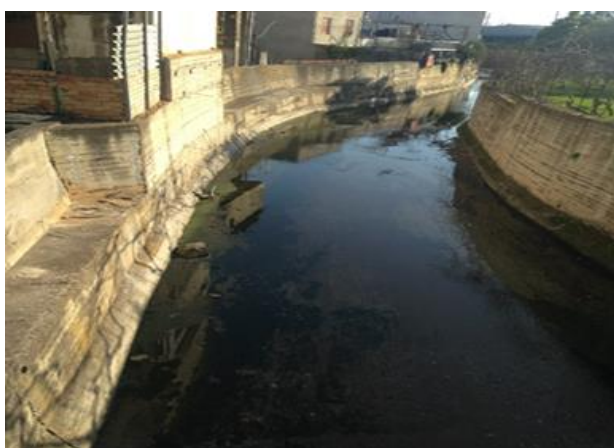
### Εισροή β' (απορροή ρέματος Βαμβακόπουλου):

Το σημείο δειγματοληψίας Εισροή β' αποτελεί την εκροή παραποτάμου του Κλαδισού που ξεκινά από την περιοχή Αγία Κυριακή, διασχίζει την περιοχή Βαμβακόπουλο και σε κάποιο σημείο ενώνεται με τον παραπόταμο του Θερίσου. Είναι το μόνο σημείο που παρουσιάζει τη μικρότερη ποσότητα νερού σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία. Η δειγματοληψία έγινε και σε αυτό το σημείο με την ρίψη πλαστικού δοχείου (κουβά).

Χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν το σημείο :

Συντεταγμένες : 35°29'43.19''B 23°59'22.47'' E

Υψόμετρο : 23 m



**Εικόνα 5.9:** Άποψη παραποτάμου Εισροής β' κατά την δειγματοληψία 24 Ιανουαρίου 2018.



**Εικόνα 5.10:** Άποψη παραποτάμου Εισροής β' κατά την δειγματοληψία 2 Σεπτεμβρίου 2019.

**Ένωση α' + β' (μετά την μίξη των 2 προηγούμενων εισροών):**

Το σημείο δειγματοληψίας Ένωση α' + β' είναι το σημείο ένωσης των δύο παραπόταμων του Κλαδισού, Εισροή α' και της Εισροής β'. Βρίσκεται κάτω από γεφυράκι και η πρόσβαση ήταν εφικτή. Η δειγματοληψία γινόταν απευθείας με το δοχείο συλλογής νερού, όταν το ποτάμι έτρεχε, ελάχιστα ή με το κοντάρι και το δοχείο συλλογής (Εικόνα 5.13). Η συλλογή του δείγματος γινόταν από την μέση του ποταμού, ώστε να υπάρχει ανάμειξη και των δύο παραπόταμων.

Χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν το σημείο :

Συντεταγμένες : 35°29'44.84'' Β 23°59'28.82'' Ε

Υψόμετρο : 22 m



**Εικόνα 5.11:** Άποψη παραποτάμου Ένωσης α' + β' κατά την δειγματοληψία 2 Σεπτεμβρίου 2018.



**Εικόνα 5.12:** Άποψη παραποτάμου Ένωσης α' + β' κατά την δειγματοληψία 21 Μαρτίου 2019.



**Εικόνα 5.13 :** Δειγματοληψία παραπόταμου Ένωση α'+β' στις 4 Ιουνίου 2019

### **Εισροή Αγίας Βαρβάρας (απορροή από φαράγγι Αγίας Βαρβάρας):**

Η συλλογή δείγματος νερού στο σημείο δειγματοληψίας Αγία Βαρβάρα έγινε με ειδικό πλαστικό δοχείο (κουβά) για την συλλογή του νερού. Το σημείο αυτό είναι δυσπρόσιτο λόγω της πυκνής βλάστησης (κάλαμοι) γύρω του. Η τελευταία δειγματοληψία δεν πραγματοποιήθηκε εξαιτίας του ότι έτρεχε νερό ύδρευσης από τον σωλήνα στον ποταμό και ως εκ τούτου δεν θα υπήρχε αντιπροσωπευτικός προσδιορισμός των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού του ποταμού.

Χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν το σημείο:

Συντεταγμένες : 35°29'52.36''B 24°00'09.49'' E

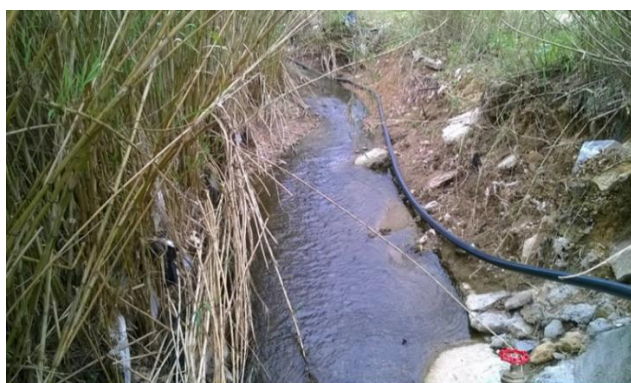
Υψόμετρο :19 m



**Εικόνα 5.14:** Άποψη παραποτάμου Αγίας Βαρβάρας κατά την δειγματοληψία 24 Ιανουαρίου 2018.



**Εικόνα 5.15:** Άποψη παραποτάμου Αγίας Βαρβάρας κατά την δειγματοληψία 2 Σεπτεμβρίου 2019.

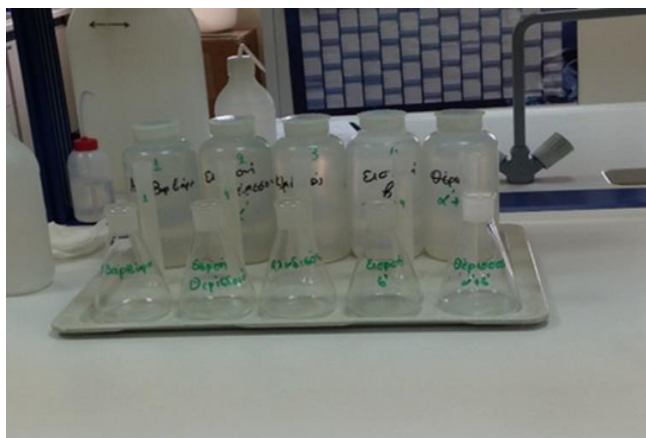


**Εικόνα 5.16:** Άποψη παραποτάμου Αγίας Βαρβάρας κατά την δειγματοληψία 2 Μαΐου 2019.

Οι δειγματοληψίες για τον ποιοτικό έλεγχο των επιφανειακών νερών του Κλαδισού και των παραποτάμων του παρακολουθήθηκαν για περίπου 1,5 χρόνο, από τον Ιανουάριο του 2018 έως και τον Σεπτέμβριο του 2019. Οι δειγματοληψίες δεν γίνονταν ακριβώς με χρονική απόσταση ενός μήνα λόγω του ότι μεσολαβούσε και καλοκαίρι (θερινή περίοδος), όπου η ποσότητα του νερού των ποταμών μειώνεται δραματικά ή σε κάποιες περιπτώσεις οι ποταμοί ξηραίνονται.

Η δειγματοληψία ξεκινούσε στις 8 π.μ. και η διαδρομή για την συλλογή των δειγμάτων ήταν η εξής : ποταμός Κλαδισός, Εισροή β', Εισροή Θερίσου α', Ένωση α'+ β' και τέλος η Εισροή Αγίας Βαρβάρας. Τα δείγματα που συλλέγονταν αναλύονταν στο Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Υδατικών και Εδαφικών Πόρων του τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, του ΤΕΙ Κρήτης και προσδιορίζονταν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους. Μία μέρα πριν από κάθε δειγματοληψία συγκεντρωνόταν ο απαραίτητος εξοπλισμός. Τα δείγματα νερού συλλέγονταν σε αποστειρωμένα πλαστικά μπουκάλια με όγκο 1 λίτρο (Εικόνα 5.17). Σε κάθε μπουκάλι αναγράφονταν τα πλήρη στοιχεία του δείγματος που περιείχε και τοποθετούνταν σε φορητό ψυγείο 4°C.

Η συλλογή των δειγμάτων νερού από τα ποτάμια γινόταν είτε με την ρίψη πλαστικού δοχείου (κουβά) από γέφυρα, είτε απευθείας από την όχθη με κατάλληλο δειγματολήπτη συλλογής νερού.



**Εικόνα 5.17:** Μπουκάλια συλλογής δειγμάτων, κωνικές φιάλες, ογκομετρικοί κύλινδροι.

## 5.5 Μέθοδοι ανάλυσης

### 5.5.1 Μέτρηση οξύτητας pH

Ο προσδιορισμός του **pH** γίνεται ηλεκτρομετρικά με την χρήση ειδικού οργάνου γνωστό ως πεχαμέτρο (Εικόνα 5.18). Είναι εφοδιασμένο με κατάλληλο ηλεκτρόδιο ειδικά για τη μέτρηση του pH, στο ηλεκτρόδιο υπάρχει επίσης και ενσωματωμένο θερμομέτρο με το



**Εικόνα 5.18:** pH-μετρο HACHsensionTM156.

οποίο γίνεται ταυτόχρονη μέτρηση και της θερμοκρασίας του προς εξέταση δείγματος. Αρχικά βγάζουμε το ειδικό ηλεκτρόδιο υάλου καλομέλανος που είναι τοποθετημένο σε ειδικό δοχείο φύλαξης που περιέχει ρυθμιστικό διάλυμα (KCl) για να μην αφυδατώνεται, το ξεπλένουμε καλά με απιονισμένο νερό και το σκουπίζουμε απαλά με απορροφητικό χαρτί. Πριν από κάθε μέτρηση όμως πρέπει να γίνεται βαθμονόμηση του πεχαμέτρου, η βαθμονόμηση γίνεται σε δύο τουλάχιστον τιμές. Αφού γίνει η βαθμονόμηση, βυθίζουμε το ηλεκτρόδιο σε ποτήρι



ζέσεως που περιέχει το δείγμα νερού που θέλουμε να εξετάσουμε σε ποσότητα τόση ώστε να καλύπτονται τα ευαίσθητα μέρη του ηλεκτροδίου.

Ο ρυθμός ανάδευσης πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην επιτρέπει τη μεταφορά αέρα από την ατμόσφαιρα στο δείγμα (σπηλαιώση). Οι ικανοποιητικές συνθήκες ανάδευσης φαίνονται από τη σταθερότητα της ένδειξης του οργάνου. Αφού σταθεροποιηθεί η τιμή την καταγράφουμε. Στη συνέχεια το ηλεκτρόδιο ξεπλένεται με απιονισμένο νερό σκουπίζεται μαλακά με απορροφητικό χαρτί και το ηλεκτρόδιο βυθίζεται σε ποτήρι ζέσεως που περιέχει απιονισμένο νερό. Στο απιονισμένο βυθίζεται μόνο όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σύντομα το ηλεκτρόδιο αλλιώς φυλάσσεται στο ειδικό δοχείο.[34]

### 5.5.2 Αγωγιμότητα- TDS

Η μέτρηση της **ηλεκτρικής αγωγιμότητας** και των **διαλυμένων στερεών (TDS)** γίνεται ηλεκτρομετρικά με χρήση πολυόργανου (HACH sension TM156), (Εικόνα 5.19), είναι το ίδιο όργανο που χρησιμοποιείται για την μέτρηση του pH αλλά με άλλο ηλεκτρόδιο και λειτουργεί ως αγωγιμόμετρο. 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 το αντίστοιχο πλήκτρο του οργάνου.[34]



**Εικόνα 5.19:** Αγωγιμόμετρο HACHsensionTM156.

### 5.5.3 Θολερότητα

Η πιο σύγχρονη μέθοδος για τον προσδιορισμό της **θολερότητας** είναι η νεφελομετρία ή νεφελομετρική μέθοδος η οποία ενδείκνυται για χαμηλές τιμές θολερότητας και μπορεί να προσδιοριστεί σε οποιοδήποτε δείγμα αρκεί να μην περιέχει έγχρωμα συστατικά, φυσαλίδες αερίων και ευμεγέθη στερεά ή σωματίδια που καθιζάνουν γρήγορα. Ο προσδιορισμός της θολερότητας με αυτή τη μέθοδο γίνεται με ειδικά όργανα γνωστά ως νεφελόμετρα ή θολερόμετρα (Lovibond CR3210), (Εικόνα 5.20). Πριν από τη μέτρηση, γίνεται βαθμονόμηση του θολερόμετρου με πρότυπα διαλύματα που διατίθενται μαζί με το όργανο, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Στη συνέχεια, έχοντας ανοιχτή τη συσκευή, γεμίζουμε την



**Εικόνα 5.20:** Θολερόμετρο Lovibond CR3210.

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 η οποία εμφανίζεται στην οθόνη του θολερόμετρου. 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.[40]

### 5.5.4 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)

Αρχικά μετριέται το pH του δείγματος αν είναι μεταξύ 6,5-7,5, που είναι η καλύτερη τιμή pH για το test του BOD. Για αυτό τον λόγο θα πρέπει να ρυθμιστεί το pH του δείγματος εντός του εύρους. Τα δείγματα μεταφέρονται σε κωνικές φιάλες των 500 ml. Στη συνέχεια προστίθεται μια μαγνητική ράβδος και τοποθετείται η φιάλη σε αναδευτήρα, ο οποίος τίθεται σε λειτουργία ώστε να μετρηθεί και να ρυθμιστεί το pH στο επιθυμητό εύρος τιμών με τη χρήση πεχαμέτρου. Αν το pH έχει μεγαλύτερη τιμή από την επιθυμητή, τότε αυτό ρυθμίζεται με την προσθήκη διαλύματος HCl (0,1 N) με σταγονόμετρο. Αν όμως η τιμή είναι μικρότερη τότε ρυθμίζεται με την προσθήκη διαλύματος NaOH (0,1 N). Αφού ολοκληρωθεί η ρύθμιση του pH, μεταγγίζετε το δείγμα σε μια γυάλινη σφαιρική φιάλη χωρητικότητας 428 ml, μέχρι να ξεχειλίσει. Με την βοήθεια ενός χωνιού αδειάζουμε το περιεχόμενο δείγμα μέσα στην ειδική σκουρόχρωμη φιάλη, με μία απότομη κίνηση προς αποφυγή απωλειών. Αμέσως μετά προστίθεται μια μαγνητική ράβδος ανάδευσης και στο στόμιο της σκουρόχρωμης φιάλης BOD προστίθεται μια πλαστική θήκη από καουτσούκ, μέσα στην οποία προσθέτουμε 2 σταγόνες διαλύματος KOH 45% ή NaOH 45%, (Εικόνα 5.21).



**Εικόνα 5.21:** Κωνική 428 ml, φιάλες BOD, χωνί διήθησης, θήκη καουτσούκ.

Στη συνέχεια οι φιάλες μεταφέρονται σε σκοτεινό θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας (Εικόνα 5.22) για 30 min χωρίς τις κεφαλές (ψηφιακός αισθητήρας), όπου πραγματοποιείται συνεχής ανάδευση με την βοήθεια μαγνητικού αναδευτήρα. Μετά το πέρας της μισής ώρας, οι κεφαλές κλείνονται ερμητικά διότι το σύστημα πρέπει να είναι εντελώς αεροστεγές και ενεργοποιούμε τις κεφαλές BOD. Οι φιάλες παραμένουν στον θάλαμο στους 20°C όπου γίνεται συνεχής ανάδευση για 5 ημέρες. Η κεφαλή με τον ψηφιακό αισθητήρα του BOD καταγράφει μία μέτρηση κάθε 24 ώρες, η οποία αποθηκεύεται αυτόματα στη μνήμη. Μετά από 5 ημέρες οι τιμές έχουν αποθηκευτεί στη μνήμη του αισθητήρα και εμφανίζονται με χρονολογική σειρά (Εικόνα 5.23). [40]



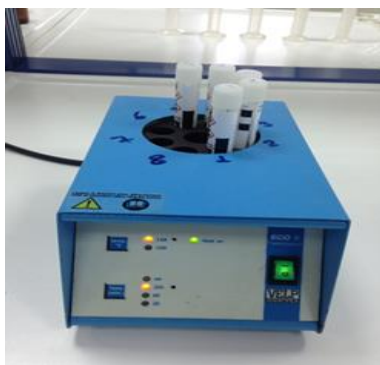
**Εικόνα 5.22:** Σκοτεινός θάλαμος σταθερής θερμοκρασίας.



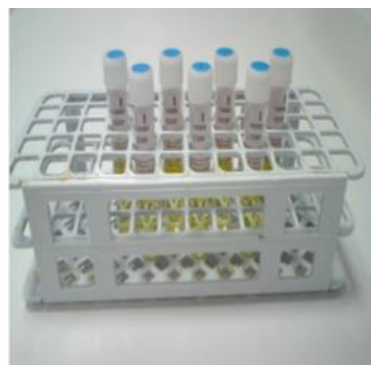
**Εικόνα 5.23:** Ένδειξη κεφαλής μετά το πέρας 5 ημερών.

### 5.5.5 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)

Ο προσδιορισμός του COD γίνεται με ημιποσοτική φωτομετρική μέθοδο, όπου χρησιμοποιείται έτοιμο kit μέτρησης (Cell Test MERCK). Σε κάθε λοιπόν έτοιμο φιαλίδιο του kit-test που περιέχει ήδη μίγμα αντιδραστηρίων, προστίθενται προσεκτικά με σιφώνι 3 ml δείγματος νερού. Πρέπει να υπάρχει μεγάλη προσοχή των δειγμάτων κατά την ανάδευση τους στον παλινδρομικό αναδευτήρα, γιατί τα αντιδραστήρια είναι ισχυρά οξειδωτικά και παράγεται θερμότητα. Μετά την ανάδευση τα φιαλίδια τοποθετούνται στον θερμοαντιδραστήρα (Εικόνα 5.24) για 120 min (χρόνος χώνευσης 2 ώρες) στους 148°C (θερμοκρασία χώνευσης).



**Εικόνα 5.24:**  
Θερμοαντιδραστήρας.



**Εικόνα 5.25:** Πλέγμα στήριξης με φιαλίδια COD.

Ο θερμοαντιδραστήρας με ηχητικό σήμα, ειδοποιεί ότι έχει περάσει ο απαιτούμενος χρόνος χώνευσης και τα φιαλίδια τοποθετούνται σε πλέγμα στήριξης (Εικόνα 5.25), όπου αφήνονται για 10 min περίπου, μέχρι να έρθουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Μετά τα φιαλίδια είναι έτοιμα για την μέτρηση του COD, στο φωτόμετρο (Εικόνα 5.26). Για να γίνει η μέτρηση ανοίγουμε το καπάκι του φωτόμετρου, ώστε να τεθεί σε λειτουργία και να διεξάγει αυτόματα έναν αυτοέλεγχο (self-check) του συστήματος επιλέγοντας 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, κατόπιν εμφανίζεται η ένδειξη «measuring» (μέτρηση) και το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην οθόνη.[40]



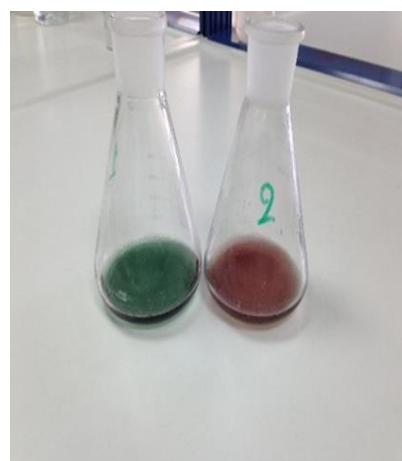
**Εικόνα 5.26:** Φωτόμετρο MERCK Spectroquant NOVA 60.

### 5.5.6 Σκληρότητα

Σε μια κωνική φιάλη των 250 ml μεταφέρονται 25 ml δείγματος νερού με την βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου. Αμέσως μετά προστίθεται 1 ml διαλύματος αμμωνίας NH<sub>3</sub> (το pH γίνεται 10) με την βοήθεια σιφωνίου στην απαγωγό εστία καθώς και μία ταμπλέτα σκληρότητας μέσα στο δείγμα με την χρήση λαβίδας. Αφού διαλυθεί εντελώς η ταμπλέτα με κυκλική ανάδευση, το διάλυμα χρωματίζεται σκούρο βυσσινί και ξεκινάει η ογκομέτρηση του δείγματος με το πρότυπο διάλυμα E.D.T.A 0,01 M. Πρίν ξεκινήσει η ογκομέτρηση καταγράφεται η αρχική ένδειξη του όγκου του διαλύματος στην προχοΐδα. Έπειτα πραγματοποιώντας γρήγορη και έντονη ανάδευση, ογκομετρείται το διάλυμα, προσθέτοντας αργά σε σταγόνες το πρότυπο διάλυμα E.D.T.A έως ότου το δείγμα από βυσσινί να πάρει ένα σκούρο πράσινο χρώμα (Εικόνα 5.28).



**Εικόνα 5.27:** Αντιδραστήρια για τον προσδιορισμό της σκληρότητας.



**Εικόνα 5.28:** Αλλαγή χρώματος από βυσσινί σε σκούρο πράσινο χρώμα.

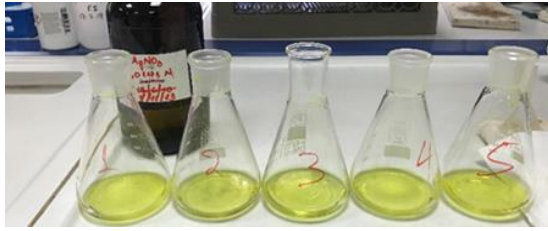
Σημειώνεται τότε η τελική τιμή της ποσότητας του E.D.T.A στην προχοΐδα. Η αρχική τιμή αφαιρείται από την τελική τιμή και έτσι υπολογίζεται η ποσότητα E.D.T.A που έχει καταναλωθεί. Η ολική σκληρότητα ανθρακικού ασβεστίου υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\text{Σκληρότητα (mg/LCaCO}_3\text{)} = \frac{\text{V1} \cdot 1000}{\text{V2}}$$

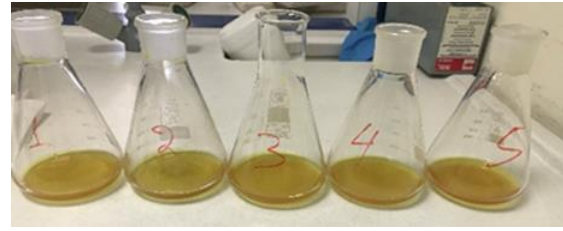
Όπου V1: ml πρότυπου διαλύματος E.D.T.A 0,01 M που καταναλώθηκαν και V2: ml δείγματος νερού.[40]

### 5.5.7 Χλωριόντα (Cl<sup>-</sup>)

Σε μία κωνική φιάλη των 250 ml τοποθετούνται 25 ml δείγματος νερού και στη συνέχεια με ένα σιφώνι προστίθεται 1 ml χρωμικού καλίου (K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> 2%). Το διάλυμα χρωματίζεται κίτρινο (Εικόνα 5.29). Έπειτα το διάλυμα ογκομετρείται με διάλυμα AgNO<sub>3</sub> 0,01N μέχρι τελικού σημείου, όπου παρατηρείται αλλαγή του χρώματος από κίτρινο σε πορτοκαλί (Εικόνα 5.30). Πρίν ξεκινήσει η ογκομέτρηση σημειώνεται η αρχική τιμή της ποσότητας του AgNO<sub>3</sub> στην προχοΐδα και μόλις γίνει η αλλαγή του χρώματος σημειώνεται και η τελική. Η αρχική τιμή αφαιρείται από την τελική τιμή και έτσι υπολογίζεται η ποσότητα AgNO<sub>3</sub> που καταναλώθηκε.



**Εικόνα 5.29:** Αρχικό στάδιο χρώματος χλωριόντων.



**Εικόνα 5.30:** Τελικό στάδιο αλλαγής χρώματος χλωριόντων.

$$\text{Χλωριόντα (mg/L)} = \frac{(A-B) \cdot N \cdot 35.450}{C}$$

C

Όπου A = ml διαλύματος AgNO<sub>3</sub> που καταναλώθηκαν, B= ml διαλύματος AgNO<sub>3</sub> που καταναλώθηκαν για το λευκό N = η κανονικότητα του διαλύματος AgNO<sub>3</sub> και C= ml δείγματος.

### 5.5.8 Νιτρικά ιόντα (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Για τον προσδιορισμό των **νιτρικών ιόντων** χρησιμοποιείται Spectroquant Nitratetest MERCK 1.09713.0001 (kit-test) μια ημιποσοτική μέθοδος προσδιορισμού με εύρος μέτρησης 0,10-25,0 mg/L NO<sub>3</sub>-N.[9]

Παίρνουμε από το αντιδραστήριο NO<sub>3</sub>-1 όγκο 4 ml με ένα σιφώνι των 5 ml και το αδειάζουμε σε ένα κενό φιαλίδιο. Στη συνέχεια με ένα άλλο σιφώνι προσθέτουμε 0,5 ml από το δείγμα, χωρίς να πραγματοποιηθεί ανάδευση και με ένα άλλο σιφώνι προστίθεται 0,5 ml από το αντιδραστήριο NO<sub>3</sub>-2. Κλείνουμε καλά το δοκιμαστικό σωλήνα και το αναδεύουμε σε παλινδρομικό αναδευτήρα (Εικόνα 5.31). Σε αυτή τη φάση της αντίδρασης πρέπει να είμαστε αρκετά προσεκτικοί διότι ο δοκιμαστικός σωλήνας θερμαίνεται καθώς η αντίδραση είναι εξώθερμη. Αφήνουμε αμέσως μετά την ανάδευση, τον δοκιμαστικό σωλήνα για 10 min να ηρεμήσει. Μετά τη λήξη των 10 min μεταφέρουμε το διάλυμα σε ορθογώνια γυάλινη κυψελίδα των 10 ή 50 mm την οποία βάζουμε στο φωτόμετρο και παίρνουμε την μέτρηση.[40]



**Εικόνα 5.31:** Παλινδρομικός αναδευτήρας.

### 5.5.9 Αμμωνιακά ιόντα (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

Για τον προσδιορισμό των **αμμωνιακών ιόντων**, χρησιμοποιείται το Ammonium reagent test MERCK 14752 (kit-test) μια ημιποσοτική μέθοδος προσδιορισμού με εύρος μέτρησης 0,05-3,00 mg/L NH<sub>4</sub> -N και η μέτρηση προσδιορίζεται φωτομετρικά. Με ένα σιφώνι μεταφέρουμε 5 ml του εξεταζόμενου δείγματος σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα και προσθέτουμε 0,6 ml από το αντιδραστήριο NH<sub>4</sub>-1B. Αφού έχει προστεθεί το αντιδραστήριο ο δοκιμαστικός σωλήνας αναδεύεται σε παλινδρομικό αναδευτήρα. Προστίθεται μια δόση του αντιδραστηρίου NH<sub>4</sub>-2B και ακολουθεί ανάδευση για να διαλυθεί το στερεό αντιδραστήριο, μετά ο δοκιμαστικός σωλήνας αφήνεται σε stand (πλέγμα στήριξης) σε ηρεμία για 5 min, για να πραγματοποιηθεί η χημική αντίδραση. Στη συνέχεια προστίθενται 4 δόσεις (σταγόνες) του αντιδραστηρίου NH<sub>4</sub>-3B και ακολουθεί ανάδευση. Ο σωλήνας διατηρείται σε ηρεμία για ακόμη

5 min και ακολουθεί η μέτρηση της απορρόφησης σε φωτόμετρο (MERCK Spectroquant® NOVA 60).[40]

#### **5.5.10 Φωσφορικά ιόντα ( $\text{PO}_4^{-3}$ )**

Για τον προσδιορισμό των **φωσφορικών ιόντων** χρησιμοποιείται το Phosphate Reagent Test MERCK 14848 (kit-test) μια ημιποσοτική μέθοδος προσδιορισμού με εύρος μέτρησης 0,05-5,00 mg/L  $\text{PO}_4$  -P και η μέτρηση προσδιορίζεται φωτομετρικά. Με ένα σιφόνι μεταφέρουμε 5 ml του εξεταζόμενου δείγματος σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα στη συνέχεια προσθέτουμε 5 σταγόνες από το αντιδραστήριο  $\text{PO}_4$ -1A. Αφού έχει προστεθεί το αντιδραστήριο ο δοκιμαστικός σωλήνας αναδεύεται σε παλινδρομικό αναδευτήρα. Προστίθεται μια δόση του αντιδραστηρίου  $\text{PO}_4$ -2A με μικρό κουταλάκι. Ακολουθεί ανάδευση έως ότου διαλυθεί το ίζημα, μετά ο δοκιμαστικός σωλήνας αφήνεται σε stand (πλέγμα στήριξης) σε ηρεμία για 5 min (χρόνος αντίδρασης) και μετά μεταφέρουμε προσεκτικά το διάλυμα στην κυψελίδα των 10 ή 50 mm. Ακολουθεί η μέτρηση της απορρόφησης σε φωτόμετρο (MERCK Spectroquant® NOVA 60).[40]

#### **5.5.11 Θειϊκά ιόντα ( $\text{SO}_4^{-2}$ )**

Για τον προσδιορισμό των **θειϊκών ιόντων** χρησιμοποιείται το Sulfate Cell Test MERCK 14411 (kit-test) μια ημιποσοτική μέθοδος προσδιορισμού με εύρος μέτρησης 20-300 mg/L.[40]

#### **A' Μέθοδος.**

Παίρνουμε από το δείγμα όγκο 2,5 ml με ένα σιφόνι των 5 ml και το αδειάζουμε σε ένα κενό φιαλίδιο. Στη συνέχεια προσθέτουμε 2 σταγόνες από το αντιδραστήριο  $\text{SO}_4$ -1 και ανακινούμε το φιαλίδιο. Μετά προσθέτουμε 1 κουταλάκι από το αντιδραστήριο  $\text{SO}_4$ -2 και αφού το αναδεύσουμε, το αφήνουμε στο υδατόλουτρο (Εικόνα 5.32) για 5min στους 40°C. Μετά το πέρας των 5 min προσθέτουμε 2,5 ml από το αντιδραστήριο  $\text{SO}_4$ -3 και το αναδεύουμε. Στη συνέχεια φιλτράρουμε όλο το περιεχόμενο του φιαλιδίου με απλό ηθμό σε άλλο φιαλίδιο. Προσθέτουμε 4 σταγόνες από το αντιδραστήριο  $\text{SO}_4$ -4 και το αναδεύουμε. Αφήνουμε το φιαλίδιο στο υδατόλουτρο για άλλα 7 min στους 40°C. Μετά το πέρας του χρόνου επώασης μετράμε το δείγμα στο φωτόμετρο με τη βοήθεια κυψελίδας.[40]



**Εικόνα 5.32:** Υδατόλουτρο.

#### **B' Μέθοδος.**

Κατά τη διάρκεια που πραγματοποιούνταν οι δειγματοληψίες έγινε αλλαγή μεθόδου στα θειϊκά ιόντα από τον κατασκευαστή (Merck) και την παραγωγή νέου test kit. Αρχικά προστίθεται με ένα σιφόνι 0,5 ml από το αντιδραστήριο  $\text{SO}_4$ -1 σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα.

Στη συνέχεια μεταφέρουμε προσεκτικά 5,0 ml από το δείγμα νερού και το αναδεύουμε. Αμέσως μετά προστίθεται μια δόση του αντιδραστήριου SO<sub>4</sub>-2 και ακολουθεί ανάδευση έως ότου διαλυθεί το αντιδραστήριο. Στο τέλος ο δοκιμαστικός σωλήνας αφήνεται σε ηρεμία για ακριβώς 2 min (χρόνος αντίδρασης) και αμέσως μετά μετράμε το δείγμα στο φωτόμετρο.[44]

### **5.5.12 Φαινόλες**

Για τον προσδιορισμό των **φαινόλων** χρησιμοποιείται Spectroquant Phenol test MERCK 1.00856.0001 (kit-test) μια μέθοδος προσδιορισμού με εύρος μέτρησης 0,10-5,00 mg/L. Σε ρυθμιστικό διάλυμα, παρουσία οξειδωτικού παράγοντα η φαινόλη και οι ορθό- και μετα - υποκατεστημένες ενώσεις της αντιδρούν με 4-αμινοαντιπυρίνη για να σχηματίσουν μία ερυθρή ένωση η οποία προσδιορίζεται φωτομετρικά,[10]. Με ένα σιφώνι μεταφέρουμε 10 ml του εξεταζόμενου δείγματος σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα, στη συνέχεια προσθέτουμε 1 ml από το αντιδραστήριο Ph-1 και αναδεύουμε. Εν συνεχεία προστίθεται μια δόση του αντιδραστήριου Ph-2 με μικρό κουταλάκι και ακολουθεί ανάδευση μέχρι να διαλυθεί πλήρως το αντιδραστήριο. Αμέσως μετά προσθέτουμε μια δόση του αντιδραστήριου Ph-3 και αναδεύουμε ξανά μέχρι να διαλυθεί πλήρως το αντιδραστήριο. Τέλος ο δοκιμαστικός σωλήνας παραμένει στο stand για 10 min (χρόνος αντίδρασης), μετά το πέρας του χρόνου μετράμε το δείγμα στο φωτόμετρο με τη βοήθεια κυψελίδας.[44]

### **5.5.13 Απορρυπαντικά**

#### **Anionic**

Για τον προσδιορισμό των **ανιονικών απορρυπαντικών** χρησιμοποιείται το Spectroquant Surfactants (anionic) test MERCK 1.02552.0001 (kit-test) μια μέθοδος προσδιορισμού με εύρος μέτρησης 0,05-2,00 mg/L SDSA (calculated assodium 1- dodecane sulfonate). Σε κάθε φιαλίδιο του kit-test προστίθενται προσεκτικά με σιφώνι 5 ml δείγματος νερού. Χωρίς να γίνει ανάμειξη των περιεχομένων προστίθενται 2 σταγόνες από το αντιδραστήριο T-1K. Αφού προστεθεί το αντιδραστήριο, βιδώνετε το φυαλίδιο και αναδεύεται έντονα για 30 sec. Ο δοκιμαστικός σωλήνας παραμένει στο stand για 10 min (χρόνος αντίδρασης), αμέσως μετά στροβιλίζεται το φυαλίδιο πριν από τη μέτρηση αν η κατώτερη φάση είναι θολή, θερμαίνεται εν συντομία το φιαλίδιο με το χέρι και μετριέται φωτομετρικά. [44]

#### **Cationic**

Για τον προσδιορισμό των **κατιονικών απορρυπαντικών** χρησιμοποιείται το Spectroquant Surfactants (cationic) test MERCK 1.01764.0001 (kit-test) μια μέθοδος προσδιορισμού με εύρος μέτρησης 0,05-1,50 mg/L. Σε κάθε φιαλίδιο του kit-test προστίθενται προσεκτικά με σιφώνι 5 ml δείγματος νερού. Χωρίς να γίνει ανάμειξη των περιεχομένων προστίθενται 0,5 ml από το αντιδραστήριο T-1K. Αφού προστεθεί το αντιδραστήριο, βιδώνετε το φυαλίδιο και αναδεύεται έντονα για 30 sec. Ο δοκιμαστικός σωλήνας παραμένει στο stand για 5 min (χρόνος αντίδρασης), αμέσως μετά στροβιλίζεται το φυαλίδιο πριν από τη μέτρηση αν η κατώτερη φάση είναι θολή, θερμαίνεται εν συντομία το φιαλίδιο με το χέρι και μετριέται φωτομετρικά. [44]

#### **Nonionic**

Για τον προσδιορισμό των **μη ιονικών απορρυπαντικών** χρησιμοποιείται το Spectroquant Surfactants (nonionic) test MERCK 1.01787.0001 (kit-test) μια μέθοδος προσδιορισμού με εύρος μέτρησης 0,10-7,50 mg/L. Σε κάθε φιαλίδιο του kit-test προστίθενται προσεκτικά με σιφώνι 4 ml δείγματος νερού. Αφού προστεθεί το δείγμα, βιδώνετε το φυαλίδιο και αναδεύεται έντονα για 1 min. Ο δοκιμαστικός σωλήνας παραμένει στο stand για 2 min (χρόνος αντίδρασης), αμέσως μετά στροβιλίζεται το φυαλίδιο πριν από τη μέτρηση και μετριέται φωτομετρικά. [44]

#### **5.5.14 Προσδιορισμός των συγκεντρώσεων K-Na-Ca**

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό των συγκεντρώσεων καλίου (K), νατρίου (Na) και ασβεστίου (Ca) χρησιμοποιείται η φλογοφωτομετρική μέθοδος (Sherwood Flame Photometer). Αρχικά, φιλτράρονται τα δείγματα (με φίλτρο 40  $\mu\text{m}$ ) που είναι προς μέτρηση και τοποθετούνται σε πλαστικά φιαλίδια. Θέτουμε σε λειτουργία το φλογοφωτόμετρο (Εικόνα 5.33) και το όργανο αφήνεται για 30 min, ώστε να σταθεροποιηθεί η φλόγα και έπειτα πραγματοποιείται η βαθμονόμηση του (ανάλογα με το στοιχείο που θέλουμε να αναλύσουμε). Για την σωστή βαθμονόμηση έχουν φτιαχτεί κατάλληλα πρότυπα ανάλογα με τη μέθοδο :

- Ca : 0-100 ppm
- Na : 0-10 ppm
- K : 0-10 ppm

Από διακόπτη, στο πάνω μέρος του φλογοφωτόμετρου, επιλέγεται το στοιχείο που θα πραγματοποιηθεί η μέτρηση ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$  ή  $\text{K}^{+}$ ). Έπειτα, ρυθμίζεται το εύρος των τιμών της ουσίας που πρόκειται να μετρηθεί και ορίζεται η τιμή μηδέν με τη χρήση απιονισμένου νερού (τυφλό διάλυμα). Το δείγμα εισάγεται με αναρρόφηση και ψεκάζεται στη φλόγα του οργάνου. Η φλόγα με την σειρά της χρωματίζεται με ένα συγκεκριμένο χρώμα που είναι χαρακτηριστικό για κάθε στοιχείο. Ακολουθεί η ανάλυση φάσματος εκπομπής και η συσκευή υπολογίζει την συγκέντρωση του στοιχείου. Με την χρήση της αντίστοιχης καμπύλης αναφοράς προσδιορίζεται η πραγματική συγκέντρωση του κάθε στοιχείου.[40]



**Εικόνα 5.33:** Φλογοφωτόμετρο (Sherwood flame Photometer 410).

#### **5.5.15 Προσδιορισμός μικροβιολογικού φορτίου**

Ο προσδιορισμός του **μικροβιολογικού φορτίου** πραγματοποιείται με τη μέθοδο των μεμβρανών. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην κατακράτηση σε μεμβράνη – φίλτρο όλων των μικροοργανισμών με μέγεθος μεγαλύτερο των 0,45  $\mu\text{m}$  (διάμετρος πόρου της μεμβράνης – φίλτρου), που περιέχονται στο διηθούμενο δείγμα και ανάπτυξη των μικροοργανισμών (βακτηρίων) σε αποικίες, με την χρησιμοποίηση εκλεκτικού υποστρώματος και την επώαση τους σε κατάλληλη θερμοκρασία. Ο προσδιορισμός γίνεται με απευθείας καταμέτρηση των αναπτυσσόμενων (σε περίπτωση θετικού αποτελέσματος) αποικιών στη μεμβράνη και αναγωγή του αριθμού τους στον όγκο του δείγματος που διηθήθηκε. Πρίν όμως πραγματοποιηθεί η μέθοδος των μεμβρανών, πρέπει πρώτα να παρασκευαστούν τα θρεπτικά υποστρώματα τα οποία είναι διαφορετικά για το κάθε είδος των μικροοργανισμών. Η διαδικασία παρασκευής για το κάθε είδος θρεπτικού υποστρώματος έχει ως εξής :



## Παρασκευή θρεπτικών υποστρώματων :

### Ολικά κολοβακτηρία (total coliforms)

Για την Παρασκευή των θρεπτικών υποστρωμάτων των **ολικών κολοβακτηρίων (total coliforms)** και των **κοπρανώδων κολοβακτηρίων**, ζυγίζουμε στη ζυγαριά την απαιτούμενη ποσότητα Membrane Lauryl Sulfate Broth (όση χρειάζεται ανάλογα με την ποσότητα που θέλουμε να φτιάξουμε). Στη συνέχεια ζυγίζουμε και την απαιτούμενη ποσότητα Agar. Προσθέτουμε σε αποστειρωμένη φιάλη με απιονισμένο νερό τις ζυγισμένες ποσότητες των υποστρωμάτων. Βιδώνουμε το δοχείο ελαφρά και το τοποθετούμε για λίγα λεπτά στον μαγνητικό αναδευτήρα. Στην συνέχεια η φιάλη με το υπόστρωμα αποστειρώνεται για 10 min, (Εικόνα 5.34) στους 120°C. Μετά την αποστείρωση το μίγμα μοιράζεται στα τριβλία (petri) διαμέτρου 50 mm (περίπου 4 ml στο καθένα). Τα τριβλία με τα θρεπτικά υποστρώματα παραμένουν έως ότου σταθεροποιηθούν σε θάλαμο νηματικής ροής (Εικόνα 5.35).[40]



**Εικόνα 5.34:** Κλίβανος υγρής αποστείρωσης.

### Escherichia coli

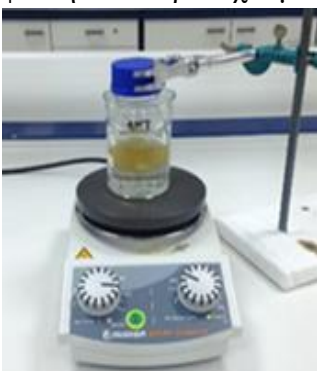
Για την Παρασκευή των θρεπτικών υποστρωμάτων της **Escherichia coli** ζυγίζουμε την απαιτούμενη ποσότητα Herlequin Typtone Bile Glucutonide Agar (TBX) (όση χρειάζεται ανάλογα με την ποσότητα που θέλουμε να φτιάξουμε) και την προσθέτουμε σε αποστειρωμένη φιάλη με απιονισμένο νερό. Βιδώνουμε το δοχείο ελαφρά και το τοποθετούμε για λίγα λεπτά στον μαγνητικό αναδευτήρα. Ακολουθεί αποστείρωση για 15 min, στους 120°C και στην συνέχεια το μίγμα μοιράζεται στα τριβλία (petri) διαμέτρου 50 mm (περίπου 4 ml στο καθένα). Τα τριβλία με τα θρεπτικά υποστρώματα αυτά παραμένουν έως ότου σταθεροποιηθούν σε θάλαμο νηματικής ροής.[40]



**Εικόνα 5.35:** Θάλαμος νηματικής ροής.

### Εντερόκοκκος

Για την Παρασκευή των θρεπτικών υποστρωμάτων του **εντερόκοκκου** ζυγίζουμε στη ζυγαριά την απαιτούμενη ποσότητα Slanetz and Bartley Medium (όση χρειάζεται ανάλογα με την ποσότητα που θέλουμε να φτιάξουμε) και την μεταφέρουμε σε αποστειρωμένο γυάλινη φιάλη όπου πριν έχουμε προσθέσει όσο απιονισμένο νερό χρειάζεται. Πωματίζουμε το δοχείο σφιχτά και το τοποθετούμε στον θερμαινόμενο μαγνητικό αναδευτήρα (Εικόνα 5.36) μέσα σε ένα ποτήρι ζέσεως με απιονισμένο νερό (Μπεν Μαρί). Το μίγμα αναδεύεται ελαφρώς και θερμαίνεται μέχρι έναρξη βρασμού. Μόλις το διάλυμα γίνει διαυγές και αρχίσουν να φαίνονται φυσαλίδες στον πυθμένα, σταματάμε την θέρμανση και την ανάδευση και το απομακρύνουμε από την θερμαντική πλάκα. Το μίγμα μοιράζεται στα τριβλία (petri) διαμέτρου 50 mm (περίπου 4 ml στο καθένα) προτού κρυώσει. Τα τριβλία με τα θρεπτικά υποστρώματα αυτά παραμένουν έως ότου σταθεροποιηθούν σε θάλαμο νηματικής ροής.[40]



**Εικόνα 5.36:** Μαγνητικός αναδευτήρας (δημιουργία θρεπτικού υποστρώματος εντερόκοκκου).

Η πειραματική διαδικασία είναι η εξής :

Αφού έχει περάσει αρκετός χρόνος ώστε να κρυώσουν και να σταθεροποιηθούν τα υποστρώματα πραγματοποιούνται οι διηθήσεις. Αρχικά στην κάτω επιφάνεια κάθε τρυβλίου αναγράφεται το όνομα του δείγματος, η αραιώση που έχει γίνει (αν χρειάζεται) και ο μικροβιολογικός δείκτης που εξετάζεται. Έπειτα τοποθετείται το αποστειρωμένο μαγνητικό φίλτρο Gelman (έχουν αποστειρωθεί για 15 min στους 120 °C) πάνω σε φιάλη Büchner και συνδέεται στην αντλία κενού (Εικόνα 5.37). Αποστειρώνεται η λαβίδα που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί (εμβαπτίζεται σε οινόπνευμα και μετά καίγεται). Τοποθετείται με την λαβίδα ένα αποστειρωμένο φίλτρο κυτταρίνης στην βάση του μαγνητικού φίλτρου. Με την βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου μεταφέρονται 100 ml δείγματος νερού (αραιωμένα ή μη ανάλογα με το δείγμα) μέσα στο μαγνητικό φίλτρο. Ανοίγει η αντλία κενού και αφού περάσει όλο το δείγμα από το φίλτρο διακόπτεται η λειτουργία της, απομακρύνεται η χοάνη. Αποστειρώνεται η λαβίδα και το φίλτρο κυτταρίνης μεταφέρεται σε τρυβλίο με το κατάλληλο υπόστρωμα. Πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή κατά την εφαρμογή, ώστε να μην εγκλωβιστεί αέρας μεταξύ του θρεπτικού υποστρώματος και του φίλτρου. Τέλος αφού τελειώσουν οι διηθήσεις τα τρυβλία μεταφέρονται και επωάζονται σε φούρνο σταθερής θερμοκρασίας.



**Εικόνα 5.37:** Μαγνητική χοάνη διήθησης και αντλία κενού (Buchi Vac V-500).

Τα τρυβλία των ολικών κολοβακτηρίων (total coliforms) ή (fecal coliforms) τοποθετούνται στο φούρνο επώασης για 24 ώρες στους 37 °C, του εντερόκοκκου στους 38°C για 48 ώρες και τέλος η Escherichia coli στους 47°C για 24 ώρες. Τελικό στάδιο της πειραματικής διαδικασίας είναι η καταμέτρηση των αποικιών που έχουν δημιουργηθεί στην επιφάνεια του φίλτρου κυτταρίνης μετά την επώαση, και η διεξαγωγή συμπερασμάτων. Οι αποικίες των ολικών κολοβακτηρίων (total coliforms) εμφανίζονται με κίτρινο χρώμα, του εντερόκοκκου με μώβ χρώμα και τέλος οι αποικίες της Escherichia coli με μπλέ. Επειδή μπορεί να αναπτυχθούν και άλλα χρώματα αποικιών που αντιστοιχούν σε άλλα βακτήρια, κάθε φορά μετριοούνται μόνο τα χρώματα (αποικίες) των μικροβιολογικών δεικτών που μας ενδιαφέρει. Το αποτέλεσμα εκφράζεται σε, αριθμό αποικιών ανά 100 ml δείγματος (cfu/100ml).

Τέλος στα δείγματα που γίνονται αραιώσεις, τα αποτελέσματα εκφράζονται ως εξής: πολλαπλασιάζεται ο αριθμός των αποικιών που μετρήθηκαν με την αραιώση που έγινε. Ο ιδανικός αριθμός αποικιών ανά φίλτρο είναι μεταξύ 20 και 80, αν όμως ο αριθμός των αποικιών είναι πολύ μεγαλύτερος και οι αποικίες καλύπτονται η μία από την άλλη, τότε η διαδικασία θα πρέπει να επαναληφθεί χρησιμοποιώντας όμως υψηλότερες αραιώσεις του δείγματος. Σε όλα τα δείγματα νερού που συλλέχθηκαν από τα ποτάμια της περιοχής μελέτης πραγματοποιήθηκαν αραιώσεις.[40]

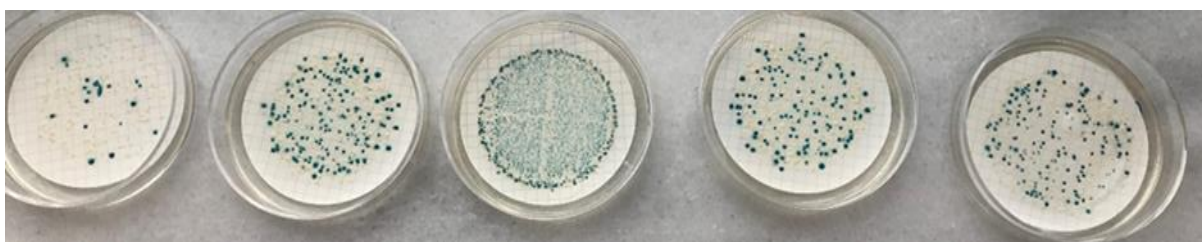
Αναλυτικά οι λόγοι αραιώσης είναι :

(1:2) = 50ml δείγματος + 50ml απιονισμένο νερό	(1:20) = 5ml δείγματος + 95ml απιονισμένο νερό νερό
(1:4) = 25ml δείγματος + 75ml απιονισμένο νερό	(1:100) = 1ml δείγματος + 99ml απιονισμένο νερό
(1:10) = 10ml δείγματος + 90ml απιονισμένο	(1:200) = 0,5ml δείγματος + 99,5ml απιονισμένο νερό

Στις παρακάτω φωτογραφίες (Εικόνα 5.38, 5.39, 5.40) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τον μικροβιολογικό έλεγχο που πραγματοποιήθηκε σε 5 δείγματα νερού ποταμών τα οποία συλλέχθηκαν από την περιοχή μελέτης, με την σειρά όπως εμφανίζονται στις φωτογραφίες τα σημεία είναι τα εξής: Εισροή Αγία Βαρβάρα, Εισροή Θέρισος α', Κλαδισός, Εισροή β' και τέλος Ένωση α'+β'.



**Εικόνα 5.38:** Απεικόνιση δημιουργίας αποικιών κοπρανώδη κολοβακτηρίων (fecal coliforms).



**Εικόνα 5.39:** Απεικόνιση δημιουργίας αποικιών Escherichia coli.



**Εικόνα 5.40:** Απεικόνιση δημιουργίας αποικιών εντερόκκοκου.

## **5.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

### **5.6.1 Εισροή Αγία Βαρβάρα**

Το **pH** χαρακτηρίζεται ως ουδέτερο προς ελαφριά αλκαλικό, χωρίς ιδιαίτερες αυξομειώσεις σε όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών καθώς η διακύμανση ανάμεσα στις 2 ακραίες τιμές ήταν 7,2-7,9 (Σχήμα 5.41).

Η **αγωγιμότητα** κυμαίνεται από 845 έως 1.786  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Σχήμα 5.41), με αύξηση της αγωγιμότητας τους χειμερινούς μήνες (1.213  $\mu\text{S}/\text{cm}$  και 1.786  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) πιθανώς να οφείλεται σε φερτές ύλες οι οποίες διαλύονται με τις μεγάλες βροχοπτώσεις, και την έξαρση της συγκέντρωσης φωσφορικών και ανιονικών απορρυπαντικών που συμβαίνουν συγχρόνως στην ίδια ημερομηνία δειγματοληψίας.

Τα **TDS** (Σχήμα 5.41), ακολουθούν την ίδια διακύμανση με αυτήν της αγωγιμότητας, καθώς έχουν αντίστοιχη μεταβολή. Οι τιμές τους κυμαίνονται, από 410  $\text{mg}/\text{L}$  έως 885  $\text{mg}/\text{L}$ .

Η συγκέντρωση **χλωριόντων** (Σχήμα 5.41), κυμάνθηκε μεταξύ 104 και 130  $\text{mg}/\text{L}$ , κατά την περίοδο μελέτης λόγω της γεωλογικής σύστασης των πετρωμάτων αλλά και ανθρωπογενούς επιβάρυνσης καθώς δεν φαίνεται πιθανή η διείσδυση θαλασσινού νερού. Οι εποχικές μεταβολές της συγκέντρωσης χλωριόντων ήταν όμοιες με αυτές της αγωγιμότητας αναδεικνύοντας την σχέση αιτίου αποτελέσματος.

Η συγκέντρωση **νατρίου (Na)**, (Σχήμα 5.41) κυμάνθηκε μεταξύ 44 και 66  $\text{mg}/\text{L}$ , κατά την περίοδο μελέτης, λόγω γεωλογικής σύστασης των πετρωμάτων αλλά και ανθρωπογενούς επιβάρυνσης καθώς δεν φαίνεται πιθανή η διείσδυση θαλασσινού νερού κατά την ροή επιφανειακών νερών του ποταμού. Οι εποχικές μεταβολές της συγκέντρωσης νατρίου ήταν σχετικά παράλληλες με αυτές της αγωγιμότητας και των χλωριόντων αναδεικνύοντας την σχέση αιτίου αποτελέσματος και της πιθανής απορροής αστικών λυμάτων από την οικιστική ζώνη ανάντη του ποταμού.

Η συγκέντρωση **καλίου (K)** κυμάνθηκε μεταξύ 2,60 έως 4,90  $\text{mg}/\text{L}$  κατά την περίοδο μελέτης (Σχήμα 5.41). Η παρουσία του καλίου συνδέεται με την φυσική αποσάθρωση των πετρωμάτων και με τα καλιούχα λιπάσματα. Η ύπαρξη αγροτικών εκμεταλλεύσεων στα ανάντη και γύρω από το ποταμό αυξάνουν τις πιθανές απορροές από την έκπλυση και διάβρωση των εδαφών.

Η **σκληρότητα** (Σχήμα 5.41), κυμάνθηκε μεταξύ 360 και 460  $\text{mg}/\text{L}$  κατά την περίοδο μελέτης με εποχικές μεταβολές σχετικά παράλληλες με αυτές της αγωγιμότητας.

Η συγκέντρωση **ασβεστίου (Ca)** (Σχήμα 5.41), κυμάνθηκε μεταξύ 29,90 και 66,70  $\text{mg}/\text{L}$ . Το ασβέστιο εισέρχεται στο νερό από διάφορα πετρώματα που περιέχουν ενώσεις του ασβεστίου, με εποχικές μεταβολές σχετικά παράλληλες με αυτές της σκληρότητας.

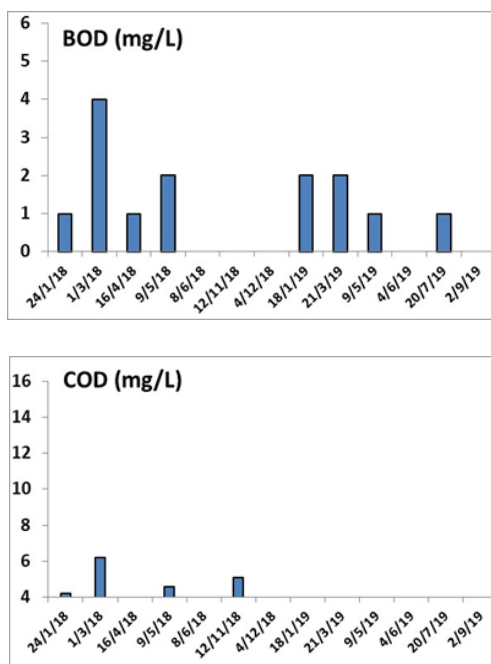
Η συγκέντρωση **θειϊκών ιόντων ( $\text{SO}_4^{2-}$ )** (Σχήμα 5.41), κυμάνθηκε μεταξύ 62 και 164  $\text{mg}/\text{L}$ . Σύμφωνα με το διάγραμμα φαίνεται μερική συσχέτιση της μεταβολής των τιμών θειϊκών με εκείνη της σκληρότητας πιθανά λόγω γεωλογικής σύστασης ή/και παροχής ρυπαντικού φορτίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις 5 πρώτες δειγματοληψίες χρησιμοποιήθηκε διαφορετικό κιτ ανάλυσης θειϊκών από εκείνο των υπολοίπων 6 δειγματοληψιών λόγω κατάργησης υλικού και αλλαγής κωδικού υλικού από την εταιρεία παραγωγής. Η αλλαγή αυτή στο υλικό ανάλυσης ήταν η αιτία που εμφανίζεται υψηλό εύρος τιμών θειϊκών για τα δείγματα στις πρώτες 5 δειγματοληψίες και μειώνεται στα δείγματα στις επόμενες 7 δειγματοληψίες. Παρά την αλλαγή του υλικού διατηρείται η σχετικά σταθερή τιμή συγκέντρωσης θειϊκών στα δείγματα μεταξύ των δειγματοληψιών. Η παρατήρηση αυτή ισχύει για το σύνολο των αναλύσεων θειϊκών ιόντων που ακολουθούν στην παρούσα εργασία.

Η **θολερότητα** (Σχήμα 5.41), κυμάνθηκε μεταξύ 0-12 NTU. Η έντονη διακύμανση οφείλεται στα φερτά υλικά και τα αιωρούμενα σωματίδια ανόργανης ή οργανικής φύσης, η συγκέντρωση των οποίων επηρεάζεται από την ένταση της ροής του νερού του ποταμού.

**Σχήμα 5.41:** Μεταβολή της συγκεντρωσης pH, της αγωγιμότητας, των TDS, των χλωριόντων, της σκληρότητας, του νατρίου, καλίου και ασβεστίου (Na, Ca, K), των θεικών και της θολότητας (NTU), σε δείγματα νερού ποταμού, από την Εισροή Αγία Βαρβάρα την περίοδο 2018-2019.

Το **βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)** στο νερό των δειγμάτων, (Σχήμα 5.42) κυμάνθηκε από 0 έως 4 mg/L και το νερό χαρακτηρίζεται μέτρια ρυπασμένο από βιοαποικοδομήσιμη οργανική ρύπανση παρότι το μικροβιολογικό φορτίο, που παρουσιάζεται παρακάτω, ήταν πολύ υψηλό.

Η μέτρηση του **χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD)**, (Σχήμα 5.42) κυμάνθηκε από 0 έως 6,20 mg/L. Το COD είναι ένας σημαντικός δείκτης εκτίμησης της ρύπανσης του νερού με οργανική ύλη αλλά και με χημικές ουσίες, ωστόσο η μοναδική τιμή COD άνω του ορίου ανίχνευσης δείχνει την πιθανή απουσία χημικά αποικοδομήσιμου ρυπαντικού φορτίου.

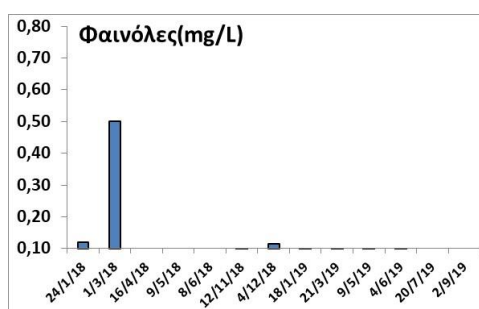


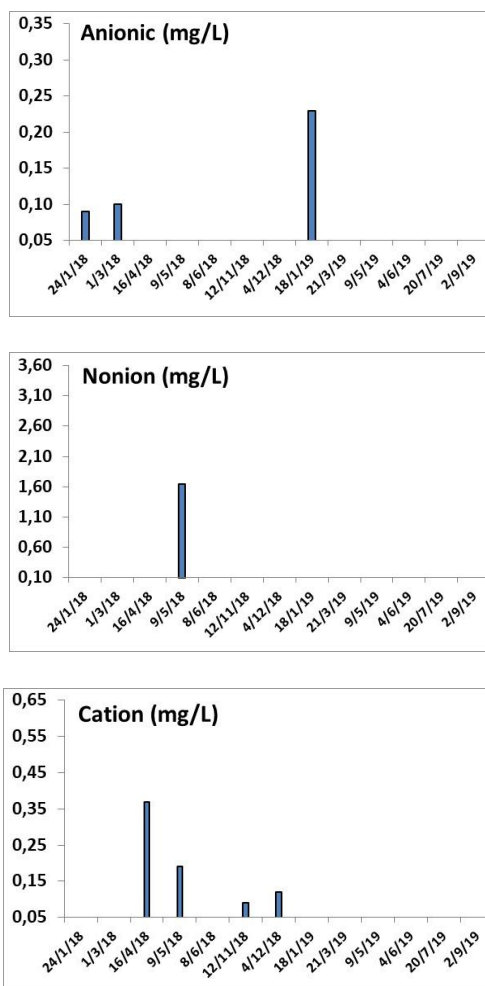
**Σχήμα 5.42:** Μεταβολή της συγκέντρωσης του βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), και του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) σε δείγματα νερού ποταμού, από την Εισροή Αγία Βαρβάρα την περίοδο 2018-2019.

Η συγκέντρωση **φαινόλων** (Σχήμα 5.43) διατηρήθηκε σε χαμηλά επίπεδα κατά την διάρκεια της μελέτης με μοναδική υψηλή τιμή 50 mg/L τον Μάρτιο του 2018, πιθανόν λόγω απορροής από τις δεξαμενές απόνερων ελαιουργείων.

Ο προσδιορισμός ανιχνεύσιμων συγκεντρώσεων **απορρυπαντικών** δεν ήταν συνεχής κατά την διάρκεια της μελέτης (Σχήμα 5.43) γεγονός που αναδεικνύει την σημειακή και μη συνεχή απορροή μέσω αστικών λυμάτων. Συγκέντρωση **ανιονικών** απορρυπαντικών μετρήθηκε μεταξύ 0,09 έως 0,23 mg/L σε μόλις 3 από τις 7 δειγματοληψίες.

Τα **μη ιονικά** απορρυπαντικά (1,65 mg/L) εντοπίστηκαν στα δείγματα νερού σε μόνο μια δειγματοληψία, ενώ τα **κατιονικά** απορρυπαντικά με τιμές από 0,09 έως 0,37 mg/L εντοπίστηκαν συχνότερα στα δείγματα νερού της μελέτης.





**Σχήμα 5.43:** Μεταβολή της συγκέντρωσης των φαινολών και των απορρυπαντικών (anionic, nonion, cation) σε δείγματα νερού ποταμού, από την Εισροή Αγία Βαρβάρα την περίοδο 2018-2019.

Η συγκέντρωση των **αμμωνιακών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$ )** (Σχήμα 5.44), μετρήθηκε από 0,02 έως 0,14 mg/L. Η αμμωνία αποτελεί δείκτη ρύπανσης από ανθρωπογενή λύματα και γεωργικές απορροές.

Η συγκέντρωση των **νιτρικών ιόντων ( $\text{NO}_3^-$ )** (Σχήμα 5.44), κυμάνθηκε σε τιμές πάνω από 25,68 mg/L καθ' όλη την περίοδο της μελέτης. Η διακύμανση της συγκέντρωσης των νιτρικών δεν χαρακτηρίζεται πάντα από έντονα εποχικές μεταβολές, δεικνύοντας την πιθανή συνεχή παρουσία νιτρικών ως απορροή κυρίως αστικών λυμάτων και πιθανόν αμμωνιακών λιπασμάτων (μέσω νιτροποίησης). Το 2018 υπήρξε πολύ χαμηλότερο συνολικό ύψος βροχής σε σχέση με το 2019 (το οποίο είχε και μεγάλο ύψος χιονοπτώσεων) και αυτό πιθανόν να αιτιολογεί την διαφοροποίηση των τιμών μεταξύ των δύο υδρολογικών ετών, καθώς η αραίωση του ρυπαντικού φορτίου από το νερό απορροής του ποταμού ήταν συνεχής και μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας.

Τα **φωσφορικά ιόντα ( $\text{PO}_4^{3-}$ )** (Σχήμα 5.44), έχουν αυξημένη συγκέντρωση και σημειώνουν την μέγιστη τιμή τους 1,62 mg/L, ενώ η ελάχιστη 0,04 mg/L. Η μέγιστη τιμή των φωσφορικών συμπίπτει χρονικά με αυτή των ανιονικών απορρυπαντικών, πιθανόν διότι πολλά από τα απορρυπαντικά που χρησιμοποιούνται εμπεριέχουν πολυφωσφορικά για την αποσκλήρυνση του νερού. Η εμφάνιση φωσφορικών κατά την περίοδο των βροχοπτώσεων

μπορεί επίσης να οφείλεται σε εκπλύσεις γεωργικών εδαφών που περιέχουν σημαντικά φορτία φωσφόρου.

**Σχήμα 5.44:** Μεταβολή της τιμής των αμμωνιακών, νιτρικών και φωσφορικών ιόντων σε δείγματα νερού ποταμού, από την Εισροή Αγία Βαρβάρα την περίοδο 2018-2019.



Η συγκέντρωση των **κοπρανωδών κολοβακτηριδίων (Faecal coliforms)** (Σχήμα 5.45), κυμάνθηκε από 372 αποικίες/100 ml έως 16.640 αποικίες/100 ml. Η συγκέντρωση των **E-coli**, (Σχήμα 5.45) κυμάνθηκε από 80 έως 4.000 αποικίες/100 ml ενώ η συγκέντρωση των **εντερόκοκκων (Enterococcus)** (Σχήμα 5.45) κυμάνθηκε από 120 έως 2.010 αποικίες/100 ml.

Η μείωση της ποσότητας του επιφανειακού νερού αιτιολογεί την έξαρση των αποικιών την καλοκαιρινή κυρίως περίοδο λόγω της μειωμένης αραίωσης του ρυπαντικού φορτίου που απορρέει συνεχώς στην περιοχή μελέτης.

**Σχήμα 5.45:** Μεταβολή της συγκέντρωσης του αριθμού αποικιών (αποικίες/100 ml) των κοπρανωδών κολοβακτηρίων (FC), της *escherichia coli*, και του εντερόκοκκου σε δείγματα νερού ποταμού, από την Εισροή Αγία Βαρβάρα την περίοδο 2018-2019.

### 5.6.2 Εισροή Θέρισος α΄

Το σημείο Εισροή Θέρισος α΄ προέρχεται από το φαράγγι του Θέρισου και ο Κλαδισός Ποταμός που το διαρρέει μεταφέρει τα νερά από τα Λευκά Όρη στην παραλία της Νέας Χώρας. Την χρονιά όμως 2018 το σημείο δειγματοληψίας της εισροής α΄, δεν παρουσίαζε τον επιθυμητό όγκο νερού (δεν υπήρχε ροή στο συγκεκριμένο σημείο) ώστε να γίνει ποιοτική ανάλυση των στοιχείων του. Συγκεκριμένα δεν υπήρχε ροή τους μήνες Απρίλιο, Μάιο και Ιούνιο.

Το **pH** χαρακτηρίζεται ως ουδέτερο προς ελαφριά αλκαλικό, χωρίς ιδιαίτερες αυξομειώσεις σε όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών καθώς η διακύμανση ανάμεσα στις 2 ακραίες τιμές ήταν 7,2-8,2 (Σχήμα 5.46).

Η **αγωγιμότητα** κυμαίνεται από 223 έως 695  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Σχήμα 5.46). Το 2018 υπήρξε πολύ χαμηλότερο συνολικό ύψος βροχής σε σχέση με το 2019 (το οποίο είχε και μεγάλο ύψος χιονοπτώσεων) και αυτό πιθανόν να αιτιολογεί την διαφοροποίηση των τιμών μεταξύ των δύο υδρολογικών ετών. Δηλαδή ο μεγάλος όγκος νερού του σημείου Εισροής α΄ προκαλεί την μείωση της αγωγιμότητας.

Τα **TDS**, ακολουθούν την ίδια διακύμανση με αυτήν της αγωγιμότητας. Οι τιμές τους κυμαίνονται από 108,6 mg/L έως 388 mg/L, (Σχήμα 5.46).

Η συγκέντρωση **χλωριόντων** (Σχήμα 5.46), κυμάνθηκε μεταξύ 17,99 και 79,98 mg/L κατά την περίοδο μελέτης λόγω της γεωλογικής σύστασης των πετρωμάτων καθώς δεν φαίνεται πιθανή η διείσδυση θαλασσινού νερού. Οι εποχικές μεταβολές της συγκέντρωσης χλωριόντων ήταν όμοιες με αυτές της αγωγιμότητας αναδεικνύοντας την σχέση αιτίου αποτελέσματος.

Η συγκέντρωση **νατρίου (Na)**, (Σχήμα 5.46), κυμάνθηκε μεταξύ 5,8 και 35,6 mg/L, κατά την περίοδο μελέτης. Οι εποχικές μεταβολές της συγκέντρωσης νατρίου ήταν σχετικά παράλληλες με αυτές της αγωγιμότητας και των χλωριόντων αναδεικνύοντας την σχέση αιτίου αποτελέσματος και της πιθανής απορροής αστικών λυμάτων από την οικιστική ζώνη.

Η συγκέντρωση **καλίου (K)** κυμάνθηκε μεταξύ 0 έως 2.6 mg/L κατά την περίοδο μελέτης (Σχήμα 5.46). Η παρουσία του καλίου συνδέεται με την φυσική αποσάθρωση των πετρωμάτων και με τα καλιούχα λιπάσματα. Η ύπαρξη αγροτικών εκμεταλλεύσεων στα ανάντη και γύρω από το ποταμό αυξάνουν τις πιθανές απορροές από την έκπλυση και διάβρωση των εδαφών. Από την χρονιά 2019 και ύστερα η ποσότητα του νερού που κατεβάζει το σημείο εισροή α΄ μειώνει τις συγκεντρώσεις καλίου.

Η **σκληρότητα** (Σχήμα 5.46), κυμάνθηκε μεταξύ 110 και 310 mg/L με εποχικές μεταβολές σχετικά παράλληλες με αυτές της αγωγιμότητας, των χλωριόντων και του νατρίου, κατά την περίοδο μελέτης λόγω της γεωλογικής σύστασης των πετρωμάτων. Έχουμε μια αγωγιμότητα η οποία συνδέεται άψογα με την συμπεριφορά του χλωρίου του νατρίου της σκληρότητας του ασβεστίου και του καλίου.

Η συγκέντρωση **ασβεστίου (Ca)** (Σχήμα 5.46), κυμάνθηκε μεταξύ 20,9 και 46,7 mg/L. Το ασβέστιο εισέρχεται στο νερό από διάφορα πετρώματα που περιέχουν ενώσεις του ασβεστίου, με εποχικές μεταβολές σχετικά παράλληλες με αυτές της σκληρότητας και των θεϊκών ιόντων. Πρόκειται για μια εισροή με μεγάλη παροχέτευση νερού άρα έχουμε μια ομοιομορφία στις τιμές όλων των παραμέτρων.

Η συγκέντρωση των **θεϊκών ιόντων ( $\text{SO}_4^{2-}$ )** (Σχήμα 5.46), κυμάνθηκε μεταξύ 6 και 81 mg/L. Σύμφωνα με το διάγραμμα φαίνεται πως υπάρχουν εποχικές μεταβολές σχετικά παράλληλες με εκείνες της σκληρότητας και του ασβεστίου πιθανά λόγω γεωλογικής σύστασης ή/και παροχής ρυπαντικού φορτίου.

Η **θολερότητα** (Σχήμα 5.46), κυμάνθηκε μεταξύ 1,20 με 17,70 NTU. Η έντονη διακύμανση οφείλεται στα φερτά υλικά και τα αιωρούμενα σωματίδια ανόργανης ή οργανικής φύσης, η συγκέντρωση των οποίων επηρεάζεται από την ένταση της ροής του νερού του ποταμού.

**Σχήμα 5.46:** Μεταβολή της συγκέντρωσης pH, της αγωγιμότητας, των TDS, των χλωριόντων, της σκληρότητας, του νατρίου, καλίου και ασβεστίου (Na, Ca, K), των θεικών και της θολότητας (NTU), σε δείγματα νερού ποταμού, από την Εισροή Θερίσου ά την περίοδο 2018-2019.

Το **βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)** στο νερό των δειγμάτων, (Σχήμα 5.47), κυμάνθηκε από 1 έως 2 mg/L, το νερό χαρακτηρίζεται μέτρια ρυπασμένο από βιοαποικοδομήσιμη οργανική ρύπανση.

Η μέτρηση του **χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD)**, (Σχήμα 5.47), κυμάνθηκε από 0 έως 6 mg/L. Το COD είναι ένας σημαντικός δείκτης εκτίμησης της ρύπανσης του νερού με οργανική ύλη αλλά και με χημικές ουσίες, ωστόσο η μοναδική τιμή COD άνω του ορίου ανίχνευσης δείχνει την πιθανή απουσία χημικά αποικοδομήσιμου ρυπαντικού φορτίου.

**Σχήμα 5.47:** Μεταβολή της συγκέντρωσης του βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), και του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) σε δείγματα νερού ποταμού, από την Εισροή Θερίσου α' την περίοδο 2018-2019.

Η συγκέντρωση των **φαινολών** (Σχήμα 5.48), κυμάνθηκε από 0,11 έως 0,57 mg/L, με αύξηση των φαινολών τον Ιανουάριο και Μάιο του 2019 (0,35 mg/L και 0,57 mg/L) πιθανώς να οφείλεται σε απορροή από τις δεξαμενές απόνευρων ελαιουργείων.

Ο προσδιορισμός ανιχνεύσιμων συγκεντρώσεων απορρυπαντικών δεν ήταν συνεχής κατά την διάρκεια της μελέτης (Σχήμα 5.48), γεγονός που αναδεικνύει την σημειακή και μη συνεχή απορροή μέσω αστικών λυμάτων. Συγκέντρωση **ανιονικών απορρυπαντικών** μετρήθηκε μεταξύ 0,06 έως 0,17 mg/L σε μόλις 3 από τις 5 δειγματοληψίες.

**Μη ιονικά απορρυπαντικά** δεν εντοπίστηκαν στα δείγματα νερού από το σημείο εισροή α', ενώ τα **κατιονικά απορρυπαντικά** με τιμές 0,13 και 0,53 mg/L σε μόλις 2 δειγματοληψίες.

**Σχήμα 5.48:** Μεταβολή της συγκέντρωσης των φαινολών και των απορρυπαντικών (anionic, nonionic, cation) σε δείγματα νερού ποταμού, από την Εισροή Θερίσου α' την περίοδο 2018-2019.

Η συγκέντρωση των **αμμωνιακών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$ )** (Σχήμα 5.49), μετρήθηκε από 0,05 έως 1,98 mg/L κατά την περίοδο μελέτης, με αύξηση των αμμωνιακών τον χειμώνα του 2018 πιθανώς να οφείλεται από ανθρωπογενή λύματα ή και γεωργικές απορροές καθώς δεν φαίνεται να επαναλαμβάνεται στις επόμενες δειγματοληψίες.

Η συγκέντρωση των **νιτρικών ιόντων ( $\text{NO}_3^-$ )** (Σχήμα 5.49), κυμάνθηκε από 2,35 έως 17,18 mg/L κατά την περίοδο μελέτης. Το 2018 υπήρξε πολύ χαμηλότερο συνολικό ύψος βροχής σε σχέση με το 2019 (το οποίο είχε και μεγάλο ύψος χιονοπτώσεων) και αυτό πιθανόν να αιτιολογεί την διαφοροποίηση των τιμών μεταξύ των δύο υδρολογικών ετών. Η διακύμανση της συγκέντρωσης των νιτρικών χαρακτηρίζεται και από εποχικές μεταβολές, δεικνύοντας την πιθανή συνεχή παρουσία νιτρικών ως απορροή κυρίως αστικών λυμάτων, καθώς και νιτρικών λιπασμάτων (και πιθανόν αμμωνιακών μέσω νιτροποίησης), της αγροτικής περιοχής γύρω από τον ποταμό.

Η συγκέντρωση των **φωσφορικών ιόντων ( $\text{PO}_4^{3-}$ )** (Σχήμα 5.49) κυμάνθηκε από 0,03 έως 0,28 mg/L. Η μέγιστη τιμή των φωσφορικών συμπίπτει χρονικά με αυτή των ανιονικών απορρυπαντικών, πιθανόν διότι πολλά από τα απορρυπαντικά που χρησιμοποιούνται εμπεριέχουν πολυφωσφορικά για την αποσκλήρυνση του νερού.

**Σχήμα 5.49:** Μεταβολή της τιμής των αμμωνιακών, νιτρικών και φωσφορικών ιόντων σε δείγματα νερού ποταμού, από την Εισροή Θερίσου α' την περίοδο 2018-2019.

Η συγκέντρωση των κοπρανώδων κολοβακτηριδίων (**Feacal coliforms**) (Σχήμα 5.50), κυμάνθηκε από 214 αποικίες/100 ml έως 8.400 αποικίες/100 ml. Η συγκέντρωση των **E-coli**, (Σχήμα 5.50) κυμάνθηκε από 34 αποικίες/100 ml έως 4.000 αποικίες/100 ml. Η συγκέντρωση των **εντερόκοκκων (enterococcus)** (Σχήμα 5.50), κυμαίνεται από 24 αποικίες/100 ml έως 4.360 αποικίες/100 ml. Το μικροβιολογικό φορτίο παρουσιάζει εποχικές μεταβολές ταυτόχρονα και για τις 3 παραμέτρους (κοπρανώδη κολοβακτήρια, E-coli και εντερόκοκκοι).

**Σχήμα 5.50:** Μεταβολή της συγκέντρωσης του αριθμού αποικιών (αποικίες/100 ml) των κοπρανώδων κολοβακτηρίων (FC), της *escherichia coli*, και του εντερόκοκκου σε δείγματα νερού ποταμού, από την Εισροή Θερίσου ά την περίοδο 2018-2019.

### 5.6.3 Εισροή β'

Το **pH** (Σχήμα 5.51), παρουσιάζει διακυμάνσεις στις τιμές του σε όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών. Κυμαίνεται μεταξύ 7,07 και 8,22. Το pH μπορεί να χαρακτηριστεί ως ελαφρά αλκαλικό.

Η **αγωγιμότητα** κυμαίνεται από 916 έως 1.997  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Σχήμα 5.51), με αύξηση της αγωγιμότητας την χειμερινή περίοδο (1.997  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) πιθανώς να οφείλεται σε φερτές ύλες οι οποίες διαλύονται με τις μεγάλες βροχοπτώσεις καθώς και μια πιθανή σύνδεση της αγωγιμότητας με τις συγκεντρώσεις των νιτρικών και του καλίου, οι οποίες όπως φαίνεται και παρακάτω είναι υψηλά εκείνη την περίοδο.

Τα **TDS** (Σχήμα 5.51), ακολουθούν την ίδια διακύμανση με αυτήν της αγωγιμότητας, καθώς έχουν αντίστοιχη μεταβολή. Οι τιμές τους κυμάνθηκαν από 448 mg/L έως 1013 mg/L.

Η συγκέντρωση **χλωριόντων** (Σχήμα 5.51), κυμάνθηκε μεταξύ 99,97 mg/L και 129,96 mg/L κατά την περίοδο μελέτης λόγω της γεωλογικής σύστασης των πετρωμάτων αλλά και ανθρωπογενούς επιβάρυνσης καθώς δεν φαίνεται πιθανή η διείδυση θαλασσινού νερού. Οι εποχικές μεταβολές της συγκέντρωσης χλωριόντων δεν συνδέονται με ορισμένες μεταβολές της αγωγιμότητας.

Η συγκέντρωση **νατρίου (Na)** (Σχήμα 5.51), κυμάνθηκε μεταξύ 54,7 και 72,4 mg/L, κατά την περίοδο μελέτης, λόγω γεωλογικής σύστασης των πετρωμάτων αλλά και ανθρωπογενούς επιβάρυνσης καθώς δεν φαίνεται πιθανή η διείδυση θαλασσινού νερού κατά την ροή επιφανειακών νερών του ποταμού. Οι εποχικές μεταβολές της συγκέντρωσης νατρίου δεν ήταν σχετικά παράλληλες με την αγωγιμότητα και τα χλωριόντα.

Η συγκέντρωση **καλίου (K)** κυμάνθηκε μεταξύ 2 έως 4,80 mg/L κατά την περίοδο μελέτης (Σχήμα 5.51). Η παρουσία του καλίου συνδέεται με την φυσική αποσάθρωση των πετρωμάτων και με τα καλιούχα λιπάσματα. Η ύπαρξη αγροτικών εκμεταλλεύσεων στα ανάντη και γύρω από το ποταμό αυξάνουν τις πιθανές απορροές από την έκπλυση και διάβρωση των εδαφών.

Η **σκληρότητα** (Σχήμα 5.51), κυμάνθηκε μεταξύ 360 και 530 mg/L κατά την περίοδο μελέτης με εποχικές μεταβολές σχετικά παράλληλες με αυτές της αγωγιμότητας.

Η συγκέντρωση **ασβεστίου (Ca)** (Σχήμα 5.51), κυμάνθηκε μεταξύ 45,10 έως 68 mg/L. Το ασβέστιο εισέρχεται στο νερό από διάφορα πετρώματα που περιέχουν ενώσεις του ασβεστίου.

Η συγκέντρωση **θειικών ιόντων ( $\text{SO}_4^{2-}$ )** (Σχήμα 5.51), κυμάνθηκε μεταξύ 89 και 184 mg/L. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα οι πρώτες 5 δειγματοληψίες με την χρήση του πρώτου κιτ ανάλυσης θειικών παρουσίαζε ομοιόμορφες εποχικές μεταβολές, καθώς και με την αλλαγή του κιτ παρατηρείται ομοιομορφία στις τιμές με μικρές εποχικές μεταβολές. Φαίνεται μερική συσχέτιση της μεταβολής των τιμών θειικών με εκείνη των τιμών του καλίου, πιθανών να έχουμε εκπλύσεις λιπασμάτων (θειικό κάλιο). Επίσης παρατηρείται και εποχική μεταβολή σχετικά παράλληλη με εκείνη της συγκέντρωσης ασβεστίου, πιθανά λόγω γεωλογικής σύστασης ή/και παροχής ρυπαντικού φορτίου.

Η **θολερότητα** (Σχήμα 5.51), κυμάνθηκε μεταξύ 0,70-12,10 NTU. Η έντονη διακύμανση οφείλεται στα φερτά υλικά και τα αιωρούμενα σωματίδια ανόργανης ή οργανικής φύσης, η συγκέντρωση των οποίων επηρεάζεται από την ένταση της ροής του νερού του ποταμού.



**Σχήμα 5.51:** Μεταβολή της συγκέντρωσης pH, της αγωγιμότητας, των TDS, των χλωριόντων, της σκληρότητας, του νατρίου, καλίου και ασβεστίου (Na, Ca, K), των θεικών και της θολότητας (NTU), σε δείγματα νερού ποταμού, από την Εισροή β' την περίοδο 2018-2019.

Το **βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)** στο νερό των δειγμάτων (Σχήμα 5.52), κυμάνθηκε από 1 έως 6 mg/L και το νερό χαρακτηρίζεται μέτρια ρυπασμένο από βιοαποικοδομήσιμη οργανική ρύπανση παρότι το μικροβιολογικό φορτίο, που παρουσιάζεται παρακάτω, ήταν πολύ υψηλό.

Η μέτρηση του **χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD)**, (Σχήμα 5.52) κυμάνθηκε από 4,3 έως 10,4 mg/L σε μόλις 4 από τις 8 δειγματοληψίες. Το COD είναι ένας σημαντικός δείκτης εκτίμησης της ρύπανσης του νερού με οργανική ύλη αλλά και με χημικές ουσίες, ωστόσο κατά την περίοδο μελέτης ο λόγος COD / BOD μας δείχνει πως η έξαρση αυτή μπορεί να συνδέεται με την ρύπανση αστικών αποβλήτων.

**Σχήμα 5.52:** Μεταβολή της συγκέντρωσης του βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), και του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) σε δείγματα νερού ποταμού, από την Εισροή β' την περίοδο 2018-2019.

Η συγκέντρωση **φαινολών** (Σχήμα 5.53) διατηρήθηκε σε χαμηλά επίπεδα κατά την διάρκεια της μελέτης με μοναδική υψηλή τιμή 0,28 mg/L τον Ιανουάριο του 2019 πιθανόν λόγω απορροής από τις δεξαμενές απόνερων ελαιουργείων.

Ο προσδιορισμός ανιχνεύσιμων συγκεντρώσεων **απορρυπαντικών** δεν ήταν συνεχής κατά την διάρκεια της μελέτης (Σχήμα 5.53), γεγονός που αναδεικνύει την σημειακή και μη συνεχή απορροή μέσω αστικών λυμάτων. Συγκέντρωση **ανιονικών απορρυπαντικών** μετρήθηκε μεταξύ 0,08 έως 0,18 mg/L σε μόλις 5 από τις 8 δειγματοληψίες.

Τα **μη ιονικά απορρυπαντικά** εντοπίστηκαν στα δείγματα νερού σε μόνο δύο δειγματοληψίες με τιμές 0,39 και 3,20 mg/L, ενώ τα **κατιονικά απορρυπαντικά** με τιμές από 0,16 έως 0,34 mg/L εντοπίστηκαν συχνότερα στα δείγματα νερού της μελέτης.

**Σχήμα 5.53:** Μεταβολή της συγκέντρωσης των φαινολών και των απορρυπαντικών (anionic, nonion, cation) σε δείγματα νερού ποταμού, από την Εισροή β' την περίοδο 2018-2019.

Η συγκέντρωση των **αμμωνιακών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$ )** (Σχήμα 5.54), μετρήθηκε από 0,03 έως 1,87 mg/L, με έξαρση τον χειμώνα του 2018 (1,87 mg/L) και το καλοκαίρι του 2019 (1,13 mg/L) πιθανά λόγω γεωργικών απορροών ή από απορροές λυμάτων ανθρωπογενούς προέλευσης.

Η συγκέντρωση των **νιτρικών ιόντων ( $\text{NO}_3^-$ )** (Σχήμα 5.54), κυμάνθηκε σε τιμές πάνω από 15,10 mg/L καθ' όλη την περίοδο της μελέτης. Η διακύμανση της συγκέντρωσης των νιτρικών δεν χαρακτηρίζεται πάντα από έντονα εποχικές μεταβολές, δεικνύοντας την πιθανή συνεχή παρουσία νιτρικών ως απορροή κυρίως αστικών λυμάτων και νιτρικών λιπασμάτων (και πιθανόν αμμωνιακών μέσω νιτροποίησης) της αγροτικής περιοχής γύρω από τον ποταμό.

Η συγκέντρωση των **φωσφορικών ιόντων ( $\text{PO}_4^{3-}$ )** (Σχήμα 5.54), κυμάνθηκε από 0,04 έως και 0,96 mg/L. Η εμφάνιση φωσφορικών μπορεί να οφείλεται σε φωσφορούχα λιπάσματα που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες, δεν δεσμεύονται ποσοτικά από τα φυτά ή το έδαφος με αποτέλεσμα μετά τις βροχοπτώσεις να γίνεται έκπλυση των εδαφών, καταλήγοντας έτσι στην εισροή.

**Σχήμα 5.54:** Μεταβολή της τιμής των αμμωνιακών, νιτρικών και φωσφορικών ιόντων σε δείγματα νερού ποταμού, από την Εισροή β' την περίοδο 2018-2019.

Η συγκέντρωση των **κοπρανωδών κολοβακτηριδίων (Faecal coliforms)** (Σχήμα 5.55), κυμάνθηκε από 1.800 αποικίες/100 ml έως 27.000 αποικίες/100 ml. Η συγκέντρωση των **E-coli**, (Σχήμα 5.55) κυμάνθηκε από 500 έως 28.000 αποικίες/100 ml ενώ η συγκέντρωση των **εντερόκοκκων (Enterococcus)** (Σχήμα 5.55) κυμάνθηκε από 220 έως 6.400 αποικίες/100 ml.

Παρατηρείται εποχική μεταβολή ταυτόχρονα και στις 3 παραμέτρους των μικροβιολογικών, με έξαρση των αποικιών ιδιαίτερα την θερινή περίοδο. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στην διαδικασία και θέσεις δειγματοληψίας το σημείο εισροή β' διασχίζει οικιστική ζώνη, όπου πιθανώς να επιβαρύνει την εισροή β' παραπάνω, με αποτέλεσμα να έχουμε υψηλότερη έξαρση του μικροβιολογικού φορτίου.

**Σχήμα 5.55:** Μεταβολή της συγκέντρωσης του αριθμού αποικιών (αποικίες/100 ml) των κοπρανωδών κολοβακτηρίων (FC), της *escherichia coli*, και του εντερόκοκκου σε δείγματα νερού ποταμού, από την Εισροή β' την περίοδο 2018-2019.

#### 5.6.4 Ένωση α'+β'

Το σημείο Ένωσης α'+β' προέρχεται από την ένωση του νερού από την εισροή α' και την εισροή β', δηλαδή το νερό που κατεβαίνει κατευθείαν από το φαράγγι του Θερίσου και το νερό της εισροής β' που έρχεται από υψηλότερα σημεία και διασχίζει οικιστική ζώνη.

Το **pH** (Σχήμα 5.56), κυμαίνεται μεταξύ 7,35 και 8,32. Το pH και σε αυτό το σημείο δειγματοληψίας μπορεί να χαρακτηριστεί ως ελαφρά αλκαλικό.

Η **αγωγιμότητα** (Σχήμα 5.56), κυμαίνεται από 229  $\mu\text{S}/\text{cm}$  έως 1.019  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Λαμβόνοντας υπόψη την προέλευση του νερού στο σημείο Ένωση α'+β' παρατηρείται ότι ο μεγάλος όγκος με χαμηλή αγωγιμότητα νερού της Εισροής α' (Σχήμα 5.46), προκαλεί την μείωση της υψηλής αγωγιμότητας του μικρού όγκου νερού της Εισροής β' (Σχήμα 5.51).

Τα **TDS** (Σχήμα 5.56), ακολουθούν την ίδια διακύμανση με αυτήν της αγωγιμότητας, καθώς έχουν την αντίστοιχη μεταβολή. Οι τιμές τους κυμάνθηκαν από 109,70 mg/L έως 500 mg/L.

Η συγκέντρωση **χλωριόντων** (Σχήμα 5.56), κυμάνθηκε μεταξύ 19,99 και 124,96 mg/L κατά την περίοδο μελέτης.

Η συγκέντρωση **νατρίου (Na)** (Σχήμα 5.56), κυμαίνεται από 5,50 έως 67,50 mg/L.

Η συγκέντρωση **καλίου (K)** κυμάνθηκε μεταξύ 0,10 έως 3 mg/L κατά την περίοδο μελέτης (Σχήμα 5.56).

Η **σκληρότητα** (Σχήμα 5.56), κυμάνθηκε μεταξύ 120 και 420 mg/L.

Το **ασβέστιο (Ca)** (Σχήμα 5.56), κυμαίνεται από 20 έως 66 mg/L.

Τέλος τα **θειικά ιόντα (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)** (Σχήμα 5.56), κυμαίνονται από 7-168 mg/L.

Η συγκέντρωση των χλωριόντων, του καλίου, του νατρίου, της σκληρότητα, του ασβεστίου και των θειικών, φαίνεται να προσομοιάζουν με τις συγκεντρώσεις από το σημείο εισροή α' διότι εκείνο το σημείο είναι αυτό που προκαλεί την αραίωση λόγω του μεγάλου όγκου όπως αυτή περιγράφεται στην αγωγιμότητα, συγκεκριμένα από την χρονιά 2019 και ύστερα.

Η **θολερότητα** (Σχήμα 5.56), παρουσιάζει αρκετές αυξομειώσεις στις τιμές της, κυμάνθηκε από 0,10 έως 18,10 NTU.

**Σχήμα 5.56:** Μεταβολή της συγκέντρωσης pH, της αγωγιμότητας, των TDS, των χλωριόντων, της σκληρότητας, του νατρίου, καλίου και ασβεστίου (Na, Ca, K), των θεικών και της θολότητας (NTU), σε δείγματα νερού ποταμού, από την Ένωση α΄+β΄ την περίοδο 2018-2019.

Το **βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)** στο νερό των δειγμάτων (Σχήμα 5.57), κυμάνθηκε από 0 έως 3 mg/L.

Η μέτρηση του **χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD)** (Σχήμα 5.57), κυμάνθηκε από 0 έως 7,4 mg/L.

Την περίοδο Απρίλιο - Ιούνιο του 2018 στο σημείο δειγματοληψίας Ένωση α'+β' μετρήθηκαν τιμές του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου και του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου υψηλότερες από εκείνες του σημείου Εισροή β' (στο σημείο Εισροή α' εκείνη την περίοδο δεν είχε ροή νερού). Αυτό πιθανόν να οφείλεται σε σημειακή επιβάρυνση του νερού κατά μήκος του ποταμού σε ενδιάμεση θέση μεταξύ των σημείων Εισροή β' και Ένωση α'+β'.

**Σχήμα 5.57:** Μεταβολή της συγκέντρωσης του βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), και του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) σε δείγματα νερού ποταμού, από την Ένωση α'+β' την περίοδο 2018-2019.

Η συγκέντρωση **φαινολών** (Σχήμα 5.58), κυμαίνεται από 0,15-0,70 mg/L σε μόλις 2 από τις 8 δειγματοληψίες. Η μέγιστη τιμή των φαινολών συμπίπτει χρονικά και στα 3 σημεία δειγματοληψίας (σημείο Εισροή α' με 0,57 mg/L, σημείο Εισροή β' με 0,28 mg/L και το σημείο Ένωση α'+β' με 0,70 mg/L) τον Ιανουάριο του 2019.

Ο προσδιορισμός ανιχνεύσιμων συγκεντρώσεων απορρυπαντικών δεν ήταν συνεχής κατά την διάρκεια της μελέτης (Σχήμα 5.58). Συγκέντρωση **ανιονικών απορρυπαντικών** μετρήθηκε μεταξύ 0,08 έως 0,16 mg/L σε μόλις 3 από τις 7 δειγματοληψίες.

Τα **μη ιονικά απορρυπαντικά** (2,60 mg/L) εντοπίστηκαν στα δείγματα νερού σε μόνο μια δειγματοληψία, η τιμή αυτή των μη ιονικών απορρυπαντικών συμπίπτει χρονικά με την μέγιστη τιμή από το σημείο εισροή β' (3,20 mg/L) τον Μάιο του 2018.

Τα **κατιονικά απορρυπαντικά** με τιμές από 0,20 έως 0,41 mg/L, εντοπίστηκαν συχνότερα στα δείγματα νερού της μελέτης. Λαμβάνοντας υπόψη την προέλευση του νερού στο σημείο Ένωση α'+β' παρατηρείται ότι τον Απρίλιο του 2018 το σημείο Ένωση α'+β' (με τιμή 0,41 mg/L) δεν συμπίπτει χρονικά με το σημείο β' (με τιμή 0,23 mg/L), πιθανώς το σημείο Ένωση α'+β' να συνδέεται με την προσθήκη κατιονικών απορρυπαντικών κατόπιν του σημείου εισροής β'.



**Σχήμα 5.58:** Μεταβολή της συγκέντρωσης των φαινολών και των απορρυπαντικών (anionic, nonionic, cation) σε δείγματα νερού ποταμού, από την Ένωση α'+β' την περίοδο 2018-2019.

Η συγκέντρωση των **αμμωνιακών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$ )** (Σχήμα 5.59), μετρήθηκε από 0,02 έως 1,42 mg/L. Η μέγιστη τιμή των αμμωνιακών ιόντων παρουσιάζεται χρονικά και στα 3 σημεία δειγματοληψίας τον χειμώνα του 2018.

Η συγκέντρωση των **νιτρικών ιόντων ( $\text{NO}_3^-$ )** (Σχήμα 5.59), κυμάνθηκε από 2,79 έως 27,45 mg/L.

Η συγκέντρωση των **φωσφορικών ιόντων ( $\text{PO}_4^{3-}$ )** (Σχήμα 5.59), κυμάνθηκε από 0,05 έως 0,63 mg/L.

Η συγκέντρωση των αμμωνιακών, των νιτρικών και των φωσφορικών ιόντων φαίνεται να προσομοιάζουν με τις συγκεντρώσεις από τα σημεία εισροή α' και β'.

**Σχήμα 5.59:** Μεταβολή της τιμής των αμμωνιακών, νιτρικών και φωσφορικών ιόντων σε δείγματα νερού ποταμού, από την Ένωση α'+β' την περίοδο 2018-2019.

Η συγκέντρωση των **κοπρανόδων κολοβακτηριδίων (Fecalcoliforms)** (Σχήμα 5.60), κυμάνθηκε από 132 αποικίες/100 ml έως 9.440 αποικίες/100 ml.

Η συγκέντρωση **E-coli** (Σχήμα 5.60), κυμάνθηκε από 66 αποικίες/100 ml έως 12.480 αποικίες/100 ml.

Η συγκέντρωση των **εντερόκοκκων (enterococcus)** (Σχήμα 5.60), κυμάνθηκε από 42 αποικίες/100 ml έως 3.200 αποικίες/100 ml.

Οι συγκεντρώσεις του μικροβιολογικού φορτίου του σημείου Ένωση α'+β' ακολουθούν σχετικά παράλληλες εποχικές μεταβολές με τις συγκεντρώσεις των σημείων Εισροή α' και Εισροή β'. Λαμβάνοντας όμως υπόψη την προέλευση του νερού στο σημείο Ένωση α'+β' παρατηρείται ότι ο μεγάλος όγκος νερού που προέρχεται από το σημείο Εισροή α' προκαλεί την μείωση του μικρού όγκου νερού της Εισροής β', με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις στο σημείο Ένωση α'+β' να ακολουθούν την τάση του σημείου Εισροή α'.

**Σχήμα 5.60:** Μεταβολή της συγκέντρωσης του αριθμού αποικιών (αποικίες/100 ml) των κοπρανωδών κολοβακτηριίων (FC), της *escherichia coli*, και του εντερόκοκκου σε δείγματα νερού ποταμού, από την Ένωση α'+β' την περίοδο 2018-2019.

### 5.6.5 Κλαδισός

Το σημείο δειγματοληψίας Κλαδισός αποτελεί την απόληξη των παραποτάμων του ομώνυμου ποταμού. Στο σημείο αυτό έχουν πλέον ενωθεί τα νερά από τα σημεία Εισροή Αγία Βαρβάρα, Εισροή α' και Εισροή β' (μέσω της ένωσης στα ανάντη ως Εισροή α' και β').

Το **pH**, (Σχήμα 5.61) παρουσιάζει διακυμάνσεις στις τιμές του σε όλη την διάρκεια της μελέτης. Κυμαίνεται μεταξύ 7,16 και 8,07 το pH του ποταμού μπορεί να χαρακτηριστεί ως ελαφρώς αλκαλικό.

Η **αγωγιμότητα** κυμαίνεται από 258  $\mu\text{S}/\text{cm}$  έως 1.126  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Σχήμα 5.61), κατά την περίοδο μελέτης με εποχικές μεταβολές σχετικά παράλληλες με αυτές της αγωγιμότητας των σημείων εισροή Αγία Βαρβάρα, Ένωση α'+β' και εισροή Θέρισος α'. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η προέλευση του νερού του σημείου Ένωση α'+β' προέρχεται από την ένωση των δύο Εισροών α' και β', διαπιστώνεται ότι η ρυθμιστική ροή της αγωγιμότητας του ποταμού Κλαδισού είναι η Εισροή α', εξαιτίας του μεγάλου όγκου νερού, που προκαλεί την αραιώση του μικρού όγκου νερού των υπόλοιπων σημείων.

Τα **TDS** (Σχήμα 5.61), ακολουθούν την ίδια διακύμανση με αυτήν της αγωγιμότητας, καθώς έχουν αντίστοιχη μεταβολή. Οι τιμές τους κυμαίνονται από 123 mg/L έως 563 mg/L.

Η συγκέντρωση **χλωριόντων** (Σχήμα 5.61), κυμάνθηκε μεταξύ 24,99 έως 104,97 mg/L κατά την περίοδο μελέτης.

Η συγκέντρωση **νατρίου (Na)** (Σχήμα 5.61), κυμαίνεται από 7 έως και 60,70 mg/L.

Η συγκέντρωση **καλίου (K)**, κυμάνθηκε μεταξύ 0,10 έως 4,70 mg/L κατά την περίοδο μελέτης (Σχήμα 5.61). Η αιτία συγκέντρωσης του καλίου οφείλεται στις παραπάνω απορροές για τις οποίες έχει αναφερθεί ότι τροφοδοτούν τον Κλαδισό, περιλαμβάνουν και αγροτικές περιοχές όπου εντοπίζεται η χρήση λιπασμάτων.

Η συγκέντρωση **ασβεστίου (Ca)** (Σχήμα 5.61) κυμαίνεται από 22 έως 58,70 mg/L.

Οι εποχικές μεταβολές της συγκέντρωσης των χλωριόντων, του νατρίου, του καλίου και του ασβεστίου του ποταμού Κλαδισού ήταν όμοιες με τις μεταβολές που παρατηρούνται από το σημείο Ένωση α'+β', διαπιστώνεται όμως πως η ρυθμιστική ροή του ποταμού προέρχεται από το σημείο εισροή α' όπως αναφέρεται στην αγωγιμότητα. Σε όλη την διαδρομή του ποταμού έχουμε συγκεντρώσεις χλωριόντων, νατρίου καλίου και θειικών τα οποία δεν φαίνεται να συνδέονται με την διείσδυση θαλασσινού νερού κατά την επιφανειακή ροή του ποταμού, ο οποίος πηγάζει από ένα υψόμετρο, πιθανότερα ανθρωπογενής προέλευσης ή και γεωλογικής.

Η **σκληρότητα** (Σχήμα 5.61), κυμάνθηκε μεταξύ 110 και 410 mg/L κατά την περίοδο μελέτης με εποχικές μεταβολές σχετικά παράλληλες με αυτές των σημείων εισροή Αγία Βαρβάρα και του σημείου εισροή β'.

Η συγκέντρωση **θειικών ιόντων ( $\text{SO}_4^{2-}$ )** (Σχήμα 5.61) κυμάνθηκε μεταξύ 9 και 134 mg/L κατά την περίοδο μελέτης. Η συγκέντρωση θειικών στον ποταμό Κλαδισό, ακολουθεί παράλληλη εποχική μεταβολή με την συγκέντρωση των θειικών στα σημεία Αγία Βαρβάρα και εισροή Θέρισος α'.

Η **θολερότητα** (Σχήμα 5.61) έχει πολλές αυξομειώσεις κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών και κυμαίνεται μεταξύ 0,60-14,40 NTU. Η έντονη διακύμανση οφείλεται στα φερτά υλικά και τα αιωρούμενα σωματίδια ανόργανης ή οργανικής φύσης, η συγκέντρωση των οποίων επηρεάζεται από την ένταση της ροής του νερού του ποταμού.

**Σχήμα 5.61:** Μεταβολή της συγκέντρωσης pH, της αγωγιμότητας, των TDS, των χλωριόντων, της σκληρότητας, του νατρίου, καλίου και ασβεστίου (Na, Ca, K), των θεικών και της θολότητας (NTU), σε δείγματα νερού από τον ποταμό Κλαδισό την περίοδο 2018-2019.

Το **βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)** στο νερό των δειγμάτων, (Σχήμα 5.62) κυμάνθηκε από 0 έως 4 mg/L και το νερό χαρακτηρίζεται μέτρια ρυπασμένο από βιοαποικοδομήσιμη οργανική ρύπανση παρότι το μικροβιολογικό φορτίο, που παρουσιάζεται παρακάτω, ήταν πάρα πολύ υψηλό.

Η μέτρηση του **χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD)** (Σχήμα 5.62), κυμάνθηκε από 0 έως 14,70 mg/L. Σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας το COD είναι αρκετά χαμηλό, αντίθετα ανάντη στον σημείο Κλαδισός πιθανόν να υπάρχουν απορροές μη βιολογικά διασπώμενες, από επαγγελματική δραστηριότητα στην περιοχή.

**Σχήμα 5.62:** Μεταβολή της συγκέντρωσης του βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD), και του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) σε δείγματα νερού από τον ποταμό Κλαδισό την περίοδο 2018-2019.

Η συγκέντρωση **φαινολών** (Σχήμα 5.63) κυμάνθηκε από 0,11 έως 0,34 mg/L. Οι εποχικές μεταβολές της συγκέντρωσης φαινολών από τη σημείο Εισροή α΄ φαίνεται να είναι παράλληλες με αυτές που παρουσιάζονται στο διάγραμμα του ποταμού Κλαδισού. Λαμβάνοντας υπόψη την προέλευση του νερού, του ποταμού Κλαδισού, παρατηρείται ότι ο μεγάλος όγκος νερού του σημείου Εισροής α΄ (Σχήμα 5.48), προκαλεί σε αρκετές δειγματοληψίες την μείωση της συγκέντρωσης των φαινολών στον ποταμό Κλαδισό. Τον Ιανουάριο του 2018 παρατηρείται μια μικρή αύξηση των φαινολών στον ποταμό (0,28 mg/L), η οποία δεν φαίνεται να προέρχεται από καμιά άλλη εισροή.

Ο προσδιορισμός ανιχνεύσιμων συγκεντρώσεων **απορρυπαντικών** δεν ήταν συνεχής κατά την διάρκεια της μελέτης (Σχήμα 5.63) γεγονός που αναδεικνύει την σημειακή και μη συνεχή απορροή μέσω αστικών λυμάτων. Συγκέντρωση **ανιονικών** απορρυπαντικών μετρήθηκε μεταξύ 0,09 έως 0,33 mg/L σε μόλις 5 από τις 8 δειγματοληψίες.

Τα **μη ιονικά** απορρυπαντικά δεν εντοπίστηκαν στα δείγματα νερού του ποταμού Κλαδισού, καθώς και στο σημείο εισροή α΄ (Σχήμα 5.48), όπως φαίνεται η ποσότητα του όγκου νερού της εισροής α΄ επηρεάζει αρκετά τον τελικό αποδέκτη. Τέλος τα **κατιονικά** απορρυπαντικά εντοπίστηκαν με τιμές από 0,18 έως 0,47 mg/L.

**Σχήμα 5.63:** Μεταβολή της συγκέντρωσης των φαινολών και των απορρυπαντικών (anionic, nonion, cation) σε δείγματα νερού από τον ποταμό Κλαδισό την περίοδο 2018-2019.

Η συγκέντρωση των **αμμωνιακών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$ )** (Σχήμα 5.64), κυμάνθηκε από 0,07 έως 2,30 mg/L. Αξίζει να αναφερθεί ότι τον χειμώνα του 2018 η τιμή των αμμωνιακών ιόντων ήταν η μέγιστη και για τα 5 σημεία μελέτης. Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων αμμωνιακών ιόντων στα επιφανειακά νερά μπορεί να οφείλεται σε ανθρωπογενή λύματα ή σε εκπλύσεις γεωργικών εκτάσεων, επιβαρυσμένων με λιπάσματα.

Η συγκέντρωση των **νιτρικών ιόντων ( $\text{NO}_3^-$ )** (Σχήμα 5.64) κυμάνθηκε από 2,48 έως και 49,15 mg/L. Η διακύμανση της συγκέντρωσης των νιτρικών δεν χαρακτηρίζεται πάντα από έντονα εποχικές μεταβολές, δεικνύοντας την πιθανή συνεχή παρουσία νιτρικών ως απορροή κυρίως αστικών λυμάτων και νιτρικών λιπασμάτων (πιθανόν και αμμωνιακών μέσω νιτροποίησης) της αγροτικής περιοχής γύρω από τον ποταμό.

Η συγκέντρωση των **φωσφορικών ιόντων** κυμάνθηκε από 0 έως 1,12 mg/L κατά την περίοδο μελέτης. Οι υψηλές τιμές των φωσφορικών συμπίπτουν χρονικά με αυτές των ανιονικών απορρυπαντικών, πιθανόν διότι πολλά από τα απορρυπαντικά που χρησιμοποιούνται εμπεριέχουν πολυφωσφορικά για την αποσκλήρυνση του νερού.

**Σχήμα 5.64:** Μεταβολή της τιμής των αμμωνιακών, νιτρικών και φωσφορικών ιόντων σε δείγματα νερού από τον ποταμό Κλαδισό την περίοδο 2018-2019.



Η συγκέντρωση των **κοπρανωδών κολοβακτηριδίων (Faecalcoliforms)** (Σχήμα 5.65) κυμάνθηκε από 480 αποικίες/100 ml έως 39.400 αποικίες/100 ml.

Η συγκέντρωση **E-coli** (Σχήμα 5.65), κυμάνθηκε από 270 αποικίες/100 ml έως 31.760 αποικίες/100 ml.

Η συγκέντρωση **εντερόκοκκων (enterococcus)** (Σχήμα 5.65), κυμάνθηκε από 112 αποικίες/100 ml έως 12.880 αποικίες/100 ml.

Οι συγκεντρώσεις του μικροβιολογικού φορτίου σε όλα τα σημεία μελέτης ήταν αρκετά υψηλά. Στον τελικό όμως αποδέκτη ο οποίος δέχεται το μικροβιολογικό φορτίο των υπόλοιπων εισροών μετρήθηκαν αρκετά υψηλότερες συγκεντρώσεις μικροβιολογικών δεικτών. Παρά την απουσία αριθμητικών δεδομένων για την ποσότητα νερού ανά παραπόταμο, με βάσει τις τιμές του μικροβιολογικού φορτίου ανά σημείο δειγματοληψίας προκύπτει ότι στην ενδιάμεση περιοχή μέχρι την απόληξη του ποταμού Κλαδισού, υπάρχει επιπλέον απορροή ρυπαντικού φορτίου. Έτσι από τα διαγράμματα συγκεντρώσεων του μικροβιολογικού φορτίου στο σημείο Εισροή Αγία Βαρβάρα και στο σημείο Ένωση α' + β' δεν δικαιολογούν την αύξηση του μικροβιολογικού φορτίου στον σημείο δειγματοληψίας Κλαδισός.

**Σχήμα 5.65:** Μεταβολή της συγκέντρωσης του αριθμού αποικιών (αποικίες/100 ml) των κοπρανωδών κολοβακτηρίων (FC), της *Escherichia coli*, και του εντερόκοκκου σε δείγματα νερού από τον ποταμό Κλαδισό την περίοδο 2018-2019.

Συμπερασματικά παρατηρώντας συνολικά τις μεταβολές των τιμών των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού των παραποτάμων διαπιστώνεται ανάλογη τάση εποχιακής μεταβολής τους. Σημαντικές αυξήσεις παρατηρήθηκαν στο **μικροβιολογικό φορτίο** όλων των σημείων δειγματοληψίας. Οι παραπόταμοι έχουν μικροβιολογικό φορτίο όλο το χρόνο το οποίο υποδηλώνει μαζί με τις υπόλοιπες πηγές ρύπανσης ότι οφείλεται σε πιθανή διαρροή λυμάτων κοντά στις όχθες των ποταμών ή/και ζωικών αποβλήτων κοπρανόδους προέλευσης, γεωργικών αποβλήτων και λιπασμάτων. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα σε όλα τα σημεία μελέτης προκύπτει το συμπέρασμα ότι το μεγαλύτερο μικροβιολογικό φορτίο εμφανίζεται στο σημείο Εισροή β' καθώς και το τμήμα ποταμού μεταξύ Ένωση α'+β' μέχρι την γέφυρα του ποταμού Κλαδισού. στον ποταμό Κλαδισό. Τα νερά των παραποτάμων κατεβαίνουν μολυσμένα, και με μια ποσοτική μέτρηση των ροών νερού θα προκύψει η συμμετοχή κάθε εισροής.

Το **pH** είναι μέτρο οξύτητας των υδατικών συστημάτων και ως εκ τούτου επηρεάζει πολλές χημικές και βιολογικές διεργασίες. Οι μετρήσεις του pH με τιμές 6,5-8,5 παρουσίασαν μια εικόνα μέσα στα αποδεκτά πλαίσια για έναν υδάτινο αποδέκτη, με τιμές όμως που έτειναν προς τις αλκαλικές.

Το **Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD<sub>5</sub>)** παρουσιάζει χαμηλές τιμές για όλα τα ποτάμια, κυρίως από 0 έως 4 mg/L. Η μόνη συγκέντρωση που ξεπέρασε τα 4 mg/L ήταν του σημείου Εισροής β' με τιμή 6 mg/L. Το BOD είναι δείκτης που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της οργανικής κυρίως ρύπανσης του νερού από απορροές βιομηχανικών λυμάτων, και σε κτηνοτροφικά, γεωργικά και οικιακά λύματα.

Σε όλα τα σημεία μελέτης το **COD** είναι χαμηλό με εξαίρεση το σημείο Κλαδισός όπου η έντονη επαγγελματική δραστηριότητα ενδέχεται να παρουσιάζει απορροές με μη βιολογικά διασπώμενες, ενώσεις. Σύμφωνα με την νομοθεσία όμως τα απόβλητα που αποχετεύονται σε επιφανειακά ρέματα ή στη θάλασσα πρέπει να έχουν COD μικρότερο από 120 mg/L.

Η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων **αμμωνιακών ιόντων** στα επιφανειακά νερά κατά την διάρκεια της μελέτης μπορεί να οφείλεται σε ανθρωπογενή λύματα ή σε εκπτώσεις γεωργικών εκτάσεων.

Η διακύμανση της συγκέντρωσης των **νιτρικών ιόντων** δεν χαρακτηρίζεται πάντα από έντονα εποχικές μεταβολές, δεικνύοντας την πιθανή συνεχή παρουσία νιτρικών ως απορροή κυρίως αστικών λυμάτων και νιτρικών λιπασμάτων (πιθανόν και αμμωνιακών μέσω νιτροποίησης) της αγροτικής περιοχής γύρω από τον ποταμό. Το 2019 που είχαμε τις έντονες βροχοπτώσεις (το οποίο είχε και μεγάλο ύψος χιονοπτώσεων) πιθανόν να αιτιολογεί την διαφοροποίηση των τιμών μεταξύ των δύο υδρολογικών ετών όπως φάνηκε στα διαγράμματα από τα σημεία μελέτης.

Η συγκέντρωση των **φωσφορικών ιόντων** που εμφανίζεται στα επιφανειακά νερά οφείλεται σε φυσικής ή ανθρωπογενής προέλευσης. Η ρύπανση από τα φωσφορικά μπορεί να προκαλείται από την διάβρωση του εδάφους, τα φωσφορούχα λιπάσματα που εφαρμόζονται στις καλλιέργειες και τη απόρριψη βιομηχανικών αποβλήτων και οικιακών λυμάτων. Η διοχέτευση αυτού του ρυπογόνου φορτίου μπορεί να προκαλέσει την υπέρμετρη ανάπτυξη φωτοσυνθετικών, υδρόβιων φυκών ή μακρόφυτων που με τη σειρά του προκαλούν ευτροφισμό όπως παρατηρήθηκε στο σημείο του Κλαδισού τον Σεπτέμβριο του 2019.

Ο Κλαδισός ποταμός είναι το σημείο όπου καταλήγουν όλες οι άλλες εισροές και είναι εμφανές ότι δέχεται έντονη μικροβιολογική δραστηριότητα. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν βρίσκεται κοντά βιολογικός καθαρισμός αστικών αποβλήτων στα σημεία μελέτης. Οι μικροί οικισμοί που βρίσκονται γύρω από την περιοχή μελέτης και η εποχιακή αύξηση του πληθυσμού που είναι χαρακτηριστικό της περιοχής δημιουργούν συχνά τοπικά προβλήματα από την παραγωγή και διάθεση λυμάτων. Η διάθεση των αποβλήτων μπορεί να οφείλεται σε οικίες που έχουν απορροφητικούς βόθρους, γιατί για κάποιους λόγους (χαμηλότερο υψόμετρο και υψηλό κόστος των έργων που απαιτούνται) μέχρι και σήμερα δεν είναι δυνατόν να συνδεθούν με κάποιον βιολογικό καθαρισμό αστικών λυμάτων. Το σημαντικό είναι ότι το νερό από την γέφυρα Κλαδισού καταλήγει στην παράκτια ζώνη η οποία είναι περιοχή κολύμβησης και

επομένως απαιτεί προσοχή διότι, εάν αυτό το καθεστώς συνδυάζεται με την κολυμβητική περίοδο τότε έχουμε διάχυση ρύπανσης επικίνδυνης για την υγεία των λουομένων.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, για τον έλεγχο της ρύπανσης του ποταμού Κλαδισού καθώς και των παραποτάμων του, κρίνεται αναγκαίο ένα ολοκληρωμένο σχέδιο διαχείρισης για την περιοχή της λεκάνης απορροής του κάθε παραποτάμου. Τέλος, κρίνεται απαραίτητο να ληφθούν μέτρα, όπως η ενημέρωση των κατοίκων προκειμένου να γίνεται σωστή η διάθεση των αστικών λυμάτων της περιοχής για να αποφεύγεται η περαιτέρω επιβάρυνση του υδάτινου οικοσυστήματος καθώς και της υγείας των κατοίκων της περιοχής.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Τσώνης Στυλιανός Π. (2003), Καθαρισμός Νερού, Εκδόσεις Παπασωτηρίου Αθήνα.
2. Ευρωπαϊκές Κοινότητες, Οδηγία-Πλαίσιο περί Υδάτων, (2002), Το νερό είναι ζωή [Online]. Διαθέσιμο από:  
<https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/pdf/waterislifeel.pdf>  
[Προσβάσιμο στις 10 Δεκεμβρίου 2019].
3. Χαρκοπλιάς Κ. Χημικός (2013), Β Λυκείου: Δεσμός υδρογόνου, Φροντιστήριο "KENTRON" Καρδίτσα [Online]. Διαθέσιμο από:  
<http://charkopl.blogspot.com/2013/09/blog-post.html> [Προσβάσιμο στις 20 Ιανουαρίου 2020].
4. Manuel C. and Molles JR, Οικολογία Έννοιές Εφαρμογές, Μεταίχμιο και Περιβαλλοντική Τεχνική Γεωλογία.
5. USGS (Science for a changing world): Ο υδρολογικός κύκλος με μια ματιά, The Water Cycle, Greek, [Online]. Διαθέσιμο από:  
[https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/water-cycle-greek?qt\\_science\\_center\\_objects=0&qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/water-cycle-greek?qt_science_center_objects=0&qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects) [Προσβάσιμο στις 20 Ιανουαρίου 2020].
6. Βαβίζος Γ. και Βερροιοπουλος Φρέντερικ- Μπενταλι Γ., Εγχειρίδιο Μελέτης του Φυσικού Περιβάλλοντος, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
7. USGS (Science for a changing world), Water Resources, [Online]. Διαθέσιμο από:  
<http://water.usgs.gov/edu/graphics/greek/earthwheredistribution.gif> [Προσβάσιμο στις 10 Δεκεμβρίου 2019].
8. USGS (Science for a changing world): Επιφανειακή απορροή, The Water Cycle, Greek, [Online]. Διαθέσιμο από:  
[https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/water-cycle-greek?qt\\_science\\_center\\_objects=0&qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/water-cycle-greek?qt_science_center_objects=0&qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects) [Προσβάσιμο στις 20 Ιανουαρίου 2020].
9. Ν. 3199/2003 Προστασία και διαχείριση των υδάτων-Εναρμόνιση με την οδηγία ΕΟΚ 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 (Α'280).
10. Chave P. (2001), The EU Water Framework Directive: An Introduction, IWA Publishing House, London.
11. Chapra S. (1997), Surface Water-Quality Modeling, WCB/McGraw-Hill, Boston, MA.
12. Ξανθάκης Γ. (2015), Παρουσίαση με θέμα: Τα ποτάμια του κόσμου, [Online]. Διαθέσιμο από: <https://slideplayer.gr/slide/3118503/> [Προσβάσιμο στις 7 Φεβρουαρίου 2020].
13. Υδρογραφικά δίκτυα - Λεκάνες Απορροής,[Online]. Διαθέσιμο από:  
<http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge427y/pdf/askisi1.pdf> [Προσβάσιμο στις 23 Απριλίου 2020].
14. Σουλιος Γεώργιος Χ.,(1986), Γενική Υδρογεωλογία, Θεσσαλονίκη.
15. Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Καστρίου, (2016), Τα μυστικά του ποταμού,[Online]. Διαθέσιμο από :  
[file:///C:/Users/dbout/Desktop/%CE%9D%CE%AD%CE%BF%CF%82%20%CF%86%CE%AC%CE%BA%CE%B5%CE%BB%CE%BF%CF%82%20\(3\)%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CE%B5%CF%82/River\\_secrets%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/dbout/Desktop/%CE%9D%CE%AD%CE%BF%CF%82%20%CF%86%CE%AC%CE%BA%CE%B5%CE%BB%CE%BF%CF%82%20(3)%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CE%B5%CF%82/River_secrets%20(4).pdf). [Προσβάσιμο στις 24 Απριλίου 2020]

16. Αριανούτσου-Φαραγγιτάκη Μ., Οικονόμου-Αμίλλη Α., Κουμπλή-Σοβαντζή Λ. και Ρουσσομουστακάκη Μ. (2007), Γενική Οικολογία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
17. Όμορφος κόσμος μαγικός, 9 Μαρτίου 2016, Τα σημαντικά δέλτα των ποταμών, [Online]. Διαθέσιμο από: [http://aksioperierga.blogspot.com/2016/03/blog-post\\_9.html](http://aksioperierga.blogspot.com/2016/03/blog-post_9.html) [Προσβάσιμο στις 25 Απριλίου 2020].
18. Θωμαΐδου Χ., (2015), Η παρουσία των ποταμών στην παιδική λογοτεχνία, Πτυχιακή διατριβή, Θεσσαλονίκη [Online]. Διαθέσιμο από: <https://ikee.lib.auth.gr/record/281768/files/GRI-2016-16037.pdf> [Προσβάσιμο στις 6 Μαρτίου 2020].
19. Αγγελόπουλος Ε. (2017), Παρουσίαση με θέμα: Ποτάμια Γεωμορφολογία, [Online]. Διαθέσιμο από: <https://slideplayer.gr/slide/11245457/> [Προσβάσιμο στις 12 Φεβρουαρίου 2020].
20. Ψιλοβίκος Άρης, Οικοϋδραυλική, Εκδόσεις Τζιολα.
21. Δίκτυο Μεσόγειος SOS, Εξοικονόμηση νερού, Ολοκληρωμένο εκπαιδευτικό πρόγραμμα για τα σχολεία, Ρύπανση [Online]. Διαθέσιμο από : <http://watersave.gr/index.php/2013-11-08-12-12-08/62-2013-11-08-12-55-11> [Προσβάσιμο στις 10 Ιανουαρίου 2020].
22. Da Silva A.M.M. & Sacomani L.B. (2001), ‘Using chemical and physical parameters to define the quality of Pardo river water (Botucatu-SP-Brazil)’, Water research, 35: 1609-1616.
23. Mimikou M.A., Baltas E., Varanou E & Pantazis K. (2000), ‘Regional impacts of climate change on water resources quantity and quality indicators’, Journal of Hydrology, 234: 95-109.
24. Κατσαμπάνης (2005), Η Ποιότητα Των Επιφανειακών Νερών Στο Νομό Μεσσηνίας, Πτυχιακή διατριβή, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
25. Lai Y.C., Yang C.P., Hsieh C.Y., Wu C.Y. & Kao C.M. (2011), ‘Evaluation of nonpoint source pollution and river water quality using a multimedia two-model system’, Journal of Hydrology, 409: 583–595.
26. Da Silva A.M.M. & Sacomani L.B. (2001), ‘Using chemical and physical parameters to define the quality of Pardo river water (Botucatu-SP-Brazil)’, Water research, 35: 1609-1616.
27. Faulkner H., Edmonds-Brown V., Green A. (2000), ‘Problems of quality designation in diffusely polluted urban streams – the case of Pymme’s Brook, north London’, Environmental Pollution, 109: 91-107.
28. Τσιούρης Σωτήριος Ε., Θέματα Προστασίας Περιβάλλοντος.
29. Θαλάσσια βιολογία, Ρύπανση [Online]. Διαθέσιμο από: <https://sites.google.com/site/thalassiabiologia/anthropogeneis-epidraseis-sto-thalassio-periballon/rypanse> [Προσβάσιμο στις 10 Ιανουαρίου 2020].
30. Parr L.B. & Mason C.F. (2003), ‘Long-term trends in water quality and their impact on macroinvertebrate assemblages in eutrophic lowland rivers’, Water Research, 37: 2969-2979.
31. WHO Regional Office for Europe (2002), ‘Eutrophication and Health’, Luxemburg, 121.
32. Περιβαλλοντικές ευαισθησίες, Τρίτη 13 Ιανουαρίου 2015, [Online]. Διαθέσιμο από: [http://opag1gydr.blogspot.com/2015/01/blog-post\\_13.html](http://opag1gydr.blogspot.com/2015/01/blog-post_13.html), [Προσβάσιμο στις 26 Απριλίου 2020].

33. Τσούμας Γ.(2018), Διερεύνηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των υπόγειων υδάτων Δήμου Καρπενησίου, Πτυχιακή διατριβή, ΤΕΙ Κρήτης.
34. Ζανάκη Κ. (2001), Έλεγχος Ποιότητας Νερού, Εκδόσεις Ιων.
35. Λυδάκης-Σημαντήρης Ν., Γενική Χημεία & Ενόργανη Ανάλυση, Θέματα & Εργαστηριακές Ασκήσεις, Εκδόσεις Τζιολα.
36. LCRA, Water Quality Indicators, [Online]. Διαθέσιμο από: <https://www.lcra.org/water/quality/colorado-river-watch-network/pages/water-quality-indicators.aspx> [Προσβάσιμο στις 21 Ιανουαρίου 2020].
37. Αμμωνιακά ιόντα, [Online]. Διαθέσιμο από: <http://www.marlborough.govt.nz> [Προσβάσιμο στις 30 Ιανουαρίου 2020].
38. Horne A.J., & Goldman C.R. (1994), Limnology, 2nd edition. McGraw-Hill, Inc. 576 pp.
39. Οικονόμου-Αμίλλη Α. (2006), Λιμνολογία Λιμναία Και Ποτάμια Οικοσυστήματα, Εκδόσεις Κωσταράκη, Αθήνα.
40. Σταυρουλάκης Γ. (2017) Χανιά, Έλεγχος Ποιότητας Νερού, Εγχειρίδιο Εργαστηρίου.
41. Garelick H. & Jones H. (2009), ‘Environmental and Ecological Chemistry: Water Quality’, EOLSS, 2: 231-264.
42. De Wit M. & Bendoricchio G. (2001), ‘Nutrient Fluxes in the Po basin’, The Science of the Total Environment, 273: 147-161.
43. Parr L.B. & Mason C.F. (2003), ‘Long-term trends in water quality and their impact on macroinvertebrate assemblages in eutrophic lowland rivers’, Water Research, 37: 2969-1979.
44. MERCK, Test Kits and Photometric Methods.
45. Ελαιώνες Σακελλαροπούλου, Φαινόλες - Πολυφαινόλες Ελαιόλαδου, [Online]. Διαθέσιμο από : <https://www.bioarmonia.gr/el/%CE%B4%CE%B7%CE%BC%CE%BF%CF%83%CE%B9%CE%B5%CF%8D%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/item/75-%CF%86%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CF%8C%CE%BB%CE%B5%CF%82> [Προσβάσιμο στις 7 Μαρτίου 2020].
46. Thurman C. Phenol. In: Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology, 3rd ed., Vol 17. New York, NY: John Wiley and Sons, 373384. 1982
47. Parkhurst BR, Bradshaw AS, Forte JL, et al. An evaluation of the acute toxicity to aquatic biota of a coal conversion effluent and its major components. Bull Environ Contam Toxicol 23:349-356:1979.
48. Keith LH. Identification of organic compounds in unbleached treated Kraft paper mill wastewaters. Environ Sci Technol 10:555-564:1976.
49. Goerlitz DF, Troutman DE, Gody EM, et al. Migration of woodpreserving chemical in contaminated groundwater in a sand aquifer at Pensacola, Florida. Environ Sci Technol 19:955-961:1985
50. Hawley GG. The condensed chemical dictionary. Loth Ed. New York, NY: Van Nostrand Reinhold Co, 796, 1981.
51. Budavari S, O’Neil MJ, Smith A, et al. Eds. The Merck index, 11th ed. Rahway, NJ: Merck & Co., Inc., 7206, 1989.
52. Douglas CC. Gas chromatographic determination of phenolic compounds in drug preparations: Collaborative study. J Assoc Off Anal Chem 55:610-612:1972.
53. Musto JD, Sane JN, Warner VD. Quantitative determination of phenol by high-pressure liquid chromatography. J Pharm Sci 66:1201-1202:1977.

54. Πιτυριγκα Β. Ιατρός Βιοπαθολόγος (2016), Παρουσίαση με θέμα : Μικροβιολογία Περιβάλλοντος: Μικροβιακή ποικιλία και οικολογία, συμβίωση, οικοσυστήματα ποιότητα, υγιεινή και ασφάλεια υδάτινου περιβάλλοντος, [Online]. Διαθέσιμο από: <https://slideplayer.gr/slide/6369328/> [Προσβάσιμο στις 6 Φεβρουαρίου 2020].
55. Ποταμός Κλαδισός, [Online]. Διαθέσιμο από: <https://greece.terrabook.com/el/chania/page/potamos-kladisos/> [Προσβάσιμο στις 25 Ιανουαρίου 2020].
56. Κύρου Μαρία, (2010), Ανάλυση των φυσικοχημικών και μικροβιολογικών παραμέτρων ποιότητας των νερών παραποτάμων και πηγών της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη, Πτυχιακή διατριβή, ΤΕΙ Κρήτης.
57. Google Earth pro, χάρτες περιοχών δειγματοληψίας.



**ΜΠΟΥΤΡΟΥ ΕΛΕΝΗ**  
**ΧΑΝΙΑ 2020**