



**«Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα στην περιοχή του νομού Χανίων»**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΝΔΡΟΥΤΣΟΥ-ΒΑΣΙΛΑΚΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ**

**Επιβλέπων**

**Καθηγητής Γιώργος Σταυρουλάκης**

**ΧΑΝΙΑ 2018**



***«Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων σε επιφανειακά και  
υπόγεια ύδατα στην περιοχή του νομού Χανίων»***

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΝΔΡΟΥΤΣΟΥ-ΒΑΣΙΛΑΚΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ**

Επιβλέπων : Καθηγητής Γ Σταυρουλάκης

Επιτροπή Αξιολόγησης : Αναπλ Καθηγήτρια Κατσίβελα Ελευθερία  
Επικ Καθηγήτρια Κώππη Σπυριδούλα Μελίνα

Ημερομηνία παρουσίασης

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας : 69

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΝΕΡΟ.....	6
1.1 Νερό.....	6
1.2 Δομή του νερού.....	6
1.3 Ιδιότητες του νερού.....	7
Φυσικές ιδιότητες.....	7
Φυσικοχημικές ιδιότητες.....	7
1.4 Επιφανειακά νερά.....	8
1.5 Υπόγεια νερά.....	9
1.6 Η κατανομή του νερού.....	9
1.7 Υδρολογικός κύκλος.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΤΑ ΠΤΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	11
2.1 Γενικό πρόβλημα.....	11
2.2 Το πρόβλημα της λειψυδρίας.....	11
2.3 Υποβάθμιση του νερού.....	12
2.4 Πόλεμος για το νερό.....	14
2.5 Η κατάσταση στη χώρα μας.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΡΥΠΑΝΣΗ.....	18
3.1 Γενικά.....	18
3.2 Ρύπανση υδάτων.....	18
Κατηγορίες κύριων ρύπων.....	19
3.3 Ρύπανση υπόγειων υδάτων.....	21
Πηγές ρύπανσης υπόγειων υδάτων.....	21
3.4 Επιπτώσεις.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....	25
4.1 Βαρέα Μέταλλα.....	25
4.2 Χρώμιο Cr.....	25
4.3 Χαλκός Cu.....	26
4.4 Μαγγάνιο Mn.....	26
4.5 Μαγνήσιο Mg.....	27
4.6 Νικέλιο Ni.....	27
4.7 Σίδηρος Fe.....	28
4.8 Ψευδάργυρος Zn.....	29
4.9 Μόλυβδος Pd.....	29
4.10 Πηγές εισροής βαρέων μετάλλων.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	30
5.1 Ιστορική αναδρομή.....	31
5.2 Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης.....	31
5.3 Πηγή ακτινοβολίας.....	34
5.4 Σύστημα ατομοποίησης.....	36
Ατομοποίηση με φλόγα.....	36
Ηλεκτροθερμική ατομοποίηση με φούρνο γραφίτη.....	37
5.5 Μονοχρωμάτορας.....	38
Τρόπος λειτουργίας.....	39
5.6 Ανιχνευτής.....	39
Φωτοπολλαπλασιαστές.....	39
Ανιχνευτής συστοιχίας φωτοδιόδων.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 :.....	40
6.2 Περιοχή δειγμάτων.....	41
6.3 Υλικά και μέθοδοι.....	41
Διαδικασία.....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>
6.4 Αναλύσεις-Μετρήσεις.....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>

Παρασκευή προτύπων διαλυμάτων.....	44
Βήματα λειτουργίας της φλόγας ατομικής απορρόφησης.....	46
Βήματα λειτουργίας φούρνου γραφίτη.....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>
6.5 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων .....	49
6.6 Συμπεράσματα .....	67
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	68

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Σταυρουλάκη Γεώργιο , για την ανάθεση και επίβλεψη της πτυχιακής μου εργασίας αλλά και για την προθυμία του να πραγματοποιήσω παράλληλα και την πρακτική μου άσκηση στον χώρο του εργαστηρίου, δίνοντάς μου τη δυνατότητα να εξοικειωθώ και να αποκτήσω πληρέστερη γνώση των πειραματικών μεθόδων που αφορούν την ποιότητα νερού.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Παπαφιλιππάκη Ανδρονίκη για το ενδιαφέρον και την πολύτιμη βοήθεια , καθώς και την καθοδήγησή της κατά τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα παιδιά από το εργαστήριο που με βοήθησαν έμπρακτα άλλα και όλους τους υπόλοιπους που με στήριξαν όλα αυτό το διάστημα.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πτυχιακή αυτή εργασία πραγματοποιήθηκε στο Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος του Τ.Ε.Ι Κρήτης στο εργαστήριο ελέγχου ποιότητας υδατικών και εδαφικών πόρων με την επίβλεψη του Δρ.Γ.Σταυρουλακη κατά τη χρονική περίοδο 2015 – 2017 . Από τις δειγματοληψίες νερού που πραγματοποιήθηκαν μετρήθηκαν εννιά βαρέα μέταλλα ( Cr, Cu , Mn , Fe , Pb ,Ni , Mg , Cd ). Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη των βαρέων μετάλλων στη περιοχή του Αποκόρωνα αλλά και της ευρύτερης περιοχής της Κρήτης. Ο προσδιορισμός τους έγινε με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης. Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία περιλαμβάνει τη μελέτη εννιά βαρέων μετάλλων και αναφέρει τους λόγους για τους οποίους είναι σημαντικό να τα μελετήσουμε, πως εισέρχονται στο περιβάλλον καθώς και τι προκαλούν σε αυτό, πως εισέρχονται και εξέρχονται στον οργανισμό μας και ποιες είναι οι επιπτώσεις στην υγεία των έμβιων οργανισμών μετά από έκθεση σε αυτά.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν γίνεται αρχικά μια σύντομη αναφορά σε ορισμούς για το επιφανειακό και το υπόγειο νερό καθώς και για τις ιδιότητες και τα προβλήματα που το διέπουν. Επίσης γίνεται μια ανάλυση στους ρύπους και στις κύριες πηγές τους. Στη συνέχεια υπάρχει ένα κεφάλαιο όπου γίνεται αναφορά στα βαρέα μέταλλα και στους τρόπους εισροής τους στον υδατικό κύκλο αλλά και στις επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία. Μετά ακολουθεί μια αναλυτική περιγραφή της μεθόδου ανάλυσης και του οργάνου όπου έγιναν οι μετρήσεις . Τέλος, γίνεται η παρουσία των αποτελεσμάτων, τα γραφήματα και τα συμπεράσματα.

## **Identification of heavy metals in surface and underground water in Chania region.**

### **ABSTRACT**

This senior thesis took place in the Natural Resources and Environment Department of the Technical Educational Institute of Crete in the water quality and soil resources control laboratory under Dr. G. Stavroulakis' supervision during 2015-2017.

First, the water sampling was performed and nine heavy metals were detected and measured (Cr, Cu, Mn, Fe, Pb, Ni, Mg, Cd). The aim of this paper is to study these heavy metals in Apocoronas region as well as in the broader area of Crete. Their identification was made by atomic absorption spectroscopy. This thesis presents these nine metals and explains the importance of their analysis, the ways they enter the environment and how they affect it, how they inflow and outflow the human organism and in what ways this is affected after exposure.

In the chapters that follow, there is a brief mentioning of the definitions of surface and underground water as well as their characteristics and issues. Furthermore, both pollutants and sources are analyzed. A separate chapter explains heavy metals and their inflow into the water cycle as well as their impact on human health. In addition, a detailed description of both the analytical methods and the instrument used to make the measurements is given. Finally, this senior thesis ends with the presentation of the results, the graphs and the conclusions of this study.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΝΕΡΟ

## 1.1Νερό

Το νερό (Υδωρ στην αρχαία ελληνική και στην καθαρεύουσα, water στα αγγλικά), ή οξιδάνιο κατά χημική ονοματολογία, είναι η περισσότερο διαδεδομένη ανόργανη χημική ένωση στην επιφάνεια της Γης, αφού καλύπτει το 70,9% του πλανήτη μας, στη φύση του οποίου, το νερό υπάρχει στην αέρια κατάσταση (οπότε ονομάζεται υδρατμός), στην υγρή κατάσταση και στη στερεή κατάσταση (οπότε ονομάζεται πάγος). Το νερό έχει βρεθεί και στην κατάσταση υγρού κρυστάλλου, κοντά σε υδρόφιλες επιφάνειες. Το (χημικά καθαρό) νερό, στις «κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος» (δηλαδή σε θερμοκρασία 25°C και υπό πίεση 1 atm), βρίσκεται σε μια δυναμική ισορροπία υγρού - αερίου, με κύρια φάση την υγρή. Είναι άγευστο και άοσμο, σχεδόν άχρωμο και διαυγές, αλλά εμφανίζει μια γαλάζια χροιά όταν βρίσκεται σε βαθιά στρώματα.

Το νερό μέχρι το 18<sup>ο</sup> αιώνα θεωρούνταν ως στοιχείο. Πρώτος ο Λαβουαζιέ απέδειξε ότι είναι ένωση του οξυγόνου και του υδρογόνου. Κάθε μόριο περιέχει δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου. Ο χημικός του τύπος είναι H<sub>2</sub>O και η σχετική αναλογία βαρών του υδρογόνου και του οξυγόνου είναι 2.016:16.000. Με την ανακάλυψη των σταθερών ισότοπων οξυγόνου το 1929 και του δευτέρου του 1932 ήταν προφανές, ότι φυσικά το νερό είναι πραγματικά ένα μίγμα αρκετών ειδών που διαφέρει ως προς το μοριακό βάρος .

Πολλές ουσίες διαλύονται στο νερό και γι' αυτό επονομάστηκε «παγκόσμιος διαλύτης» (universal solvent). Εξαιτίας αυτής της τεράστιας ικανότητας διάλυσης που διαθέτει, εξαιρετικά σπάνια βρίσκεται στη φύση σε σχετικά καθαρή μορφή και κάποιες ιδιότητες των διαλυμάτων του ή και του φυσικού νερού δεν ταυτίζονται με τις αντίστοιχες της ίδιας της χημικά καθαρής ένωσης. Ωστόσο, υπάρχουν και σημαντικές ουσίες που είναι δυσδιάλυτες, αν όχι τελείως αδιάλυτες στο νερό, όπως για παράδειγμα λίπη, έλαια και άλλες μη πολικές ουσίες. Το νερό είναι η μόνη συνηθισμένη ουσία που βρίσκεται με φυσικό τρόπο και στις τρεις κανονικές καταστάσεις της ύλης και είναι απαραίτητο σε όλες τις γνωστές μορφές ζωής στον πλανήτη μας.

Το νερό είναι η μοναδική από τις συνηθισμένες ενώσεις, που στη στερεή μορφή του (πάγος), είναι ελαφρύτερη από την υγρή (πυκνότητα πάγου σε 0 ο C ίση με 0,91659 kg/L και πυκνότητα υγρού σε 0 ο C ίση με 0,99980 kg/L), με αποτέλεσμα την επίπλευση των πάγων και τη διατήρηση της υδρόβιας πανίδας, είναι δηλαδή ο κύριος παράγοντας ο οποίος διαμορφώνει το φυσικό τοπίο. Μέσω των διεργασιών διάβρωσης και μεταφοράς ιζημάτων, το νερό συμβάλλει στο σχηματισμό κοιλάδων, πλημμυρικών πεδιάδων, εκβολών δέλτα, παραλιών καθώς και σπηλαίων.

Η επιστήμη εδώ και χρόνια δέχεται, ότι η ζωή γεννήθηκε στο νερό και ότι η ύπαρξη του είναι αναγκαία για την διατήρηση και την ανάπτυξη της. Είναι κύριο συστατικό των έμβιων όντων, αφού το 70% περίπου του βάρους των οργανισμών οφείλεται στην ποσότητα νερού που περιέχουν. Ενώ υπάρχουν μορφές ζωής που δεν έχουν ανάγκη το οξυγόνο , δεν υπάρχουν οργανισμοί που μπορούν να ζήσουν χωρίς νερό. Όπως έχει πει και ο Αριστοτέλης είναι ένα από τα τέσσερα στοιχεία τα οποία μαζί με τη φωτιά, τον αέρα, και τη γη συνθέτουν τον κόσμο.[1]

## 1.2Δομή του νερού

Το μόριο του νερού δεν είναι γραμμικό, δηλαδή οι δεσμοί O-H δε βρίσκονται πάνω στην ίδια ευθεία, αλλά σχηματίζουν γωνία 104,5°. Το μήκος του δεσμού O-H είναι 0,96 Å. Λόγω της γωνιακής διάταξης του δεσμού O-H, το μόριο του νερού είναι ασύμμετρο και έχει υψηλή διπολική ροπή. Το κέντρο του θετικού φορτίου βρίσκεται προς την πλευρά του

υδρογόνου και του αρνητικού προς την πλευρά του οξυγόνου. Ο υψηλός πολικός χαρακτήρας του μορίου εξηγεί τη μεγάλη του διηλεκτρική σταθερά (78 στους 25°C) και άλλες ιδιότητες αυτού, όπως είναι η διάλυση ιοντικών ενώσεων, ιδιότητα που το καθιστά το καλύτερο διαλυτικό μέσο.

Το νερό παρουσιάζει έντονα το φαινόμενο της σύζευξης, με τη δημιουργία μεταξύ των μορίων του δεσμών υδρογόνου. Τα μόρια δηλαδή του νερού σχηματίζουν γέφυρες μεταξύ του ηλεκτροθετικού υδρογόνου ενός μορίου και του ηλεκτραρνητικού οξυγόνου άλλου μορίου. Δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των μορίων του νερού, εξακολουθούν να υπάρχουν και σε υψηλή σχετικά θερμοκρασία, όπως το μόλις λιωμένο νερό στο οποίο έχουν σπάσει το 15 % των δεσμών υδρογόνου. Έτσι, στους 25 °C ο αριθμός των δεσμών υδρογόνου μεταξύ των μορίων του νερού έχει τέτοια τιμή, ώστε ο στοιχειομετρικός τύπος του, στους 25 °C, δεν είναι ο γνωστός H<sub>2</sub>O, αλλά H<sub>180</sub>O<sub>90</sub>. Αυτοί οι σχηματισμοί είναι αποτέλεσμα των δεσμών υδρογόνου και ονομάζονται παγοειδή συγκροτήματα, ενώ το μοντέλο που περιγράφει τη συμπεριφορά του νερού με αυτόν τον τρόπο ονομάζεται *ταλαντευόμενο συγκρότημα*. [3]

### 1.3 Ιδιότητες του νερού

Η δομή του νερού αν και είναι εξαιρετικά απλή του χαρίζει μοναδικές φυσικοχημικές ιδιότητες που το κάνουν μοναδικό για τη δημιουργία και τη διατήρηση της ζωής στη γη. Οι ιδιότητες αυτές οφείλονται στο ότι

- Το μόριό του είναι πολύ μικρό,
- Είναι πολικό
- Μεταξύ των μορίων του σχηματίζονται δεσμοί υδρογόνου.

#### Φυσικές ιδιότητες

Το νερό είναι υγρό, διαυγές, άχρωμο σε λεπτά στρώματα, κυανίζον σε μεγάλους όγκους. Η καθαρή ουσία είναι άγευστη, ενώ το καλό πόσιμο νερό έχει ευχάριστη γεύση, που οφείλεται στα διαλυμένα άλατα και αέρια. Η πυκνότητα του νερού είναι διαφορετική σε διάφορες θερμοκρασίες, με μέγιστη στους 4 °C.

Οι πάγοι επιπλέουν στο νερό και δρουν ως μονωτικά, εμποδίζοντας το νερό που βρίσκεται από κάτω να παγώσει, μ' όλες τις ευεργετικές συνέπειες στη ζωή του υδρόβιου κόσμου. Χωρίς την "ανωμαλία" αυτή της πυκνότητας του νερού, η ζωή στον πλανήτη μας δε θα υπήρχε, τουλάχιστον με τη σημερινή της μορφή, εξαιτίας της βαθμιαίας ψύξης του νερού της επιφάνειας της Γης.

#### Φυσικοχημικές ιδιότητες

- Μεγάλη συνοχή

Οι δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των μορίων του νερού δημιουργούν ένα πλέγμα, που εκτείνεται σ' όλη τη μάζα του.

- Συνάφεια με άλλα σώματα

Το νερό μπορεί να αναπτύξει δυνάμεις συνάφειας με τα περισσότερα υλικά σώματα. Γι' αυτό και ορισμένα σώματα διαβρέχονται, όταν βυθιστούν στο νερό, γιατί αποτελούνται από πολικά μόρια, ενώ άλλα, που αποτελούνται από μη πολικά μόρια, όχι.

- Χαμηλό ιξώδες

Η ύπαρξη πάρα πολλών δεσμών υδρογόνου, μεταξύ των μορίων του νερού, δεν τα εμποδίζει από το να γλιστρούν, σχετικά εύκολα, το ένα προς το άλλο και έτσι να προσδίδουν στο νερό χαμηλό ιξώδες.

- Μεγάλη ειδική θερμοχωρητικότητα

Αύξηση της θερμοκρασίας μιας ποσότητας νερού, προϋποθέτει αύξηση της κινητικής κατάστασης των μορίων του. Αυτό μπορεί να γίνει με τη διάσπαση των δεσμών υδρογόνου, που υπάρχουν μεταξύ των μορίων του νερού και τα μόρια αρχίζουν να κινούνται πιο ελεύθερα. Η διάσπαση των δεσμών υδρογόνου όμως, απαιτεί μεγάλα ποσά θερμικής ενέργειας και γι' αυτό το νερό έχει μεγάλη ειδική θερμοχωρητικότητα. Έτσι η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται αργά, όταν βρίσκεται σε θερμότερο περιβάλλον, ενώ αντίθετα, διατηρείται σταθερή, για μεγάλο χρονικό διάστημα, όταν βρίσκεται σε ψυχρότερο.

- Μεγάλη ειδική θερμότητα εξαέρωσης

Το νερό εξαερώνεται, όταν τα μόρια του αποκτήσουν ικανή κινητική ενέργεια, ώστε να σπάσουν τους δεσμούς υδρογόνου, που έχουν μεταξύ τους και να αρχίσει η απόσπασή τους από την υπόλοιπη μάζα του νερού. Η εξάτμιση επιτυγχάνεται με τη προσφορά μεγάλων ποσών θερμότητας στο νερό ή με την απόκτηση της απαιτούμενης ενέργειας, από άλλα γειτονικά μόρια.

- Μεγάλη επιφανειακή τάση

Επιφανειακή τάση είναι η τάση που έχουν τα υγρά να ελαττώνουν την επιφάνειά τους και οφείλεται στις ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων των υγρών, που τείνουν να αναγκάσουν τα μόρια να πλησιάσουν όσο το δυνατό περισσότερο μεταξύ τους.

- Μεγάλη διαλυτική ικανότητα

Το νερό είναι ένα αποτελεσματικό διαλυτικό μέσο. Αυτό οφείλεται στην ικανότητά του να σχηματίζει δεσμούς υδρογόνου με όσες χημικές ουσίες διαθέτουν πολικότητα στα μόριά τους ή βρίσκονται σε μορφή ιόντων. Έτσι, στο νερό μπορεί να διαλυθεί ένα ευρύ φάσμα χημικών ουσιών, όπως για παράδειγμα, άλατα, αέρια, σάκχαρα, αμινοξέα, μικρά νουκλεϊνικά οξέα και πρωτεΐνες, πράγμα αδύνατο για άλλα συνηθισμένα υγρά.

- Χημική αδράνεια

Το νερό είναι σχετικά χημικά αδρανές, δηλαδή δεν αντιδρά με τις ουσίες που διαλύει.

- Σχετικά καλός αγωγός της θερμότητας

Επιτρέπει με μεγάλη ευκολία τη διάδοση της θερμότητας στο εσωτερικό του.[3]

## 1.4 Επιφανειακά νερά

Στην κατηγορία των επιφανειακών νερών περιλαμβάνονται υδατικά ρεύματα (ρυάκια), ποταμοί, λίμνες, υδάτινοι ταμειυτήρες καθώς και υγροβιότοποι. Εξαιτίας του γεγονός ότι τα νερά αυτά συναντώνται στην επιφάνεια μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν. Επίσης, τα επιφανειακά νερά και τα σχετικά οικοσυστήματα συμβάλλουν στην ανάπτυξη ζωής, φυτών ή ζώων.

Η ροή του νερού στα υδάτινα ρεύματα ποικίλλει ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Μερικά υδατικά ρεύματα χαρακτηρίζονται από μικρό ετήσιο όγκο νερού σε σχέση με το μεγάλο μέγεθος της περιοχής απορροής ενώ σε άλλα υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση νερού από αυτό που μπορούν να προσφέρουν χωρίς τη χρήση ταμειυτήρων αποθήκευσης.

Τα υδατικά ρεύματα αποτελούν σημαντικό μέρος του περιβάλλοντος και αποτελούν δείκτες για την κατάσταση που επικρατεί σε υγροβιότοπους. Τα υδατικά ρεύματα που ρέουν σε υγροβιότοπους περιλαμβάνουν νερά που προέρχονται από περιοχές ανάντη του ποταμού, όχθες, κανάλια, πλημμυρικές πεδιάδες, λίμνες που επικοινωνούν μεταξύ τους, μικρές λίμνες και υπόγεια νερά

Ως λεκάνη απορροής χαρακτηρίζεται μια περιοχή που πληρώνεται από ένα υδατικό ρεύμα. Τα φυσικά χαρακτηριστικά μιας λεκάνης απορροής (χρήση γης, τύπος εδάφους, γεωλογία, βλάστηση, κλίση επιφανείας και τοπίο) καθώς και το κλίμα καθορίζουν την ποσότητα και την ποιότητα των νερών που ρέουν από τις λεκάνες. Οποιαδήποτε αλλαγή των χαρακτηριστικών αυτών είναι πιθανό να επηρεάσει την ποιότητα και ποσότητα των νερών.



Το νερό κινείται προς την κατεύθυνση εκείνη όπου συναντά την μικρότερη αντίσταση. Καθώς το νερό κινείται μέσα στη λεκάνη απορροής συμπαρασύρει ή εναποθέτει ιζήματα, όγκους εδαφών και πετρωμάτων και με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται διάφορες δίοδοι. Οι δίοδοι αυτές (κανάλια, ταμειυτήρες και πλημμυρικές πεδιάδες) επηρεάζονται από φυσικές και ανθρώπινες δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στη λεκάνη απορροής. Οι φυσικές διεργασίες μεταφοράς ιζημάτων και εναπόθεσης είναι πολύ σημαντικές όσον αφορά στο σχηματισμό των διόδων.

Η μεταφορά ιζημάτων εντός και από τη λεκάνη απορροής είναι μια από τις πιο σημαντικές διεργασίες που συμβάλλουν στη διαμόρφωση του σχήματος της επιφάνειας της γης. Τα ιζήματα ταξινομούνται ανά μέγεθος, δηλαδή τα μικρότερα είναι η άργιλος και τα μεγαλύτερα οι κροκάλες. Τα μικρότερα σωματίδια συνήθως μεταφέρονται εν αιωρήσει, ενώ τα μεγαλύτερα μετακινούνται κατά μήκος του πυθμένα των καναλιών μέσω κύλισης, ολίσθησης ή αναπήδησης.[4]

## 1.5 Υπόγεια νερά

Το υπόγειο νερό είναι αυτό που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, ανεξαρτήτως κατάστασης, βάθους και προέλευσης. Τα υπόγεια νερά αποτελούν μέρος του υδρολογικού κύκλου και αντιστοιχούν σε 0,61% του συνολικού νερού στον πλανήτη. Η κυριότερη προέλευσή τους είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (μετεωρικά νερά). Μικρό ποσοστό των υπόγειων νερών είναι μαγματικής ή κοσμικής προέλευσης, που εισέρχεται για πρώτη φορά στον υδρολογικό κύκλο. Το συγγενετικό (connate) είναι νερό που δεν έχει έλθει σε επαφή με την ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Το μαγματικό και το μεταμορφωμένο νερό συνδέονται με την άνοδο του μάγματος και τις διαδικασίες της μεταμόρφωσης των πετρωμάτων, αντίστοιχα. Το νερό εισέρχεται στο υπέδαφος από την επιφάνεια του εδάφους, είτε κατευθείαν από τις βροχοπτώσεις, είτε από σώματα επιφανειακού νερού (ποτάμια, λίμνες). Μετά κινείται αργά σε ποικίλες αποστάσεις μέχρι να επιστρέψει στην επιφάνεια του εδάφους είτε με φυσική εκφόρτιση (πηγές), είτε με ανθρώπινη παρέμβαση (πηγάδια, γεωτρήσεις), είτε τέλος με τη διαπνοή των φυτών. Ο χρόνος παραμονής του υπόγειου νερού στο υπέδαφος αποτελεί την ηλικία του νερού, η οποία μπορεί να προσδιορισθεί με φυσικά ραδιοϊσότοπα, κυρίως το τρίτιο ( $H_3$ ) και τον άνθρακα 14 ( $C_{14}$ ). Διήθηση είναι η προς τα κάτω κίνηση του νερού από την επιφάνεια προς τα εδαφικά στρώματα και τα πετρώματα. Το υπόγειο νερό ξεκινά ως κατακρήμνισμα.

Οι κυριότερες παράμετροι του υπόγειου νερού είναι:

- Φυσικές (θερμοκρασία, χρώμα, θολότητα, οσμή, ραδιενέργεια)
  - Χημικές (pH, Αγωγιμότητα, Σκληρότητα, Αλκαλικότητα, Δυναμικό οξειδοαναγωγής)
- Κύρια ιόντα:  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$   
Δευτερεύοντα ιόντα:  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ,  $F^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $Al^{3+}$  κ.ά.  
Βαρέα μέταλλα:  $Pb^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $As^{3+}$ ,  $Cd^{2+}$  κ.ά.  
Θρεπτικές ενώσεις του N, P  
Πρωτεΐνες, Οργανικές ενώσεις, Αέρια ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ )[5]

## 1.6 Η κατανομή του νερού

Το μεγαλύτερο ποσοστό των υδατικών αποθεμάτων ανήκει στους ωκεανούς (97%) και μόνο ένα μικρό ποσοστό της τάξης του 3% είναι γλυκό νερό. Από το μικρό αυτό ποσοστό των γλυκών αποθεμάτων το 77% ανήκει στους παγετώνες, το 22% είναι υπόγειο νερό και το υπόλοιπο 1% κατανέμεται στις λίμνες (61%), στους ποταμούς (1%) και στην υγρασία της

ατμόσφαιρας και του εδάφους (38%).Μόνο το 0,6% του νερού σε παγκόσμια κλίμακα θεωρείται κατάλληλο και διατίθεται για χρήση. Είναι προφανές ότι η ποσότητα του καθαρού νερού στη γη είναι πολύ μικρή και η διατήρησή του είναι ζωτικής σημασίας.

Ακόμα και αυτό το μικρό ποσοστό κατάλληλου για χρήση νερού είναι ανομοιόμορφα κατανομημένο στο χώρο. Υπάρχουν χώρες που έχουν μεγάλες ελλείψεις και άλλες οι οποίες έχουν αφθονία νερού. Ακόμα και στο εσωτερικό των χωρών πολλές φορές υπάρχει ανομοιομορφία στην κατανομή του, έτσι ώστε πολλές φορές να προκαλούνται διενέξεις μεταξύ των χρηστών. Η διαθεσιμότητα στο χρόνο είναι πάλι άνιση αφού το νερό του χειμώνα χρειάζεται περισσότερο το καλοκαίρι. Το μικρό ποσοστό κατάλληλου για χρήση νερού, η άνιση χωροχρονική κατανομή του αλλά και η συνεχώς κακή διαχείρισή του, καθιστούν το νερό αγαθό σε ανεπάρκεια.[6]

## 1.7Υδρολογικός κύκλος



Εικόνα 1 : Υδρολογικός κύκλος [2]

Ο κύκλος του νερού (γνωστός και ως υδρολογικός κύκλος) είναι η συνεχής ανακύκλωση του νερού της Γης μέσα στην υδρόσφαιρα, στην ατμόσφαιρα και στη λιθόσφαιρα (έδαφος, υπέδαφος). Το συνεχές της κυκλικής διαδικασίας του κύκλου του νερού επιτυγχάνεται εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας

Το νερό του πλανήτη αλλάζει συνεχώς φυσική κατάσταση, από τη στερεά μορφή των πάγων στην υγρή μορφή των ποταμών, λιμνών και των θαλασσών και την αέρια κατάσταση των υδρατμών.

Πιο συγκεκριμένα, λόγω της θέρμανσης και των ανέμων στην επιφάνεια της γης, τα νερά της εξατμίζονται και μαζεύονται ως υδρατμοί δημιουργώντας τα σύννεφα. Οι υδρατμοί συμπυκνώνονται, υγροποιούνται και στη συνέχεια πέφτουν ως βροχή ή άλλες μορφές νερού, εμπλουτίζοντας έτσι τις αποθήκες νερού της γης, είτε είναι αυτές επιφανειακές, όπως οι θάλασσες και οι λίμνες, είτε είναι υπόγειες.

Ο κύκλος του νερού αποτελεί αντικείμενο του επιστημονικού κλάδου της Υδρολογίας για ότι συμβαίνει ή παρατηρείται στο έδαφος και της Μετεωρολογίας για ότι συμβαίνει εξ αυτού στην ατμόσφαιρα.[2]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

### 2.1 Γενικό πρόβλημα

Το νερό είναι ταυτισμένο με την ύπαρξη της ζωής. Σήμερα, η έλλειψη του νερού μπορεί να αποτελέσει το πιο σοβαρό εμπόδιο για την ανάπτυξη σε πολλές περιοχές. Περισσότεροι από 1 δις κάτοικοι δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό νερό. Παράλληλα, οι αρδευόμενες εκτάσεις επεκτείνονται, ενώ η παραγωγικότητα της καλλιεργούμενης γης μειώνεται. Οι σημερινές τάσεις είναι ανησυχητικές. Στις επόμενες δύο δεκαετίες, εκτιμάται ότι η χρήση του νερού θα αυξηθεί κατά 40% και ότι 17% περισσότερο νερό θα χρειαστεί, για να παραχθεί τροφή για τον αυξανόμενο πληθυσμό. Σύμφωνα με επιστημονικές προβλέψεις ακόμη και η μικρή αύξηση της θερμοκρασίας κατά 4°C θα μπορούσε να οδηγήσει σε μείωση της γεωργικής παραγωγής τη στιγμή που η συνεχής αύξηση του πληθυσμού, αλλά και ο υπερκαταναλωτισμός, σηματοδοτούν την αύξηση ζήτησης για τροφή κατά 70% έως το 2060. Έως την ίδια χρονιά ο αριθμός των ανθρώπων που θα καταναλώνουν ακατάλληλο νερό πιθανόν να αγγίξει τα 1.8 δισεκατομμύρια.

Επίσημα στοιχεία του ΟΗΕ αναφέρουν ότι η κρίση του πόσιμου νερού χαρακτηρίζεται τόσο από την συνεχιζόμενη μείωση της ποσότητας που διατίθεται όσο και από την υποβάθμιση της ποιότητάς του καθώς πολλά από τα διαθέσιμα ύδατα είναι ρυπασμένα με χημικές ουσίες και βακτήρια. Σύμφωνα με την έρευνα της UNESCO που πραγματοποιήθηκε το 2003 στα επόμενα 20 χρόνια η ποσότητα του νερού που αναλογεί στον καθένα προβλέπεται να μειωθεί κατά 30%. Το 40% από τους ανθρώπους που ζουν στη γη δεν έχουν επαρκές νερό ακόμα και για υποτυπώδη υγιεινή.

Στον πλούσιο Δυτικό κόσμο το σύνολο του πληθυσμού έχει πρόσβαση σε πόσιμο νερό για την κάλυψη των αναγκών του, ενώ στις χώρες της Ασίας και της Μέσης Ανατολής το ποσοστό αυτό πέφτει στο 80-85% με την υποσαχάρια Αφρική να κατέχει τα μικρότερα ποσοστά της τάξεως του 50-60%. Μεγάλα προβλήματα προκύπτουν από την ανομοιογένεια στην παγκόσμια κατανομή του πόσιμου ύδατος. Για παράδειγμα, η Λατινική Αμερική διαθέτει 12 φορές περισσότερο πόσιμο νερό από τη νότια Ασία. Στη Βραζιλία και τον Καναδά υπάρχει πλεόνασμα, ενώ οι χώρες της βόρειας Αφρικής και της Μέσης Ανατολής αντιμετωπίζουν προβλήματα, καθώς τα αποθέματά τους δεν φτάνουν να καλύψουν τις πληθυσμιακές ανάγκες. Η Μέση Ανατολή κατέχει μόλις το 1% των παγκόσμιων αποθεμάτων του γλυκού νερού για να ικανοποιήσει τις ανάγκες των κατοίκων της, ο αριθμός των οποίων ανέρχεται στο 5% του παγκόσμιου πληθυσμού. Στο τέλος του προηγούμενου αιώνα η Τουρκία είχε υπό τον έλεγχό της 134 Km<sup>3</sup>, το Ισραήλ 2,2, η Ιορδανία 1,1, η Συρία 5,5 και η Σαουδική Αραβία 2,2. Δεν είναι τυχαίο πως το στρατηγικό δόγμα του Ισραήλ περιέχει τη ρητή διατύπωση πως «κάθε παρενόχληση της ροής των νερών του Ιορδάνη ποταμού συνιστά αιτία πολέμου».

Ωστόσο, εκτιμάται ότι και αρκετές χώρες, οι οποίες απολαμβάνουν πλήρη ή μερική πρόσβαση σε πόσιμο νερό, εκτιμάται ότι θα αντιμετωπίσουν σοβαρά προβλήματα λειψυδρίας μέχρι το 2025. [7]

### 2.2 Το πρόβλημα της λειψυδρίας

Το «γλυκό νερό» είναι ένας ανανεώσιμος πόρος, αλλά παρόλα αυτά η παγκόσμια προμήθεια καθαρού «γλυκού» νερού σταθερά μειώνεται. Η ζήτηση νερού ήδη ξεπερνά την προσφορά σε πολλά μέρη του κόσμου, καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός συνεχίζει να αυξάνεται, και επομένως το ίδιο και η παγκόσμια ζήτηση νερού. Αυτό το πρόβλημα ζήτησης νερού θα προκαλέσει τη λειψυδρία. Εξαιτίας της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού της Γης, της μαζικής κατανάλωσης, της κατάχρησης των φυσικών πόρων, της ρύπανσης και μόλυνσης

του νερού η διαθεσιμότητα του πόσιμου νερού δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες της σύγχρονης εποχής και διαρκώς μειώνεται. Για αυτό το λόγο, το νερό αποτελεί στρατηγικής σημασίας αγαθό σε όλη την υφήλιο και άρχισε ήδη να αποτελεί αιτία για πολλές πολιτικές διενέξεις. Πολλοί έχουν προβλέψει ότι το καθαρό νερό θα γίνει το πετρέλαιο του μέλλοντος.

Η χώρα μας όπως και ο υπόλοιπος πλανήτης βρίσκεται αντιμέτωπη με αυτό το μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα. Σύμφωνα με την Greenpeace το πρόβλημα αυτό οφείλεται στην έλλειψη σχεδιασμού, την κακή διαχείριση των υδατικών αποθεμάτων, την καταστροφή των δασών, τη περιφρόνηση των φυσικών νόμων που διέπουν τον υδρολογικό κύκλο και τη μείωση των βροχοπτώσεων λόγω των κλιματικών αλλαγών.

Μαζί με το πρόβλημα της λειψυδρίας έρχονται και οικονομικά προβλήματα όπως τονίζει η έκθεση της Παγκόσμιας Τράπεζας. Η λειψυδρία, που επιδεινώνεται από την αλλαγή του κλίματος, θα μπορούσε να κοστίσει σε ορισμένες περιοχές έως και το 6% του ΑΕΠ τους, να προκαλέσει ραγδαίες αυξήσεις των τιμών των τροφίμων, να αποτελέσει κίνητρο για μετανάστευση και να πυροδοτήσει συγκρούσεις, σύμφωνα με την έκθεση. Ωστόσο, η λειψυδρία δεν θα έχει τον ίδιο αντίκτυπο σε όλο τον κόσμο και οι οικονομίες της Δυτικής Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής πιθανότατα θα γλιτώσουν, σύμφωνα με την Παγκόσμια Τράπεζα. Κι όλα αυτά αναμένεται να συμβούν όταν ήδη αυτή τη στιγμή περίπου το ένα τέταρτο του παγκόσμιου πληθυσμού, ή περίπου 1,6 δισ. άνθρωποι, ζει σε χώρες όπου το νερό είναι ήδη σπάνιο. Βέβαια, το ενδιαφέρον της Παγκόσμιας Τράπεζας για την προβλεπόμενη λειψυδρία δεν είναι τυχαίο και είναι χαρακτηριστική η δήλωση του Ρίτσαρντ Δαμάνια, επικεφαλής οικονομολόγου στην Παγκόσμια Τράπεζα και επικεφαλής συγγραφέα της έκθεσης, έπειτα από τη δημοσιοποίησή της: «Το νερό είναι φυσικά στο κέντρο της ζωής, αλλά είναι επίσης στο επίκεντρο της οικονομικής δραστηριότητας». Ας μην ξεχνάμε ότι η Παγκόσμια Τράπεζα είναι αυτή που, σε συνεργασία με το Διεθνές Νομισματικό Ταμείο, επιβάλλει προγράμματα ιδιωτικοποίησης του νερού σε πολλές χώρες σε ολόκληρο τον πλανήτη, ως προϋπόθεση για την ανανέωση των δανείων προς τις κυβερνήσεις που τα χρειάζονται. Με αυτόν τον εκβιασμό αναγκάζει πολλές χώρες να εμπορευματοποιούν τους υδάτινους πόρους τους, παραδίδοντάς τους σε ιδιώτες, στην πράξη μη αναγνωρίζοντας ότι η πρόσβαση στο νερό είναι ένα ανθρώπινο δικαίωμα και ότι η παροχή του αποτελεί βασική δημόσια υπηρεσία.[12]

## 2.3 Υποβάθμιση του νερού

Το νερό αποτελεί σίγουρα το πολυτιμότερο αγαθό και όλοι εμείς του 'δυτικού κόσμου' το απολαμβάνουμε και το σπαταλάμε χωρίς δεύτερη σκέψη. Στατιστικά καταναλώνει κάθε άτομο στην Ευρώπη γύρω στα 130 λίτρα νερό ημερησίως, από τα οποία μόνο τα 4 χρησιμοποιούνται για να πιούμε και να μαγειρέψουμε. Η μέση ατομική κατανάλωση στις Η.Π.Α και την Ιαπωνία φτάνει μάλιστα τα 300 λίτρα ημερησίως.

Την ίδια στιγμή, σημειώνει η Unicef, πεθαίνει ένα παιδί κάθε 15 δευτερόλεπτα, εξαιτίας της έλλειψης καθαρού νερού και των τραγικών συνθηκών υγιεινής, μια και περίπου 2,6 δισεκατομμύρια άνθρωποι, το 40% του συνολικού πληθυσμού δηλαδή, δεν έχει καν πρόσβαση σε τουαλέτα! Στην Αφρική κουβαλάνε, κυρίως γυναίκες, το απαιτούμενο νερό για τις ανάγκες της οικογένειας σε αποστάσεις πάνω από 10 χιλιόμετρα καθημερινά, κατά τις περιόδους ξηρασίας.

Ακόμα και σε ραγδαία αναπτυσσόμενες χώρες, όπως την Κίνα, το 90% το αγωγών νερού είναι ακατάλληλοι ενώ τα τρία τέταρτα του νερού των ποταμιών δεν είναι πόσιμο, εξαιτίας της εκτεταμένης μόλυνσης. Σε παγκόσμια κλίμακα, αποτελεί η πρόσβαση σε καθαρό νερό προφανώς πολυτέλεια. Μια πολυτέλεια όμως, που είναι αναφαίρετο δικαίωμα του καθενός. Ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών έχει κατατάξει την πρόσβαση σε καθαρό νερό σαν αδιάσπαστο μέρος των Ανθρώπινων Δικαιωμάτων και μάλιστα έχει καθορίσει και ποσοτικά το δικαίωμα αυτό: 20 λίτρα ανά άτομο ημερησίως, χωρίς κόστος μάλιστα για τους

ασθενέστερους οικονομικά. Ο στόχος του O.H.E, να μειωθεί στο μισό ο αριθμός των ανθρώπων χωρίς πρόσβαση σε καθαρό πόσιμο νερό έως το 2015, φαίνεται σήμερα ότι θα παραμείνει ανεκπλήρωτος. Και ο λόγος δεν είναι μόνο η λειψυδρία αλλά κυρίως η διαφθορά...

Η μη επαρκής πρόσβαση σε καθαρό νερό είναι κυρίως πρόβλημα πολιτικό. Η διαφθορά, σε κρατικές υπηρεσίες αλλά και ιδιωτικές εταιρίες, αποτελεί κατά την Transparency International μια βασική αιτία του παγκόσμιου αυτού προβλήματος, που απειλεί την ζωή ενός δισεκατομμυρίου ανθρώπων. Η διαφθορά οδηγεί στη αύξηση του κόστους της παροχής νερού κατά τουλάχιστον 30%, με αποτέλεσμα την επιβάρυνση κατά 48 δισεκατομμυρίων δολαρίων του προαναφερόμενου στόχου του O.H.E. Εξαιτίας της εκτεταμένης διαφθοράς, τα έξοδα για παροχή νερού ξεπερνούν συχνά τις οικονομικές δυνατότητες των ανθρώπων σε χώρες του Τρίτου Κόσμου. Αλλά ούτε και στις ανεπτυγμένες χώρες δεν λείπει η διαφθορά στον τομέα του νερού: με βάση την Transparency International έγιναν, για παράδειγμα, γνωστές στην Σουηδία παράνομες συμφωνίες στην υποδομή της ύδρευσης, με στόχο την αύξηση της τιμής για τον καταναλωτή.

Η κατάσταση επιδεινώνεται από την κακή διαχείριση των υδάτινων πόρων, την αδράνεια ή ανεπάρκεια των υπεύθυνων αρχών και την έλλειψη επενδύσεων στην υποδομή. Στις μεγαλουπόλεις πολλών αναπτυσσόμενων χωρών χάνεται περίπου το 40% του νερού, εξαιτίας της κακής κατάστασης και της μη συντήρησης των αγωγών.

Η ιδιωτικοποίηση της ύδρευσης, όπως ήδη εφαρμόζεται από πολλές χώρες στον κόσμο, σαν αποτέλεσμα των παροτρύνσεων της Παγκόσμιας Τράπεζας αλλά και τις γενικευμένης μοντέρνας τάσης για αποκρατικοποίηση των πάντων, δεν αποτελεί λύση για την δίκαιη και οικονομική κατανομή του νερού. Το νερό είναι δημόσιο αγαθό και ανήκει, για το λόγο αυτό, στον δημόσιο έλεγχο και όχι στα χέρια επιχειρηματικών ομίλων, οι οποίοι σαν κύριο στόχο έχουν την μεγιστοποίηση του κέρδους τους. Πολλές πόλεις ανά τον κόσμο 'πληρώνουν' ήδη την απόφαση για ιδιωτικοποίηση της παροχής νερού. Η πρωτεύουσα των Φιλιππίνων Μανίλα, για παράδειγμα, ιδιωτικοποίησε το σύστημα ύδρευσής της και το παρέδωσε σε δύο εταιρίες. Μέσα σε λίγα χρόνια η τιμή του νερού τετραπλασιάστηκε, ενώ η κακή ποιότητα νερού και η υποδομή του συστήματος δεν βελτιώθηκε. Από την άλλη, πόλεις όπως η Μπογκοτά στην Κολομβία και το Σάο Πάολο στην Βραζιλία, που διατήρησαν το δημόσιο σύστημα παροχής νερού, αποτελούν πόλεις-πρότυπα στο τομέα αυτό.

Βασική προϋπόθεση για την λύση της παγκόσμιας κρίσης στην παροχή καθαρού πόσιμου νερού είναι η αποτελεσματική καταπολέμηση της διαφθοράς και η διαφάνεια στην χρηματοδότηση των απαιτούμενων έργων στον τομέα της ύδρευσης με την παράλληλα ενίσχυση των κρατικών ελεγκτικών μηχανισμών. Βέβαια, τίποτα από τα παραπάνω δεν έχει νόημα, αν οι κάτοικοι αυτού του γαλάζιου πλανήτη δεν συνειδητοποιήσουν ότι τουλάχιστον το νερό πρέπει να είναι διαθέσιμο για όλους και ότι όλοι οφείλουν να καταναλώνουν το αναφαίρετο αυτό αγαθό με υπευθυνότητα.

Αν και το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να επιλυθεί αν η διεθνή κοινότητα διέθετε τους οικονομικούς πόρους αλλά και την πολιτική βούληση να δημιουργήσει τις απαραίτητες εγκαταστάσεις για την επεξεργασία του νερού, ώστε να είναι πόσιμο. Επειδή τέτοιες ενέργειες δεν πραγματοποιούνται κάποιοι επιστήμονες προσπαθούν να βρουν λύση, έστω και αν αυτές αντιμετωπίζουν μερικώς το πρόβλημα.

Το LifeStraw (ή στα Ελληνικά Καλαμάκι Ζωής) είναι μία μοναδική συσκευή καθαρισμού νερού. Η συσκευή αυτή ήταν μία επινόηση του Ισραηλινού επιστήμονα Δρ. Moshe Frommer που έγινε γνωστή στο ευρύτερο κοινό το 2005 όταν εργάζονταν στο Ίδρυμα Επιστημονικών Ερευνών Weizmann στο Ισραήλ. Η ιδέα του ήταν η κατασκευή ενός απλού στη χρήση, φορητού και με μεγάλη διάρκεια ζωής φίλτρου νερού για τις αναπτυσσόμενες χώρες, βοήθεια μετά από καταστροφές αλλά και για γενικότερες καταστάσεις επιβίωσης. Πρακτικά αποτελείται από έναν πλαστικό σωλήνα μήκους 31 εκατοστών και διαμέτρου 3 εκατοστών που περιέχει μία σειρά από φίλτρα ικανά να αφαιρέσουν το 99.9999% όλων των βακτηρίων και παρασίτων που μπορούν να αναπτυχθούν στο νερό. Όλα αυτά με διάρκεια

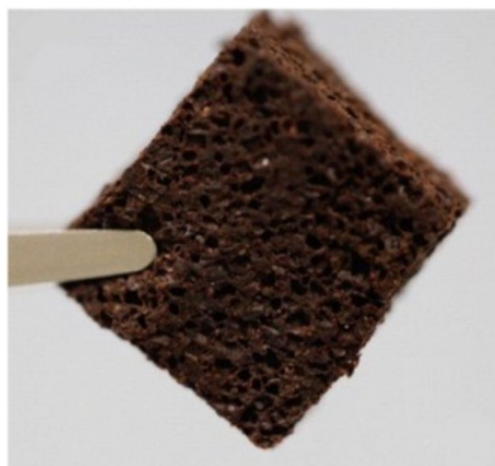
ζωής 1000 λίτρων νερού που όπως δηλώνει ο κατασκευαστής του πρακτικά είναι αρκετά παραπάνω αλλά για λόγους ασφαλείας έχουν θέσει το όριο στα 1000 λίτρα βρώμικου νερού ανά φίλτρο.

Το «LifeStraw Family» με διάρκεια ζωής 18000 λίτρων που έχει ήδη χρησιμοποιηθεί από αποστολές ανθρωπιστικής βοήθειας αρκετές φορές.[13]



Εικόνα 2,3 : Συσκευή LifeStraw οικογενειακή και ατομική [33]

Ακόμα μια λύση που είναι σε αρχικό στάδιο είναι το φίλτρο από καφέ. Οι ειδικοί στα νέα υλικά και οι χημικοί του Ιταλικού Ινστιτούτου Τεχνολογίας με επικεφαλής την Δέσποινα Φραγκούλη ενσωμάτωσαν κατάλοιπα επεξεργασμένου καφέ σε αφρώδες ελαστομερές υλικό. Δημιούργησαν με αυτόν τον τρόπο ένα πρωτότυπο φίλτρο, που αποτελείται κατά 60% από καφέ και κατά 40% από ελαστομερές σιλικόνης. Το βιοελαστομερές πορώδες φίλτρο, μέσα σε διάστημα 30 ωρών, μπορεί να αφαιρέσει το 99% των ιόντων του μολύβδου και του υδραργύρου που περιέχονται στο ακίνητο νερό. Άλλες δοκιμές με τρεχούμενο νερό έδειξαν ότι το φίλτρο κατακράτησε άμεσα τα δύο τρίτα (67%) του μολύβδου. Το φίλτρο μπορεί να πεταχτεί μετά τη χρήση του, χωρίς να επιβαρύνει το περιβάλλον.[15]



Εικόνα 4: Φίλτρο από καφέ [15]

## 2.4 Πόλεμος για το νερό

Μαζί με τα ακραία καιρικά φαινόμενα, την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και άλλες φυσικές καταστροφές, η υπερθέρμανση του πλανήτη διαταράσσει και τη διαθεσιμότητα των πόρων γλυκού νερού - με τεράστιες κοινωνικές και πολιτικές επιπτώσεις . Για το λόγο αυτό το νερό αποτελεί στρατηγικής σημασίας αγαθό . Στο μέλλον προβλέπεται ότι το νερό θα αποτελεί αιτία διαμάχης και πολέμου μεταξύ γειτονικών χωρών που μοιράζονται τις ίδιες υδρολογικές λεκάνες. Το 2007, ο Γενικός Γραμματέας του ΟΗΕ Μπαν Κι Μουν προειδοποίησε ότι «... η λειψυδρία είναι ένα ισχυρό καύσιμο για τους πολέμους και τις συγκρούσεις» Στην πραγματικότητα, ο μόνος επίσημος πόλεμος για το νερό έλαβε χώρα περίπου 4.500 χρόνια πριν. Ήταν μια σύγκρουση μεταξύ των πόλεων-κρατών Λάγκα (Lagash) και Ούμα (Umma) στο σύγχρονο Ιράκ για τον ποταμό Τίγρη. Πιο πρόσφατα, υπήρξαν κάποιες «στενές επαφές», ειδικά στην άγονη Μέση Ανατολή. Περίπου δύο χρόνια πριν από τον πόλεμο του 1967, το Ισραήλ και η Συρία αντάλλαξαν πυρά πάνω από την κοίτη του ποταμού Ιορδάνη, για τον οποίο και οι δύο ισχυρίστηκαν ότι ο απέναντι έκανε υπερβολική χρήση. Οι περιορισμένες ένοπλες συγκρούσεις ατόνησαν, αλλά οι πολιτικές διαμάχες για τις κοινές πηγές νερού των χωρών συνεχίζονται. Το 2002, ο Λίβανος κατασκεύασε αντλίες νερού σε έναν από τους παραποτάμους, κάτι που προκάλεσε ανησυχία στο Ισραήλ που βρίσκεται πιο κάτω. Το έργο δεν προκάλεσε καμία επίσημη στρατιωτική δράση, αλλά με την ειρήνη στην περιοχή ήδη επισφαλή, οι λεκτικές ανταλλαγές μεταξύ των δύο χωρών οδήγησαν τις Ηνωμένες Πολιτείες να παρέμβουν. Και τα δύο μέρη αποδέχτηκαν τελικά μια συμβιβαστική λύση που επιτρέπει στον Λίβανο να αντλεί μια προκαθορισμένη ποσότητα νερού για τις εγχώριες ανάγκες του.

Αυξημένα προβλήματα στην ποσότητα του πόσιμου νερού αντιμετωπίζουν οι 24 από τις 276 διεθνείς κοίτες ποταμών στον κόσμο. Αυτές οι 24 κοίτες, οι οποίες εξυπηρετούν συνολικά περίπου 332 εκατομμύρια ανθρώπους, βρίσκονται σε υψηλό κίνδυνο για πολιτικές εντάσεις που σχετίζονται με το νερό. Η πλειοψηφία των ποταμών αυτών βρίσκονται στην βόρεια και την υποσαχάρια Αφρική. Μερικά άλλα ποτάμια βρίσκονται στη Μέση Ανατολή, τη νότια-κεντρική Ασία και τη Νότια Αμερική. Δεν υπάρχουν ισχυρές συμφωνίες που διέπουν τη χρήση αυτών των αποθεμάτων νερού σε περιοχές όπου υπάρχει ένταση. Σε περίπτωση που ξεσπάσουν διαμάχες, δεν υπάρχουν καλοί μηχανισμοί για την αντιμετώπισή τους.

Μέχρι το 2050, επιπλέον 37 κοίτες ποταμών, που εξυπηρετούν 83 εκατομμύρια ανθρώπους, θα είναι σε υψηλό κίνδυνο να τροφοδοτήσουν πολιτικές εντάσεις. Όπως είναι η κατάσταση επί του παρόντος, ένα μεγάλο μέρος από αυτά τα ποτάμια βρίσκονται στην Αφρική. Αλλά, σε αντίθεση με το σήμερα, οι κοίτες των ποταμών στην Κεντρική Ασία, την Ανατολική Ευρώπη, την Κεντρική Ευρώπη και την Κεντρική Αμερική θα είναι επίσης σε υψηλό κίνδυνο μέσα σε 40 χρόνια.

Ο συνολικός αριθμός συγκρούσεων για το νερό είναι μικρότερος από τον αριθμό των περιπτώσεων που επιτεύχθηκε συνεργασία . Οι προστριβές για το νερό έχουν προκαλέσει 507 συγκρούσεις και 1228 περιπτώσεις όπου επιτεύχθηκε συνεργασία Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 60 χρόνων έχουν υπάρξει μόνο 37 περιπτώσεις βίαιων αναμετρήσεων μεταξύ κρατών για το νερό άρα οι συγκρούσεις για το νερό δεν είναι μια στρατηγικά λογική , αποτελεσματική ή οικονομική επιλογή. [17]

## 2.5 Η κατάσταση στη χώρα μας

Το 70% των παγκόσμιων απολήψεων γλυκού νερού χρησιμοποιούνται για την αρδευόμενη γεωργία, ενώ στο άμεσο μέλλον θα χρειαστεί περισσότερο νερό προκειμένου να καλυφθεί η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση για τρόφιμα και ενέργεια (βιοκαύσιμα). Από αυτή την ποσότητα, πάνω από τα 2/3 περίπου χάνεται πριν φτάσει στο χωράφι ή χρησιμοποιείται σπάταλα, χωρίς οικονομική λογική, αφού φτάσει σε αυτό.

Η εικόνα είναι αισθητά χειρότερη στην περίπτωση της Ελλάδας. Τα υπόγεια αποθέματα νερού σε πολλές περιοχές της χώρας εξαντλούνται, η θάλασσα σε αρκετές περιοχές έχει εισχωρήσει επικίνδυνα στον υδροφόρο ορίζοντα, ενώ η ανεξέλεγκτη χρήση γεωτρήσεων επιδεινώνει δραματικά την κατάσταση. Πρόσθετα προβλήματα σε σχέση με το αρδευτικό νερό στην Ελλάδα συνοψίζονται στην άνιση χωροχρονική κατανομή της βροχόπτωσης, στην υπεράρδευση που εφαρμόζεται σε αρκετές περιπτώσεις, στην υπεράντληση νερού από τον υπόγειο υδροφόρο, καθώς και στην ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση του.

Οι επιπτώσεις που προκαλεί η υπεράντληση του νερού με ανεξέλεγκτες γεωτρήσεις δεν είναι μετρήσιμες, γιατί η Πολιτεία δεν έχει εικόνα ούτε του αριθμού των γεωτρήσεων, ούτε των ποσοτήτων νερού που αυτές αντλούν από το υπέδαφος. Είναι προφανές ότι μόνη λύση για την αντιμετώπιση του προβλήματος είναι η ορθολογική διαχείριση του νερού. Και είναι αυταπόδεικτο ότι η συνέχιση της παρούσας κατάστασης δεν αποτελεί πλέον επιλογή, γιατί το αδιέξοδο είναι πολύ κοντά.

Η Βάση Δεδομένων AQUASTAT του FAO (2007) υπολογίζει το συνολικό ετήσιο υδατικό δυναμικό της χώρας μας στα 74,2 δισ. κυβικά μέτρα. Σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Ανάπτυξης το 85,1% του συνολικού υδατικού δυναμικού αποτελείται από επιφανειακά νερά, το 10,6% είναι καρστικά υπόγεια νερά, ενώ το 4,3% είναι μικροδιδυμικά νερά.

Το 2008, σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Υδάτων του ΥΠΕΧΩΔΕ, η ετήσια κατανάλωση νερού ανήλθε στα 8.243 εκατ. κυβικά μέτρα, από τα οποία το 84% διατίθεται στην άρδευση, το 1% στην κτηνοτροφία, το 12% στην ύδρευση και το 3% στη βιομηχανία και την παραγωγή ενέργειας.

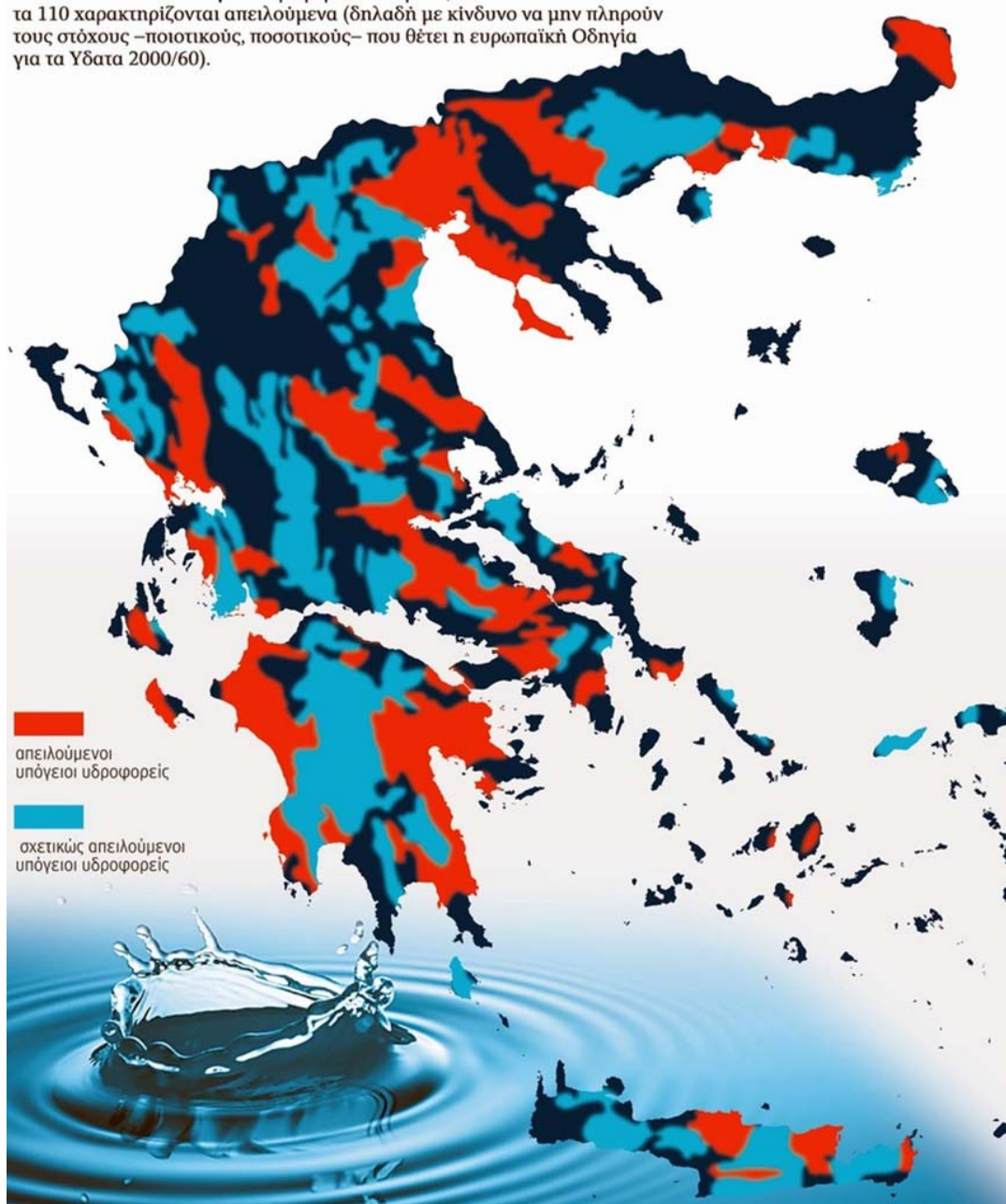
Μία συνολική σύγκριση της ποσότητας διαθέσιμου νερού και της συνολικής ζήτησης μπορεί να προκαλέσει την εσφαλμένη εντύπωση πως το νερό είναι άφθονο στην Ελλάδα. Μια πιο προσεκτική ανάλυση αποδεικνύει πως δεν είναι αυτή η πραγματικότητα. Παρά το γεγονός πως η Ελλάδα έχει τη μεγαλύτερη κατά κεφαλήν παροχή νερού από όλες τις Μεσογειακές χώρες μέλη του ΟΟΣΑ (6.653 κυβ. μ. ανά κάτοικο τιμή 2007 World Resources Institute Earthtrends), υπάρχουν σημαντικά ζητήματα τα οποία στοιχειοθετούν την ανάγκη ορθολογικής διαχείρισης των υδάτινων πόρων στη χώρα μας.

Ένα από αυτά είναι η κατανομή της παροχής και της ζήτησης νερού ανάλογα με τη χρονική περίοδο και την περιοχή. Υπάρχουν περιοχές με μεγάλα αποθέματα νερού και άλλες με έντονες ελλείψεις. Αυτό συμβαίνει επειδή η γεωγραφική κατανομή του πληθυσμού και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων δεν συμβαδίζουν με τη διαθεσιμότητα του νερού. Η έντονη αστικοποίηση κατά την περίοδο 1960-1980, ο πολλαπλασιασμός των τουριστικών και βιομηχανικών δραστηριοτήτων, η αύξηση του μέσου εισοδήματος και των υποδομών έχει επιφέρει σημαντική αύξηση της ζήτησης νερού σε πολλές περιοχές. Η αγροτική παραγωγή έχει επίσης αυξηθεί κατά τις τελευταίες δεκαετίες στην Ελλάδα, γεγονός που οφείλεται και στην σημαντική αύξηση της ποσότητας του νερού, η οποία χρησιμοποιείται για άρδευση.[16]



## Στο «κόκκινο» τα υπόγεια αποθέματα

Η Ελλάδα έχει 236 υπόγεια υδροφόρα συστήματα, από τα οποία τα 110 χαρακτηρίζονται απειλούμενα (δηλαδή με κίνδυνο να μην πληρούν τους στόχους –ποιοτικούς, ποσοτικούς– που θέτει η ευρωπαϊκή Οδηγία για τα Υδατα 2000/60).



Εικόνα 5: Χάρτης με τους υπόγειους υδροφορείς [16]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΡΥΠΑΝΣΗ

### 3.1 Γενικά

Από την εμφάνιση στη γη ο άνθρωπος βρίσκεται σε μία διαρκή μάχη με τη φύση, προκειμένου να αποσπάσει απ' αυτή τροφή και πρώτες ύλες απαραίτητες για την επιβίωσή του. Σε όλη αυτή τη μακρά διαδρομή προκάλεσε πολλές και μεγάλες καταστροφές στο φυσικό του περιβάλλον. Κόπηκαν δάση, αποξηράνθηκαν λίμνες, καταστράφηκαν βιότοποι κ.λ.π.

Όμως σχεδόν όλες οι καταστροφές που συντελέστηκαν από τους προ-καπιταλιστικούς κοινωνικούς σχηματισμούς, είχαν ένα αναστρέψιμο και μη καταστροφικό χαρακτήρα για ολόκληρη την ανθρωπότητα και οι περισσότερες έγιναν για την επιβίωση των τοπικών κοινωνιών, την αύξηση της παραγωγής και την αντιμετώπιση δύσκολων καταστάσεων και κρίσεων.

Η περιβαλλοντική καταστροφή με την οποία βρίσκεται σήμερα αντιμέτωπη η ανθρωπότητα δεν έχει προηγούμενο. Ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια γινόμαστε μάρτυρες των πιο «παράξενων» φυσικών φαινομένων. Κίτρινη και όξινη βροχή, καφέ ασιατικό νέφος, καταστροφικές πλημμύρες, εξάλειψη των μουσώνων στην Ασία, καταστροφή μέρους του όζοντος, εμφάνιση καταστροφικών τυφώνων σε Ασία και Αμερική, αύξηση της θερμοκρασίας της γης, τήξη των πάγων είναι μόνο μερικά από τα αποτελέσματα της αλόγιστης και σκληρής εκμετάλλευσης της φύσης που έχει επιβάλει ο καπιταλιστικός τρόπος παραγωγής και η ακόρεστη δίψα για κέρδος.

Όλοι μας επίσης, βιώνουμε την αύξηση της ρύπανσης στις μεγαλουπόλεις που είμαστε υποχρεωμένοι να ζούμε. Πολλές παιδικές ασθένειες όπως αλλεργικές προσβολές, βρογχίτιδες, πνευμονίες, καθυστερήσεις στην ανάπτυξη των αναπνευστικών οδών, είναι αποδεδειγμένο πια ότι έχουν σχέση με τη μόλυνση της ατμόσφαιρας. Η ίδια η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας ομολογεί ότι στις πιο μολυσμένες πόλεις το ποσοστό των θανάτων που οφείλεται στην ρύπανση της ατμόσφαιρας αγγίζει το 5%.

Θα μπορούσε ασφαλώς κάποιος να υποστηρίξει ότι όλα αυτά είναι το «αναπόφευκτο» αποτέλεσμα της ανάπτυξης και το «τίμημα» που «πρέπει» να πληρώσει η ανθρωπότητα γι' αυτή και ότι όλα αυτά γίνονται για το καλό και την οικονομική ευημερία των λαών του αναπτυσσόμενου κόσμου.

Δυστυχώς όμως τα στοιχεία διαψεύδουν ένα τέτοιο ισχυρισμό. Σύμφωνα με αυτά, η φτώχεια και η ανισότητα στον πλανήτη μεγαλώνει. Το πλουσιότερο 20% του παγκόσμιου πληθυσμού εισπράττει σήμερα το 86% του παγκόσμιου εισοδήματος. Το εξωτερικό χρέος των χωρών της Ασίας και της Αφρικής παρά τις τεράστιες πηγές φυσικού πλούτου που διαθέτουν, από 15 δις. δολάρια που ήταν το 1985, σήμερα προσεγγίζει τα 300 δις. Στα παραπάνω βέβαια πρέπει να προσθέσουμε ότι το 20% του πληθυσμού δεν έχει πρόσβαση σε πόσιμο νερό, ενώ 1,2 δις. άνθρωποι είναι υποσιτιζόμενοι. (Ετήσια έκθεση του ΟΗΕ)

### 3.2 Ρύπανση υδάτων

Η απροσεξία του ανθρώπου για το περιβάλλον του επί σειρά ετών που κατοικεί στη Γη, και ιδιαίτερα κατά τον τελευταίο αιώνα, οδήγησε σε σοβαρές μεταβολές στο περιβάλλον, συχνά επικίνδυνες. Επειδή κάθε μέρος του περιβάλλοντος συνδέεται με τα υπόλοιπα μέσω του υδρολογικού κύκλου και των τροφικών αλυσίδων, οι αλλαγές σε ένα μέρος επιφέρουν αλλαγές και στα άλλα. Έτσι λοιπόν, η ατμοσφαιρική ρύπανση ελέγχει την κατάσταση του

νερού, το νερό ελέγχει την κατάσταση του εδάφους, το έδαφος ελέγχει το φυτικό βασίλειο κλπ.

Σε ένα ισορροπημένο οικοσύστημα τα απόβλητα ενός οργανισμού είναι η τροφή κάποιου άλλου. Ρύπανση δημιουργείται όταν τα απόβλητα αυτά δεν αποσυντίθενται ή δεν χρησιμοποιούνται τόσο γρήγορα όσο παράγονται, οπότε δημιουργείται συσσώρευση.

Η ρύπανση δεν είναι το μοναδικό μας πρόβλημα. Περισσότερο μας απασχολεί ο βαθμός. Ο πρώτος που διατύπωσε την άποψη ότι "αυτό που αρρωσταίνει τον άνθρωπο, σε μικρές δόσεις τον ευεργετεί", ήταν ο Paracelsus, ένας Ελβετός φυσικός και αλχημιστής που ζούσε στη Γερμανία. Το ίδιο ισχύει και για το περιβάλλον. Για παράδειγμα, μικρές δόσεις μετάλλων είναι χρήσιμες για την ανάπτυξη των οργανισμών, όμως σε μεγαλύτερη ποσότητα μπορεί να μετατραπούν σε δηλητήρια και να προκαλέσουν περιβαλλοντική ζημιά. Κάποιες φορές και μόνο η μείωση της ποσότητας των επιφανειακών νερών μειώνει το βαθμό αραίωσης που υφίστανται τα απορριπτόμενα λύματα και απόβλητα. Το αποτέλεσμα είναι οι περιεχόμενοι στους υδροταμιευτήρες ρύποι να γίνονται όλο και πυκνότεροι (μεγαλύτερης συγκέντρωσης), άρα και πιο δηλητηριώδεις. (UNESCO-UNEP, 1995).

Με τον όρο ρύπανση υδάτων εννοούμε την οποιαδήποτε ανεπιθύμητη αλλαγή στα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του νερού των θαλασσών, λιμνών ή ποταμών, η οποία είναι ή μπορεί υπό προϋποθέσεις να γίνει ζημιογόνος για τον άνθρωπο, τους υπόλοιπους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς αλλά και τις βιομηχανικές διαδικασίες και τις συνθήκες ζωής. Πως δημιουργείται η ρύπανση των υδάτων ;

Η ρύπανση των υδάτων δημιουργείται με την απελευθέρωση σε λίμνες, ποτάμια και θάλασσες ουσιών οι οποίες είτε διαλύονται, είτε κατακάθονται στον πυθμένα. Οι ρύποι αυτοί είναι πάρα πολύ και αυτό γιατί στο υδάτινο ορίζοντα καταλήγουν και οι ρύποι από την ρύπανση της ατμόσφαιρας και του εδάφους μέσω των βροχών και της απορροής.

Με την απελευθέρωση στο νερό ενέργειας υπό την μορφή θερμότητας ή ραδιενέργειας δημιουργείται η θερμική ρύπανση των υδάτων η οποία προκαλεί άνοδο στην θερμοκρασία του νερού. Ρύπανση των υδάτων είναι δυνατόν να δημιουργηθεί από μικροοργανισμούς των οικιακών αποβλήτων, από οργανικές ουσίες όπως το πετρέλαιο και τα προϊόντα του και από τοξικά μέταλλα.

Με τον όρο μόλυνση υδάτων εννοούμε τη μορφή ρύπανσης που χαρακτηρίζεται από την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο περιβάλλον ή δεικτών που υποδηλώνουν την πιθανότητα παρουσίας τέτοιων μικροοργανισμών.[8]

Οι πιο συνηθισμένοι ρυπαντές που καταλήγουν στα νερά

- Βαρέα μέταλλα
- Τοξικά στοιχεία και ενώσεις
- Ανόργανες ενώσεις
- Οργανικές ενώσεις
- Ραδιενεργές ουσίες
- Παθογόνοι μικροοργανισμού

## Κατηγορίες κύριων ρύπων

- **Αστικά λύματα** : Δραστηριότητες που εμπλουτίζουν ή ρυπαίνουν υδάτινους αποδέκτες, είναι οι απορρίψεις που αφορούν ανθρώπινες χρήσεις. Τα ακάθαρτα νερά χαρακτηρίζονται από τη μεγάλη τους περιεκτικότητα σε οργανικά συστατικά και συνήθως αποχετεύονται σε θαλάσσιους, λιμναίους ή ποτάμιους αποδέκτες ή και απορροφητικούς βόθρους, ρυπαίνοντας έτσι και τα υπόγεια νερά. Στη χώρα μας, οι απορροφητικοί βόθροι που εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σε μεγάλο ποσοστό, αποτελούν το χειρότερο μέσο διάθεσης των ακάθαρτων νερών, αφού ρυπαίνουν το φυσικό αποδέκτη, το έδαφος και τα υπόγεια νερά.

Οι αστικές αυτές απορρίψεις με το μικροβιακό τους φορτίο προξενούν διάφορες μολύνσεις. Συγκεκριμένα, ορισμένα βακτήρια προξενούν τυφοειδή πυρετό, δυσεντερία, γαστρεντερίτιδα και χολέρα. Ιοί στο νερό και ορισμένα στελέχη τους προκαλούν πολυομελίτιδα και ηπατίτιδα, ενώ αυγά και νύμφες μερικών παρασίτων (ασκαρίδα κ.ά.) βρίσκονται πολλές φορές στα ακάθαρτα νερά, προκαλώντας άλλες ασθένειες. Οι τύποι των παθογόνων αυτών μικροοργανισμών βρίσκονται σε αστικά και κτηνοτροφικά λύματα. Τα παθογενή μικρόβια και οι ιοί βρίσκουν συνήθως αφιλόξενο περιβάλλον στο θαλασσίνο νερό και γρήγορα αδρανοποιούνται.

**Πίνακας 1 :** Πηγές εισροής βαρέων μετάλλων στον υδρολογικό κύκλο . [3]

Πηγή	Είδος Ρύπου	Επίδραση
Χημικές βιομηχανίες, Μεταλλουργεία	Cu, Pb, Zn, Cd, Hg, Co, Cr, Ag, As, CN	Συσσώρευση στις τροφικές αλυσίδες
Χημικές βιομηχανίες, βιομηχανίες τροφίμων, Φαρμακευτικές βιομηχανίες, Χαρτοποιεία	Φανόλες, Αμμωνία, Απορρυπαντικά, Ίνες χαρτιού	Ελαττώνουν το οξυγόνο, Φαινόμενα ευτροφισμού, Τόξικά προϊόντα (αμμωνία, φανόλες)
Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)	Βαρέα μέταλλα, Αέρια, Οργανικές ενώσεις, Ανόργανες ενώσεις	Ρύπανση υπόγειων υδροφορέων
Αγροτικές δραστηριότητες	Λιπάσματα, Εντομοκτόνα, Παρασιτοκτόνα	Αύξηση νιτρικών ιόντων, Καρκινογενέσεις
Κτηνοτροφικές δραστηριότητες, Σφαγεία	Αζωτο, Φόσφορος, Βακτήρια Μύκητες	Ρύπανση και μόλυνση υπόγειων και επιφανειακών νερών
Όξινη βροχή	Οξείδια S και N	Καταστροφή καλλιεργειών, Δασών κ.λ.π
Πυρηνικοί σταθμοί	Ραδιενέργεια στο νερό	Γενετικές αλλοιώσεις, Συσσώρευση στις τροφικές αλυσίδες
Διυλιστήρια, Διαρροές υδρογονανθράκων	Υδρογονάνθρακες, Πετρέλαιο, Ασφαλτος	Καταστροφή πανίδας και χλωρίδας, Εμποδίζουν την οξυγόνωση του νερού
Μεταλλευτικές δραστηριότητες	Αιωρούμενα στερεά, Ορυκτές ενώσεις, Οξίνα απόβλητα	Ρύπανση αέρα και υπόγειων νερών, Καθιζήσεις εδάφους
Ενεργειακή σταθμοί, Βιομηχανίες	Θερμό νερό	Θανάτωση των αυγών των ψαριών, Ελάττωση του O <sub>2</sub> , Αύξηση του ρυθμού μεταβολισμού των οργανισμών
Διείσδυση της θάλασσας	Αλατα	Καταστροφή παράκτιων υδροφορέων

- Μολύνσεις, όμως, αλλά ραδιενεργές, προκαλούνται στα νερά από ατυχήματα ή βλάβες στους πυρηνικούς σταθμούς και από πυρηνικές δοκιμές ή εκρήξεις.
- Αγροτική ρύπανση: Η ρύπανση που προκαλείται στα νερά από τις γεωργικές δραστηριότητες αφορά τη ρύπανση από τα λιπάσματα που έχει σχέση με τον ευτροφισμό των νερών, καθώς και τη ρύπανση φυτοφαρμάκων. Η ρύπανση αυτή φτάνει στα επιφανειακά νερά μέσω της επιφανειακής απορροής με τα νερά της βροχής, ή με την επικοινωνία με τα υπόγεια νερά που εν τω μεταξύ έχουν ρυπανθεί από τη στράγγιση των νερών άρδευσης των αγρών.

- Βιομηχανική ρύπανση : Αποτελούν τις υγρές βιομηχανικές απορροές (νερό ή παραπροϊόντα) που σχετίζονται με την παραγωγική διαδικασία της βιομηχανίας. Η βιομηχανική ρύπανση που επιβαρύνει τα νερά της Ελλάδας:
  1. Οργανική, με επιπτώσεις στην κατανάλωση οξυγόνου των νερών, όπως από τις βιομηχανίες τροφίμων που είναι ανεπτυγμένες στην Ελλάδα (βιομηχανίες παστερίωσης γάλατος, σφαγεία).
  2. Ρύπανση με θρεπτικά, με επιπτώσεις την εμφάνιση ευτροφισμού στα νερά όπως από βιομηχανίες λιπασμάτων ή βιομηχανίες επίσης.
  3. Ρύπανση με βαρέα μέταλλα, όπως από χημικές βιομηχανίες και βυρσοδεψεία.
  4. Θερμική ρύπανση από νερά ψύξης. Η μορφή αυτή ρύπανσης είναι περιορισμένη στην Ελλάδα.[9]

### 3.3 Ρύπανση υπόγειων υδάτων

Τα υπόγεια ύδατα είναι κρυφοί πόροι που υπερτερούν ποσοτικά των επιφανειακών και γι αυτό είναι πολύ δύσκολη η πρόληψη της ρύπανσης όπως και η παρακολούθηση και αποκατάσταση της ποιότητάς τους. Ο εντοπισμός και χαρακτηρισμός τους δεν είναι εύκολη υπόθεση ενώ συχνά δεν υπάρχουν ενδείξεις κινδύνων ρύπανσης των υπόγειων υδάτων. Εκθέσεις δείχνουν ότι η ρύπανση από οικιακές, γεωργικές και βιομηχανικές πηγές αυξάνονται λόγω απορρίψεων λυμάτων. Ενώ το μεγαλύτερο μέρος της ρύπανσης που εντοπιζόταν μέχρι σήμερα είναι από σημειακές πηγές. Τα υπόγεια νερά είναι πολύ ευαίσθητα στη ρύπανση και έχουν περιορισμένη ικανότητα αυτοκαθαρισμού. Είναι εξαιρετικά δύσκολο και δαπανηρό να καθαρίσουμε τα υπόγεια ύδατα από επικίνδυνες και τοξικές ουσίες.

#### Πηγές ρύπανσης υπόγειων υδάτων

Όταν η ρύπανση των υπόγειων νερών οφείλεται σε φυσικά αίτια αποδίδεται στη επίδραση ευδιάλυτων πετρωμάτων, στην έντονη εξάτμιση που προκαλεί ανύψωση του υπόγειου νερού και απόθεση αλάτων στην οξείδωση των πετρωμάτων και στη διεύθυνση της θάλασσας.

- Ρύπανση από διαρροή υπονόμων

Στις περισσότερες πόλεις το αποχετευτικό σύστημα παρουσιάζει διαρροές. Έτσι όταν βρίσκεται δίπλα από το δίκτυο των υπονόμων υπάρχουν πηγάδια, γεωτρήσεις ή πηγές τότε δημιουργείται επικοινωνία με το υπόγεια νερά. Σε αυτές τις περιπτώσεις παρατηρείται τεράστια αύξηση του BOD του COD και αύξηση των βακτηρίων και άλλων πιθανώς παθογόνων μικροοργανισμών. Έτσι προκαλείται τοπική ρύπανση και αν δεν ληφθεί άμεσα υπό έλεγχο τότε το πρόβλημα διογκώνεται και υπάρχει εκτενής ρύπανση- μόλυνση των υπόγειων νερών.

- Ρύπανση από βόθρους

Υπάρχουν δυο είδη βόθρων, οι σπιτικοί και οι απορροφητικοί και στις δύο περιπτώσεις τα λύματα καταλήγουν στο υπέδαφος και είναι δυνατόν να ρυπαίνουν τοπικά το υπόγειο νερό. Ενώ αν υπάρχουν βόθροι σε μεγάλες εκτάσεις ή αν χρησιμοποιούνται σε οικισμούς μπορεί να προκληθεί ευρύτερη ρύπανση – μόλυνση του υδροφορέα.

- Ρύπανση από χωματερές

Σε κάθε χωματερή από τις χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα παράγεται ένα έκκριμα που λέγεται στράγγισμα. Με το νερό της βροχής που κατεισδύει μέσα στα απορρίμματα ο όγκος του στραγγίσματος πολλαπλασιάζεται. Το στράγγισμα είναι ένας δραστικός και τοξικός ρυπαντής. Στις ανοργάνωτες χωματερές το στράγγισμα περνάει στο

άμεσο υπόβαθρό τους. Στους οργανωμένους ΧΥΤΑ κατά ένα ποσοστό το στράγγισμα περισυλλέγεται και οδηγείται σε εγκαταστάσεις όπου γίνεται χημική επεξεργασία.

- Ρύπανση από επιφανειακά ύδατα

Τα ρυπασμένα επιφανειακά νερά είναι μια ακόμα πηγή ρύπανσης των υπόγειων υδάτων . Η Ρύπανση αυτή γίνεται με βαθιά διήθηση μέσα από διαπερατά υλικά όπως τα χαλίκια και η άμμος ή με τη ροή του νερού δια μέσω των ρωγμών των ασβεστόλιθων και δολομιτών.

- Από υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης

Οι υπόγειες δεξαμενές τόσο σε μεγάλη κλίμακα (π.χ. από βιομηχανίες ) όσο και από ιδιωτικές μικρές επιχειρήσεις (π.χ. βενζινάδικα) αποτελούν πηγή ρύπανσης . Χρησιμοποιούνται ευρέως δεξαμενές και είναι δύσκολο να ελεγχθούν ως προς κάποια πιθανή αρχική ατυχία ή ως προς κάποια διαρροή. Η αμερικάνικη υπηρεσία προστασίας περιβάλλοντος (EPA) τονίζει ότι 1 στις 4 δεξαμενές κάποια στιγμή στη ζωή τους παρουσιάζουν διαρροή με αποτέλεσμα να απελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες επικίνδυνων ουσιών στο υπέδαφος και στα υπόγεια νερά.

- Από βαρέα μέταλλα

Παράγοντα ως παραπροϊόντα των μεταλλείων και των βιομηχανιών επεξεργασίας μετάλλων. Η τοξικότητά του ποικίλει από στοιχείο σε στοιχείο και τα κυριότερα χαρακτηριστικά είναι η τάση τους να συσσωρεύονται στο εδαφικό σύστημα σε υψηλά pH και η μειωμένη δυνατότητα απομάκρυνσης τους.

- Ρύπανση από τη γεωργία

Στη σύγχρονη γεωργία όπως ασκείται σήμερα χρησιμοποιούνται πολλά βιομηχανικά προϊόντα και λιπάσματα για την μεγαλύτερη και γρηγορότερη παραγωγή. Όμως τα περισσότερα από αυτά αφήνουν υπολείμματα στο έδαφος και στο υπόγειο νερό. Επίσης πολλά από αυτά τα φυτοφάρμακα είναι πολύ ανθεκτικά στον χρόνο και είναι εξαιρετικά επικίνδυνα όταν καταλήγουν στο νερό.[18]

### 3.4 Επιπτώσεις

Ο άνθρωπος αποτελείται κατά 70% από νερό. Το 76% του αίματος και των μυών, το 72% του δέρματος, το 75% του εγκεφάλου και το 22% των οστών είναι νερό. Καρδιά, πνεύμονες, σπυκώτι, εγκέφαλος, η πέψη της τροφής και όλες οι ζωτικές λειτουργίες, χρειάζονται νερό. Ο άνθρωπος αντέχει χωρίς τροφή για 60 με 70 ημέρες ενώ είναι αδύνατο να ζήσει χωρίς νερό. Εύκολα λοιπόν συμπεραίνουμε ότι η ρύπανση των υδάτων έχει μεγάλες επιπτώσεις στη ζωή του ανθρώπου και τον υπόλοιπων ζωικών και φυτικών οργανισμών. Οι κυριότερες επιπτώσεις προέρχονται από:

1. Την ρύπανση από βαρέα τοξικά μέταλλα:

Τα βαρέα μέταλλα δηλητηριάζουν τον οργανισμό προκαλώντας την διάσπαση κυτταρικών ένζυμων, τα οποία δρουν ως καταλύτες των θρεπτικών μετάλλων όπως το μαγνήσιο, ο ψευδάργυρος, και το σελήνιο. Τα τοξικά μέταλλα "κλωτσούν" τις θρεπτικές ουσίες και δεσμεύουν τους υποδοχείς των θρεπτικών ουσιών. Σχεδόν όλα τα συστήματα του οργανισμού επηρεάζονται από την τοξικότητα των βαρέων μετάλλων, με κυρίαρχα το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ), το Περιφερικό Νευρικό Σύστημα (ΠΝΣ), το αιματοποιητικό, το νεφρικό και το καρδιαγγειακό.

Τα βαρέα μέταλλα είναι επικίνδυνα επειδή έχουν μεγάλη ικανότητα βιοσυσσώρευσης. Με τον όρο βιοσυσσώρευση εννοούμε το φαινόμενο κατά το οποίο αυξάνεται στους ιστούς των οργανισμών η συγκέντρωση μη μεταβολιζόμενων χημικών ουσιών, κατά την πρόοδο της τροφικής αλυσίδας προς την κορυφή. Πάνω από ένα κρίσιμο όριο συγκέντρωσης, αυτές οι ουσίες γίνονται τοξικές. Το φαινόμενο έχει πολύ μεγάλη σημασία για τον άνθρωπο, καθώς αυτός βρίσκεται συνήθως στο τελευταίο καταναλωτικό επίπεδο.

## 2. Από την περιεκτικότητα του διαλυμένου οξυγόνου:

Τα νερά απειλούνται συχνά με πλήρη ή μερική αποξυγόνωση (αναερόβιες συνθήκες). Όσο αυξάνεται η ρύπανση των νερών, κυρίως, με οργανικές ύλες, και ανεβαίνει η θερμοκρασία τους, τόσο μειώνεται το διαλυμένο οξυγόνο, γιατί καταναλώνεται λόγω της αερόβιας αναπνοής των μικροοργανισμών που κάνουν αποσύνθεση. Όταν, λοιπόν, ρυπαίνονται τα επιφανειακά νερά με απόβλητα που περιέχουν ουσίες, που αποσυντίθενται από μικροοργανισμούς (οργανικές ύλες), εκτός των άλλων "αφαιρείται" από τα νερά και το οξυγόνο, που είναι απαραίτητο για την επιβίωση των φυτικών και ζωικών υδρόβιων οργανισμών. Οι συνέπειες μπορεί να είναι καταστροφικές για τους περισσότερους υδρόβιους οργανισμούς, αφού κινδυνεύουν από ασφυξία. Έτσι, η ρύπανση με αστικά λύματα ή άλλα απόβλητα, που περιέχουν οργανικό φορτίο, μπορεί να απειλήσει με καταστροφή ένα ολόκληρο υδατικό οικοσύστημα.

## 3. Από την περιεκτικότητα του νερού σε θρεπτικά άλατα:

Ανάλογα αποτελέσματα για τα επιφανειακά νερά έχει και η ρύπανση με ανόργανα θρεπτικά άλατα που περιέχουν άζωτο και φωσφόρο, που περιέχονται συνήθως σε λιπάσματα, απόβλητα κτηνοτροφικών και πτηνοτροφικών μονάδων, απορρυπαντικά και σε ορισμένα βιομηχανικά απόβλητα. Αυτά τα άλατα στα φυσικά ύδατα τείνουν να μετατραπούν σε νιτρικά. Στα υπόγεια ύδατα συμβαίνει συσσώρευση νιτρικών αλάτων με αποτέλεσμα πολλές φορές να είναι απαγορευτικά για χρήση αυτά τα ύδατα. Τα υψηλά επίπεδα νιτρικών αλάτων στο πόσιμο νερό μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ασθένειες και μερικές φορές ακόμη και τον θάνατο. Το σημαντικότερο πρόβλημα, που δημιουργεί το άζωτο και ο φώσφορος είναι ο ευτροφισμός, δηλαδή η υπερβολική ανάπτυξη αλγών (φυτοπλαγκτόν) στα επιφανειακά νερά από την υπερβολική τροφοδοσία των νερών με θρεπτικά συστατικά. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί σοβαρή διαταραχή του υδατικού οικοσυστήματος με διάφορες δυσμενείς συνέπειες, μεταξύ των οποίων είναι η υπερβολική ανάπτυξη ορισμένων ειδών σε βάρος όλων των άλλων, η μείωση ή και εξαφάνιση της ποικιλίας ειδών με θανάτωση ή μετανάστευσή τους, καθώς και η πλήρης ή μερική αποξυγόνωση των νερών. Όταν μειώνεται δραματικά το διαλυμένο οξυγόνο στα νερά, συνήθως, μυρίζουμε μια άσχημη οσμή (αναερόβιες συνθήκες).

## 4. Την περιεκτικότητα του νερού σε παθογόνους μικροοργανισμούς.

Τα υγρά απόβλητα κυρίως αστικής και κτηνοτροφικής προέλευσης είναι πλούσια σε παθογόνους μικροοργανισμούς οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη διάδοση ασθενειών και επικίνδυνων λοιμώξεων όταν βρεθούν στον ανθρώπινο οργανισμό. Κυριότερη πηγή μικροβιακής μόλυνσης των υπόγειων νερών είναι η εκτεταμένη χρήση μη στεγανών βόθρων. Η χρήση μολυσμένου νερού με παθογόνους μικροοργανισμούς για ύδρευση, άρδευση και κολύμβηση προκαλεί μετάδοση ασθενειών που είναι δυνατό να πάρουν την έκταση επιδημίας.

## 5. Από τοξικές οργανικές ενώσεις

Την κυριότερη και πιο επικίνδυνη κατηγορία ρύπων του περιβάλλοντος αποτελούν τα τοξικά υλικά. Η παρουσία τους στο περιβάλλον οφείλεται στις βιομηχανίες και στην πολλές φορές αλόγιστη και ανεξέλεγκτη χρήση τους στις γεωργικές καλλιέργειες. Οι τοξικές ουσίες μέσω του νερού και των φυτών εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα και φθάνουν έτσι μέχρι τα ανώτερα θηλαστικά και τον άνθρωπο με ότι αυτό συνεπάγεται για την ποιότητα ζωής και την υγεία των ανθρώπινων πληθυσμών. Το τοξικό αποτέλεσμα εξαρτάται από τη συγκέντρωση της ουσίας, τη φύση της και τη χημική σύσταση του περιβάλλοντός της, την παρουσία δηλαδή άλλων χημικών ουσιών στο εσωτερικό του οργανισμού, καθώς και από τα γενετικά χαρακτηριστικά, το στάδιο ανάπτυξης και τη φυσιολογία του ατόμου.[20]

**Πίνακας 2 :**Επιπτώσεις στον οργανισμό από βαρέα μέταλλα. [3]

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ
Αρσενικό	Καρδιαγγειακά, πνευμονικά, ανοσολογικά, νευρολογικά, κυκλοφορικά προβλήματα διακοπή του κυκλοφοριακού συστήματος, γάγγραινα
Βάριο	Γαστροεντερικές διαταραχές, μυϊκή αδυναμία, εμετό, διάρροια, δυσκολίες στην αναπνοή, αυξανόμενη ή μειωμένη πίεση αίματος, μούδιασμα γύρω από το πρόσωπο, αδυναμία μυών
Κάδμιο	Πυρετός, οξεία αναπνευστικά προβλήματα, γαστρεντερικά προβλήματα, νεφρικά προβλήματα, οστεοπάθειες κλπ
Μόλυβδος	Ίλιγγος, οξυθυμία, μυϊκή δόνηση, αλλαγές διάθεσης (κατάθλιψη), αυξανόμενη νευρική δραστηριότητα, κόπωση, ανικανότητα, αδυναμία, προβλήματα μυών, ενδοκρινικά προβλήματα, καρδιακά προβλήματα κλπ
Νικέλιο	Υψηλή πιθανότητα ανάπτυξης καρκίνου πνευμόνων, μύτης, λάρυγγα και του προστάτη, εμβολισμός πνευμόνων. άσθμα και χρόνια βρογχίτιδα, αναταραχές καρδιάς, αλλεργικές αντιδράσεις όπως οι αναφυλαξίες δερμάτων
Σελήνιο	Απώλεια τρίχας και νυχιών, ζημία στον ιστό νεφρών και συκωτιού και ζημία στα νευρικά και κυκλοφορικά συστήματα
Χαλκός	Ενόχληση της μύτης, του στόματος και των ματιών, εμετός, διάρροια, ναυτία, πονοκεφάλους και ίλιγγο, ζημία στο συκώτι και στα νεφρά
Υδράργυρος	Μείωση της λειτουργίας του αισθητήριου και του κινητικού νεύρου, κατάθλιψη, οπτικές και ακουστικές παραισθήσεις μυϊκό τρόμο, διαταραχές στον ύπνο, αλλαγές στην αυτόνομη λειτουργία (καρδιακός σφυγμός, πίεση αίματος, αντανακλαστικά), εξασθενημένο οπτικοκινητικό συντονισμό, διαταραχές στην ομιλία, άνοια, κώμα και θάνατο.
Χρώμιο	Δερματίτιδα επαφών, έλκος του δέρματος, ζημία στο συκώτι, στο νεφρό, στο κυκλοφορικό, στους ιστούς νεύρων, έλκη του διαφράγματος, πνευμονία και άσθμα



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

### 4.1 Βαρέα Μέταλλα

Με τον όρο Βαρέα Μέταλλα συνήθως αναφερόμαστε στα μέταλλα με ατομικό αριθμό μεταξύ του 21 (Σκάνδιο Sc) και του 84 (Πολώνιο, Po) ή κατά μία άλλη ορολογία αναφερόμαστε σε μέταλλα που έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο του σιδήρου (Fe) και κυρίως το χρώμιο (Cr), ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg), το κάδμιο (Cd), ο ψευδάργυρος (Zn), το μαγγάνιο (Mn), ο χαλκός (Cu), το νικέλιο (Ni) κ.ά. Εκτός από τα χρήσιμα στον οργανισμό μας μέταλλα, σε πολύ μικρές ποσότητες σαν ιχνοστοιχεία, τα περισσότερα βαρέα μέταλλα έχουν τοξική δράση σε υψηλές συγκεντρώσεις και δημιουργούν σοβαρά προβλήματα στην υγεία μας. Τα βαρέα μέταλλα θεωρούνται από τους πλέον επικίνδυνους ρύπους του περιβάλλοντος, επειδή αυτά και οι ενώσεις τους, σε αντίθεση με τις οργανικές τοξικές ουσίες, δεν αποικοδομούνται αλλά παραμένουν ή συσσωρεύονται στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Τα βαρέα μέταλλα μεταφέρονται στην τροφή του ανθρώπου από το έδαφος, το νερό και τον αέρα. Διακινούνται στον οργανισμό μέσω της κυκλοφορίας του αίματος και εισέρχονται στα κύτταρα. Είναι ιδιαίτερα τοξικά για τα θερμόαιμα ζώα και τον άνθρωπο και μπορεί να προκαλέσουν δηλητηριάσεις, συνήθως χρόνιες λόγω της αθροιστικής τους δράσης. Προξενούν γενετικές ανωμαλίες, δρουν στο ανοσοποιητικό και ενδοκρινολογικό σύστημα και προσβάλλουν τα νευρικά κύτταρα. Δηλητηριάσεις από τοξικές ουσίες, όπως μόλυβδο ή χαλκό, μπορεί να προκαλέσουν νοητική υστέρηση. Όπως:

- Ο μόλυβδος προσβάλλει το νευρικό σύστημα και το σύστημα παραγωγής ερυθρών αιμοσφαιρίων, προκαλώντας σε μεγάλες δόσεις αναιμία.
- Το κάδμιο προκαλεί χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια, νεφρικές βλάβες βλάβες του καρδιαγγειακού και μυασκελετικού συστήματος, καρκίνο των οργάνων αναπαραγωγής και των πνευμόνων.
- Το μαγγάνιο προσβάλλει το αναπνευστικό, το κεντρικό νευρικό σύστημα και τους νεφρούς.
- Το χρώμιο προκαλεί αλλεργική δερματίτιδα και καρκίνο του αναπνευστικού.
- Το νικέλιο επιδρά στις ρινικές κοιλότητες, στους πνεύμονες και το δέρμα.
- Ο ψευδάργυρος προκαλεί πεπτικές διαταραχές.

### 4.2 Χρώμιο Cr

Το χρώμιο (λατινικά Chromium) είναι το χημικό στοιχείο με χημικό σύμβολο Cr και ατομικό αριθμό 24. Είναι το πρώτο στοιχείο της ομάδας 6. Το χημικά καθαρό χρώμιο, στις συνηθισμένες συνθήκες, είναι χαλυβί, γυαλιστερό, σκληρό και εύθραυστο μέταλλο, με υψηλή θερμοκρασία τήξης. Το όνομά του προέρχεται από την ελληνική λέξη «χρῶμα», επειδή έχει πολλές έγχρωμες ενώσεις.

Το οξειδίο του χρωμίου χρησιμοποιήθηκε από τους Κινέζους, τουλάχιστον από την εποχή της Δυναστείας Τσιν, δηλαδή πάνω από 2.000 πριν από την εποχή μας, για να επικαλύπτει μεταλλικά μέρη όπλων που βρέθηκαν στον περίφημο Στρατό από τερακότα. Το χρώμιο (ως στοιχείο) ανακαλύφθηκε το 1761 στο Δυτικό Κόσμο, όταν κέρδισε το επιστημονικό ενδιαφέρον το κόκκινο κρυσταλλικό ορυκτό που ονομάζεται αρχικά χρησιμοποιήθηκε ως χρωστική ουσία. Ο Λουί Νικολά Βοκιά (Louis Nicolas Vauquelin) το 1797 απομόνωσε για πρώτη φορά μεταλλικό χρώμιο. Μετά την πρώτη παραγωγή μεταλλικού χρωμίου από το Βοκιά βρέθηκαν μικρές ποσότητες φυσικού μεταλλικού χρωμίου σε σπάνια

ορυκτά, αλλά αυτά τα κοιτάσματα ποτέ δεν χρησιμοποιήθηκαν για εμπορική εκμετάλλευση. Αντί για αυτό, σχεδόν όλο το χρώμιο που αξιοποιείται εμπορικά εξορύσσεται από το μοναδικό εμπορικά βιώσιμο ορυκτό του χρωμίου, που είναι ο χρωμίτης.

Το τρισθενές χρώμιο πιθανώς απαιτείται σε ιχνοποσότητες για το μεταβολισμό σακχάρων και λιπιδίων, αλλά αυτό το ζήτημα παραμένει αμφισβητήσιμο. Σε μεγαλύτερες ποσότητες και σε διαφορετικές μορφές το χρώμιο μπορεί να είναι τοξικό και καρκινογόνο. Το πιο γνωστό παράδειγμα τοξικότητας του χρωμίου είναι το εξασθενές χρώμιο. Οι εγκαταλελειμμένες τοποθεσίες παραγωγής χρωμίου συχνά απαιτούν «περιβαλλοντικό» καθαρισμό.[21]

### 4.3 Χαλκός Cu

Το χημικό στοιχείο χαλκός είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 29 και ατομικό βάρος 63,546. Έχει θερμοκρασία τήξης 1084,6 °C και θερμοκρασία βρασμού 2567 °C. Το σύμβολό του είναι Cu. Έχει κοκκινωπό χρώμα και είναι όλκιμος και ελατός. Ανήκει στην ομάδα της 1ης κύριας σειράς των στοιχείων μετάπτωσης.

Σύμφωνα με τους αρχαιολόγους ο χαλκός είναι το πρώτο από τα μέταλλα που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος για την κατασκευή σκευών, εργαλείων και όπλων. Εκτιμάται ότι ο χαλκός έγινε γνωστός περίπου το 9.000 π.Χ., πιθανόν επειδή απαντά ως αυτοφυής και δεν απαιτεί μεταλλουργική διαδικασία για την παρασκευή του σε καθαρή μορφή.

Στην Ελλάδα δεν παράγεται πρωτογενής χαλκός από "ίδια" κοιτάσματα. Η μεταλλεία και μεταλλουργία του χαλκού ήταν ενεργή στον τόπο μας από τα αρχαία χρόνια, ειδικότερα στο χώρο του Αιγαίου. Κοιτάσματα χαλκού υπήρχαν και υπάρχουν και στην ηπειρωτική Ελλάδα, με αποκορύφωμα το μεγάλο κοίτασμα πορφυρικού τύπου (χρυσού-χαλκού) στις Σκουριές Χαλκιδικής. Στην περιοχή Λιμογάρδιου Λαμίας υπάρχουν υπόγειες μεταλλευτικές στοές αλλά και χαλκομιγείς εκβολάδες που αποδεικνύουν τη λειτουργία και εκμετάλλευση αρχαίου μεταλλείου.

Είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο, τόσο στα ζώα όσο και στα φυτά. Ανευρίσκεται σε ποικιλία ενζύμων, όπως την υπεροξειδάση του Κυτοχρώματος C και την υπεροξειδισμούτάση. Ορισμένα μαλάκια και αρθρόποδα έχουν ως μεταφορική ουσία των αναπνευστικών αερίων την αιμοκυανίνη (αντί της αιμοσφαιρίνης), η οποία περιέχει χαλκό.

Στα ανώτερα ζώα έχει διαπιστωθεί ότι η παρουσία χαλκού διευκολύνει την απορρόφηση σιδήρου από τον οργανισμό. Η υπερβολική απόθεση χαλκού στους ιστούς προκαλεί την Νόσο του Wilson, ενώ χρόνια έλλειψη χαλκού προκαλεί δυσλειτουργία στην σύνθεση ντοπαμίνης, με συνέπεια την εμφάνιση κατάθλιψης, στην σύνθεση μελανίνης από τα δερματικά κύτταρα καθώς και δυσλειτουργίες στον μεταβολισμό των λιπών και των τριγλυκεριδίων.[22]

### 4.4 Μαγγάνιο Mn

Το χημικό στοιχείο Μαγγάνιο είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 25 και ατομικό βάρος 54,9380. Έχει θερμοκρασία τήξης 1245 C° και θερμοκρασία βρασμού 1962 C°. Το σύμβολό του είναι Mn. Ανήκει στην ομάδα της 1ης κύριας σειράς των στοιχείων μετάπτωσης. Μπορεί να βρεθεί σε ελεύθερη μορφή στη φύση και σε πολλά μεταλλεύματα. Ως ελεύθερο στοιχείο, το μαγγάνιο είναι μέταλλο και έχει σημαντική βιομηχανική χρήση, όταν είναι σε κράματα, ειδικά στο ανοξείδωτο ατσάλι.

Το μαγγάνιο αποτελεί περίπου 1000 ppm (0,1%) της επιφάνειας της Γης, άρα είναι το δωδέκατο πιο συνηθισμένο στοιχείο στην επιφάνειά της. Το χώμα περιέχει 7 ως 9000 ppm μαγγανίου με μέσο όρο 440 ppm. Το θαλασσίνο νερό περιέχει μόνο 10 ppm μαγγανίου και η

ατμόσφαιρα περιέχει 0,01  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Κυριότερα ορυκτά του μαγγανίου είναι ο μαγγανίτης, ο ροδοχρωσίτης, ο πυρολουσίτης και ο κρυπτομέλας.[23]

## 4.5 Μαγνήσιο Mg

Το μαγνήσιο είναι το χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 12 και χημικό σύμβολο Mg. Ο συνηθισμένος βαθμός οξειδωσης του είναι +2. Πρόκειται για ένα μέταλλο αλκαλικών γαιών, το όγδοο κατά σειρά αφθονίας στο φλοιό της και το ένατο γενικά στο σύμπαν. Η μεγάλη διαλυτότητα του ιόντος του ( $\text{Mg}^{2+}$ ) στο νερό, το κάνει ακόμη το τρίτο πιο άφθονο διαλυμένο ιόν του θαλασσινού νερού, μετά από αυτά του νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) και του χλωρίου ( $\text{Cl}^-$ ), φυσικά.

Το μαγνήσιο είναι το ενδέκατο πιο άφθονο στοιχείο της μάζας του ανθρώπινου σώματος. Τα ιόντα του ( $\text{Mg}^{2+}$ ) είναι απαραίτητα για όλα τα ζωντανά κύτταρα. Πολυφωσφορικές ενώσεις όπως ATP, του DNA και RNA, καθώς και εκατοντάδες ένζυμα, απαιτούν ιόντα μαγνησίου για να λειτουργήσουν. Τα ιόντα μαγνησίου είναι επίσης η μεταλλική καρδιά στο κέντρο της χλωροφύλλης, και είναι γι' αυτό μια κοινή πρόσθετη ύλη για τα λιπάσματα. Αρκετές ενώσεις του μαγνησίου χρησιμοποιούνται καθημερινά για, ιατρικούς λόγους, ως καθαρτικά, αντιόξινα και για σταθεροποίηση παθολογικής διέγερσης νεύρων, του αίματος και το σπασμό των αγγείων. Τα ιόντα του μαγνησίου έχουν ξινή γεύση και σε χαμηλές συγκεντρώσεις βοηθούν να αντιμετωπιστεί εν μέρει η φυσική σκληρότητα των μεταλλικών νερών.

Τα ελεύθερο στοιχείο δεν βρίσκεται στη Γη, επειδή είναι πολύ δραστικό όταν παράγεται, αν και όταν εκτίθεται στην ατμόσφαιρα επικαλύπτεται με ένα λεπτό στρώμα οξειδίου του ( $\text{MgO}$ ) που προστατεύει το εσωτερικό του από την παρά πέρα οξείδωση και γενικά περιορίζει κάπως τη δραστικότητά του. Με την έκθεσή του ωστόσο σε καθαρό οξυγόνο ( $\text{O}_2$ ) αναφλέγεται εκπέμποντας χαρακτηριστικό έντονο φως, καθιστώντας το ένα χρήσιμο συστατικό για φωτοβολίδες και πυροτεχνήματα. Το μέταλλο πλέον παράγεται κυρίως με ηλεκτρόλυση αλάτων του που παραλαμβάνονται από τη θάλασσα άλμη και από το δολομίτη.

Στην όψη είναι ένα αργυρόλευκο μέταλλο. Αποτελεί ακόμη εξαιρετικά σημαντικό αντιδραστήριο για τη συνθετική Οργανική Χημεία, γιατί αποτελεί τη βάση των οργανομαγνησιακών ενώσεων που έχουν μια μεγάλη πληθώρα συνθετικών εφαρμογών.[24]

## 4.6 Νικέλιο Ni

Το χημικό στοιχείο Νικέλιο είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 28 και ατομικό βάρος 58,71, Ειδικό βάρος 8,9, θερμοκρασία τήξης  $1453\text{ }^\circ\text{C}$  και θερμοκρασία βρασμού  $2732\text{ }^\circ\text{C}$ . Χημικό σύμβολο: Ni. Το σύνηθες νικέλιο είναι μίγμα 5 ισοτόπων . Ανήκει στη κατηγορία των στοιχείων μετάπτωσης του Περιοδικού πίνακα .

Το Ni είναι αργυρόλευκο και κάτω από τους 385 βαθμούς ελαφρώς μαγνητικό μέταλλο. Είναι σκληρό όπως ο σίδηρος ή και σκληρότερο. Επίσης είναι ελατό, ανθεκτικότερο του σιδήρου και αμετάβλητο στον αέρα ως συμπαγές. Στιλβωμένο αποκτά ισχυρή λάμψη. Διαλύεται στο νιτρικό οξύ, ενώ στο υδροχλωρικό οξύ διαλύεται αργά και "εν βρασμό". Δεν αντιδρά με τα αλκάλια. Επειδή σε λεπτό διαμερισμό διαλύει το υδρογόνο σε ποσοστό 17 φορές τον όγκο του, χρησιμοποιείται ευρύτατα ως καταλύτης υδρογόνωσης των ελαίων στη παρασκευή λιπών.[25]

## 4.7 Σίδηρος Fe

Ο σίδηρος είναι χημικό στοιχείο, και πιο συγκεκριμένα, μέταλλο της 1ης κύριας σειράς των στοιχείων μετάπτωσης με ατομικό αριθμό 26 και ατομικό βάρος 55,847. Έχει θερμοκρασία τήξης 1535 °C και θερμοκρασία βρασμού 2750 °C. Είναι το πιο άφθονο χημικό στοιχείο κατά μάζα του πλανήτη Γη και το τέταρτο πιο άφθονο στοιχείο στον στερεό φλοιό της, μετά το οξυγόνο, το πυρίτιο και το αργίλιο.

Όπως και τα υπόλοιπα χημικά στοιχεία της ομάδας, ο σίδηρος βρίσκεται σε σχετικά μεγάλο εύρος αριθμών οξείδωσης από -2 ως και +6, αν και οι αριθμοί οξείδωσης +2 και +3 είναι οι πιο συνηθισμένοι του. Είναι πολύ ευαίσθητος στην παρουσία οξυγόνου και νερού. Επιφάνειες νεοσχηματισμένου στοιχειακού σιδήρου φαίνονται ασημόγκριζες, αλλά οξειδώνονται στον κανονικό ατμοσφαιρικό αέρα, δίνοντας οξείδια του σιδήρου, γνωστά ως «σκουριά».

Ο σίδηρος παίζει σημαντικό ρόλο στη βιοχημεία, σχηματίζοντας σύμπλοκα με το μοριακό οξυγόνο (O<sub>2</sub>) στην αιμογλοβίνη και στη μυογλοβίνη, δυο συνηθισμένες μεταφορικές πρωτεΐνες οξυγόνου, που το μεταφέρουν στα σπονδυλωτά. Ο σίδηρος είναι ακόμη το μέταλλο που βρίσκεται στο ενεργό κέντρο πολλών σημαντικών οξειδοαναγωγικών ενζύμων που ασχολούνται με την κυτταρική αναπνοή και την οξειδοαναγωγή πολλών βιοχημικών ενώσεων σε φυτά και ζώα.

Ο σίδηρος θεωρείται απαραίτητο ανόργανο στοιχείο για όλους τους οργανισμούς, καθώς έχει σημαντικό ρόλο στο μεταβολισμό και είναι απαραίτητα προσθετική ομάδα για εκατοντάδες ένζυμα και πρωτεΐνες, όπως οι πρωτεΐνες που μεταφέρουν οξυγόνο. Στον ενήλικα άνθρωπο η φυσιολογική ποσότητα σιδήρου που βρίσκεται στον οργανισμό είναι περίπου 4 γραμμάρια, από τα οποία το 75% είναι δεσμευμένο στην αιμοσφαιρίνη. Ο σίδηρος που βρίσκεται στον οργανισμό ανακυκλώνεται, όμως μικρή ποσότητα αποβάλλεται με τα ούρα, τα κόπρανα, την έμμηνο ρύση στις γυναίκες και μέσω του δέρματος. Αυτή η απώλεια αντισταθμίζεται με την απορρόφηση σιδήρου που προέρχεται από τη διατροφή στο λεπτό έντερο.

Ο σίδηρος είναι στοιχείο το οποίο είναι απαραίτητο για όλους τους οργανισμούς. Ο σίδηρος είναι βασικό συστατικό της αίμης, ενός μορίου το οποίο υπάρχει σε μεγάλο αριθμό ενζύμων και πρωτεϊνών. Ο σίδηρος στην αίμη της αιμοσφαιρίνης και της μυοσφαιρίνης δρα ως μεταφορέας και αποθήκη οξυγόνου. Η αιμοσφαιρίνη δεσμεύει το μεγαλύτερο ποσοστό του σιδήρου στον οργανισμό. Ο σίδηρος σχηματίζει σύμπλοκα μαζί με το θείο τα οποία ενώνονται σε πρωτεΐνες, σχηματίζοντας σιδηρο-θείο-πρωτεΐνες, και συμμετέχουν σε πολλές βιολογικές λειτουργίες, όπως η φωτοσύνθεση και η αναπνοή. Αυτά τα σύμπλοκα έχουν πολλές διαφορετικές οξειδωτικές καταστάσεις και έτσι χρησιμοποιούνται σε πολλά ένζυμα και σε πρωτεΐνες με ρυθμιστική δράση. Ο σίδηρος βρίσκεται επίσης στο βακτηριακό ένζυμο νιτρογενάση, το οποίο χρησιμοποιείται στην αζωτοδέσμευση, δηλαδή μετατρέπει το μοριακό άζωτο σε αμμωνία.

Παρ' όλο που ο σίδηρος αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για ένα υγιή οργανισμό, η υπερβολική ποσότητά του μπορεί να καταστεί από επιζήμια ως και θανατηφόρα. Ο άνθρωπος δεν διαθέτει μηχανισμούς με τους οποίους μπορεί να απομακρύνει μαζικά σίδηρο από τον οργανισμό του. Έχει δείχθει ότι η υπερφόρτωση του οργανισμού με σίδηρο μπορεί να προκαλέσει βλάβες στο κυκλοφορικό σύστημα, στην καρδιά και εγκεφαλικά επεισόδια, ενώ έχει βρεθεί ότι προκαλεί βλάβες και σε άλλα όργανα, όπως το ήπαρ, οι πνεύμονες, ο μυελός των οστών και ενδοκρινή όργανα, με κίνδυνο εκδήλωσης θανάσιμων ασθενειών, όπως η κίρρωση ήπατος και η καρδιακή ανεπάρκεια, εξαιτίας της οξειδωτικής του δράσης. [26]

## 4.8 Ψευδάργυρος Zn

Το χημικό στοιχείο Ψευδάργυρος είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 30 και ατομικό βάρος 65,38 . Έχει θερμοκρασία τήξης 419,58 C° και θερμοκρασία βρασμού 907 C°. Το σύμβολό του είναι Zn.

Ο ψευδάργυρος, είναι ένα γαλαζωπό-άσπρο, λαμπερό, διαμαγνητικό μέταλλο, αν και οι περισσότεροι κοινοί εμπορικοί βαθμοί του μετάλλου έχουν ένα θαμπό αποτέλεσμα. Είναι λιγότερο πυκνό από το σίδηρο και έχει εξαγωνική δομή κρυστάλλου.

Ο μεταλλικός ψευδάργυρος είναι σκληρός και εύθραυστος στις περισσότερες θερμοκρασίες αλλά γίνεται ελατός μεταξύ 100 και 150 °C. Άνω των 210 °C, το μέταλλο γίνεται εύθραυστο πάλι και μπορεί να καταστραφεί με ένα χτύπημα. Ο ψευδάργυρος είναι ένας καλός αγωγός του ηλεκτρισμού.

Ο ψευδάργυρος είναι απαραίτητο στοιχείο για τη διατήρηση κάθε μορφής ζωής. Έχει εκτιμηθεί ότι 3000 από τις εκατοντάδες χιλιάδες πρωτεΐνες του ανθρώπινου σώματος, περιέχουν ψευδάργυρο. Επιπρόσθετα, υπάρχουν πάνω από 12 τύποι κυττάρων στο ανθρώπινο σώμα που περιέχουν ιόντα ψευδαργύρου, ο ρόλος των οποίων, στη φαρμακευτική και την υγεία, μελετάται συστηματικά τα τελευταία χρόνια. Τα εγκεφαλικά κύτταρα των θηλαστικών περιέχουν ψευδάργυρο, καθώς επίσης οι σιελογόνοι αδένες, ο προστάτης, το ανοσοποιητικό σύστημα και το έντερο.

Παρ' όλο που ο ψευδάργυρος αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για ένα υγιή οργανισμό, η υπερβολική ποσότητά του μπορεί να καταστεί επιζήμια. Η υπερβολική απορρόφηση ψευδαργύρου μπορεί, επίσης, να καταστείλει την απορρόφηση χαλκού και σιδήρου. Από την άλλη, τα ελεύθερα ιόντα ψευδαργύρου σε διάλυμα είναι υψηλής τοξικότητας για τα φυτά, τα ασπόνδυλα, ακόμα και για τα σπονδυλωτά ψάρια. [27]

## 4.9 Μόλυβδος Pb

Το χημικό στοιχείο μόλυβδος είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 82 και ατομικό βάρος 207,2. Έχει θερμοκρασία τήξης 327,5 C° και θερμοκρασία βρασμού 1740 C°. Το χημικό του σύμβολο είναι Pb.

Ο μόλυβδος εφόσον εκτεθεί στην φύση και έρθει σε επαφή με τον άνθρωπο, μπορεί να προκαλέσει βλάβες σε νεφρά, συκώτι, αίμα, δερματίτιδες ,αλλεργίες, βλάβη σε πνεύμονες μόνιμα αναπνευστικά προβλήματα και καρκινογενέσεις. Γι' αυτό τα υλικά τα οποία περιέχουν μόλυβδο, όπως οι ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, επιβάλλεται να ανακυκλώνονται. Όταν κόβεται έχει κυανόλευκο χρώμα, αλλά εξασθενεί σε γκρι όταν βρίσκεται στον αέρα και σε γυαλιστερό ασημί όταν βρίσκεται σε υγρό.

Ο μόλυβδος εξάγεται από το γαληνίτη. Χρησιμοποιείται σε μονώσεις, στις μπαταρίες αυτοκινήτων, στον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό και σε διάφορα κράματα. Θεωρείται αξιόλογο προστατευτικό απέναντι στη ραδιενέργεια. Λόγω της ανθεκτικότητάς του στη διάβρωση, χρησιμοποιείται εκτενώς στην οικοδόμηση κτιρίων.

Ο μόλυβδος παρουσιάζει διάφορους μηχανισμούς τοξικότητας. Παρεμβαίνει στο μεταβολισμό του σιδήρου και του ασβεστίου, σε μοριακό επίπεδο ενώνεται με σουλφυδρικές και άλλες ομάδες, και επεμβαίνει στη λειτουργία ορισμένων ενζύμων. Επιδρά τοξικά πάνω σε πολλά συστήματα του οργανισμού. Ο βαθμός βλάβης ποικίλει και εξαρτάται από τον χρόνο και την διάρκεια έκθεσης, την ηλικία αλλά και την θρεπτική και κατάσταση υγείας του παιδιού.

#### 4.10 Πηγές εισροής βαρέων μετάλλων

Στα φυσικά συστήματα τα μέταλλα προέρχονται από τα πετρώματα , τα μεταλλικά ορυκτά και τα ηφαίστεια . Η αποσάθρωση απελευθερώνει τα μέταλλα στη διαδικασία σχηματισμού εδάφους τα οποία είτε γίνονται μέρος του εδάφους ,είτε μεταφέρονται στα επιφανειακά και υπόγεια νερά. Η φυσική επιβάρυνση των μετάλλων μπορεί να αυξηθεί και από ανθρωπογενείς πηγές . Όπως είναι η χρήση βαρέων μετάλλων στη βιομηχανία. Βιομηχανίες παραγωγής χρωμάτων, φωτογραφικών υλικών, ηλεκτρονικού υλικού, παρασιτοκτόνων , συσσωρευτών , πυρομαχικών, μεταλλουργία κ.ά. Επιπλέον τα φυτοφάρμακα , τα παρασιτοκτόνα , τα ζιζανιοκτόνα και τα οξέα πάνω από ένα όριο προκαλούν δηλητηριάσεις , σταματούν την ανάπτυξη των φυτών και της φωτοσύνθεσης. Επίσης τα αστικά λύματα περιέχουν κάποιες ποσότητες βαρέων μετάλλων τα οποία προέρχονται από τη χρήση διαφόρων βιομηχανικών προϊόντων όπως είναι τα εντομοκτόνα και τα απορρυπαντικά. Άλλος ένας παράγοντας επιβάρυνσης είναι η χρήση χάλκινων σωλήνων από αρκετές βιομηχανίες για τον κύκλο του βιομηχανικού τους νερού , που λόγω της διάβρωσης σημαντικές ποσότητες χαλκού οδηγούνται στη θάλασσα κατά την έξοδο του νερού από το σύστημα ψύξης.

Ακόμη ο μόλυβδος προστίθεται ως αντικροτικό στα καύσιμα. Η χρήση του μολύβδου στην βενζίνη έχει σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα μεγάλων ποσοτήτων από ενώσεις μολύβδου που μέσω της βροχής κατακρημνίζονται στην επιφάνεια της γης ,στα επιφανειακά και υπόγεια νερά . Τα τελευταία χρόνια με την αλλαγή της σύστασης της βενζίνης παρουσιάζεται σημαντική μείωση στις συγκεντρώσεις αυτές . Άλλες ανθρωπογενείς πηγές είναι η απόρριψη στο περιβάλλον προϊόντων που περιέχουν βαρέα μέταλλα , η καύση υγρών καυσίμων , ξύλων και απορριμμάτων.

Τα επιτρεπόμενα όρια της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο πόσιμο νερό αναφέρονται στην σχετική νομοθεσία ΦΕΚ 3282/- 19/9/2017 για την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης (Πίνακας 3).

**Πίνακας 3 :** Επιτρεπόμενα όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο πόσιμο νερό (ΦΕΚ 3282).

Κάδμιο	5,0 μg/L
Χρώμιο	50 μg/L
Χαλκός	2,0 mg/L (2000μg/L)
Μόλυβδος	10 μg/L
Νικέλιο	20 μg/L
Σίδηρος	200 μg/L
Μαγγάνιο	50 μg/L

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

### 5.1 Ιστορική αναδρομή

Σαν αναλυτική μέθοδος προτάθηκε για πρώτη φορά το 1955 στην Αυστραλία από τον Walsh και τους συνεργάτες του. Όμως το 1855 ο Μπούνσεν και ο Κίρχοφ ένωσαν τις δυνάμεις τους και εργάστηκαν μαζί θεμελιώνοντας τη φασματική ανάλυση. Ήδη ο Μπούνσεν δούλευε στον τομέα αυτό. Η μέθοδος που ακολουθούσε ήταν να θερμαίνει τις διάφορες ουσίες ως τη θερμοκρασία στην οποία ακτινοβολούσαν ορατό φως, και στη συνέχεια διαχωρίζει τα χρώματα χρησιμοποιώντας χρωματιστά γυαλιά ή έγχρωμα διαλύματα. Ο Κίρχοφ εισηγήθηκε την χρήση πρίσματος για την ανάλυση του φωτός, πράγμα που έκανε τις παρατηρήσεις πολύ πιο ακριβείς. Αυτό τους οδήγησε στην επινόηση του φασματοσκοπίου, μιας συσκευής που με τη βοήθεια ενός γυάλινου πρίσματος διαχωρίζει το φως που εκπέμπεται από μια θερμή ουσία στις χρωματικές του συνιστώσες, οι οποίες αποτελούν αυτό που ονομάζουμε «οπτικό φάσμα» μιας ουσίας. Ανακάλυψαν έτσι ότι το κάθε υλικό έχει το δικό του μοτίβο φασματικών γραμμών, παρατήρηση που αποτέλεσε την αρχή της φασματικής ανάλυσης.

### 5.2 Φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης

Η φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες φασματοσκοπικές τεχνικές για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των στοιχείων σε δείγματα υλικών. Στην τεχνική αυτή γίνεται χρήση των δύο βασικών ιδιοτήτων της ύλης, όταν αυτή βρεθεί σε ατομική μορφή στην αέρια κατάσταση, κατά την αποδιέγερση τους, τα ελεύθερα άτομα των στοιχείων εκπέμπουν ακτινοβολίες με φωτόνια, η ενέργεια των οποίων είναι ίση με την ενέργεια των φωτονίων των ακτινοβολιών που απορρόφησαν για να διεγερθούν, και δεύτερο, οι ενέργειες των φωτονίων που απορροφούνται οι εκπέμπονται κατά τη διέγερση ή την αποδιέγερση αντίστοιχα των ελεύθερων ατόμων εξαρτώνται από τον ατομικό αριθμό των στοιχείων και είναι χαρακτηριστικές για κάθε στοιχείο.

Σε ένα φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης, μία λεπτή δέσμη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που αποτελείται από το φάσμα εκπομπής του υπό ανάλυση στοιχείου περνά μέσα από μία κυψελίδα απορρόφησης, η οποία περιέχει το δείγμα σε ατομική κατάσταση. Τα υπό ανάλυση άτομα στη βασική τους κατάσταση μέσα στην κυψελίδα απορροφούν φωτόνια χαρακτηριστικών μηκών κύματος από την ακτινοβολία της δέσμης, με αποτέλεσμα την εξασθένηση της έντασης της.

Η εξασθένηση της έντασης της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο δείγμα είναι ανάλογη με τον πληθυσμό των ατόμων του υπό ανάλυση στοιχείου στο δείγμα.

Τα βασικά μέρη ενός φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης είναι μία πηγή ακτινοβολίας, μία κυψελίδα ατομοποίησης, ένας μονοχρωμάτορας και ένας ανιχνευτής. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η κυψελίδα ατομοποίησης είναι μία φλόγα αέρα ακετυλενίου, στην οποία το διάλυμα του δείγματος σε μορφή σταγονιδίων. Εναλλακτικά, η κυψελίδα ατομοποίησης μπορεί να είναι ένας ανοικτός κύλινδρος από γραφίτη. Η υψηλή θερμοκρασία της φλόγας ή του φούρνου γραφίτη διασπά το δείγμα σε νέφος ατόμων τα οποία βρίσκονται κατά κύριο λόγο στη βασική τους κατάσταση.

Στα άτομα αυτά προσπίπτει ακτινοβολία συγκεκριμένων μηκών κύματος, χαρακτηριστικών για τα υπό ανίχνευση στοιχεία στο δείγμα και έτσι αυτά αν υπάρχουν στο δείγμα μπορούν να απορροφήσουν ενέργεια και να διεγερθούν. Αν και τα διεγερμένα άτομα κατά την αποδιέγερση τους αποβάλλουν φωτόνια ίδιου μήκους κύματος, αυτό συμβαίνει προς όλες τις κατευθύνσεις, με αποτέλεσμα την εξασθένηση της έντασης της δέσμης της ακτινοβολίας κατά μήκος της διαδρομής της. Στο άκρο της οπτικής διαδρομής υπάρχει ένας

μονοχρωμάτορας ρυθμισμένος σε συγκεκριμένο μήκος κύματος ο οποίος επιτρέπει μόνο στη συγκεκριμένη ακτινοβολία να φτάσει σε έναν ανιχνευτή. Η εξασθένηση της έντασης ακτινοβολίας της πηγής που μετράται από τον ανιχνευτή συνδέεται με τον αριθμό των ατόμων του υπό ανάλυση στοιχείου που βρίσκονται στη βασική τους κατάσταση κατά μήκος της οπτικής διαδρομής, και κατά συνέπεια, παρέχει έναν τρόπο μέτρηση της συγκέντρωσης του στοιχείου στο δείγμα.

Η ακτινοβολία που περνά μέσα από την κυψελίδα ατομοποίησης προέρχεται από μία λυχνία ειδική για το υπό ανάλυση στοιχείο και αποτελείται από το γραμμικό φάσμα εκπομπής του στοιχείου αυτού. Αποτελείται δηλαδή από ακτινοβολίες με μήκη κύματος στα οποία τα άτομα του υπό ανάλυση στοιχείου που βρίσκονται στην κυψελίδα ατομοποίησης απορροφούν, οπότε ο βαθμός εξασθένησης της έντασης της ακτινοβολίας αυτής είναι πολύ μεγαλύτερος σε σχέση με τον βαθμό εξασθένησης ακτινοβολίας λευκού φωτός. Το γεγονός αυτό αποτελεί το βασικό πλεονέκτημα της ατομικής απορρόφησης γιατί έχει σαν αποτέλεσμα υψηλή ευαισθησία, μικρή πιθανότητα φασματικών παρεμποδίσεων και σχετικά μικρό κόστος.[29]

## Βασικές αρχές φασματοσκοπίας

Η βασική αρχή λειτουργίας του είναι η εξής: Εκπέμπεται ακτινοβολία χαρακτηριστικού μήκους κύματος από συγκεκριμένη πηγή ακτινοβολίας και διανύει μια απόσταση ορισμένου μήκους μέσα στη φλόγα. Στη φλόγα εισάγεται με ψεκασμό ένα διάλυμα του δείγματος, εξατμίζεται ο διαλύτης αφήνοντας λεπτά σωματίδια άλατος να αιωρούνται, τα σωματίδια αεριοποιούνται και μέρος ή όλος ο παραγόμενος ατμός ατομοποιείται. Αυτά τα ελεύθερα ουδέτερα άτομα του στοιχείου βρίσκονται σε θεμελιώδη κατάσταση και απορροφούν ένα μέρος της ακτινοβολίας που διέρχεται μέσα από τη φλόγα.

Στο υπεριώδες διακρίνουμε δύο περιοχές: α) το εγγύς υπεριώδες (400 με 190 nm) και β) το άπω υπεριώδες (190 με 100 nm). Η συνήθης οργανολογία περιορίζεται στο εγγύς υπεριώδες, διότι η απορρόφηση κάτω από τα 190 nm α) από το διοξείδιο του πυριτίου (χαλαζία), υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένες τα οπτικά εξαρτήματα (κυψελίδες) και β) από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, δεν επιτρέπει μετρήσεις στο άπω υπεριώδες.

Για να πραγματοποιηθεί απορρόφηση ακτινοβολίας, τα φωτόνια που προσκρούουν στο δείγμα πρέπει να έχουν ενέργεια ίση με αυτή που χρειάζεται για να προκληθεί μια κβαντισμένη ενεργειακή μεταβολή.

Η ενέργεια των ηλεκτρονιακών μεταπτώσεων είναι της τάξης μερικών eV, δίνεται δε από τον τύπο

$$E = E_1 - E_2 = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

όπου E η ενέργεια, h η σταθερά του Planck,  $\nu$  η συχνότητα της ακτινοβολίας και  $\lambda$  το μήκος κύματος.

Οι ποσοτικές μετρήσεις που δίνει η φασματοφωτομετρία UV-VIS στηρίζεται στο ότι η απορρόφηση της ακτινοβολίας εξαρτάται από την ποσότητα της ουσίας που απορροφά την ακτινοβολία. Η ποσοτική σχέση δίνεται από το νόμο Beer-Lambert.

Σύμφωνα με το νόμο Beer-Lambert ισχύει:

$$I = I^0 e^{-\alpha c l} \quad (2)$$

Όπου c η συγκέντρωση του διαλύματος, l η διαδρομή που κάνει η ακτινοβολία μέσα στο διάλυμα και  $\alpha$  ο συντελεστής απορρόφησης, ο οποίος εξαρτάται από το μόριο ή ιόν που απορροφά σε ορισμένο διαλύτη και από τη συχνότητα της ακτινοβολίας.

Η σχέση (2) μετασχηματίζεται σε λογαριθμική μορφή:



$$\log \frac{I}{I_0} = -\epsilon C l \quad (3)$$

Το  $\epsilon$  είναι ο **μοριακός συντελεστής απορρόφησης** (molar absorption coefficient) και συνδέεται με το συντελεστή απορρόφησης  $a$  με τη σχέση:

$$\epsilon = \frac{a}{2.303} \quad (4)$$

Το γινόμενο  $\epsilon C l$  ονομάζεται **απορρόφηση A**, absorbance.

$$A = \epsilon C l \quad (5)$$

Ο λόγος  $\frac{I}{I_0}$  ονομάζεται **διαπερατότητα T**.

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (6)$$

Από τις σχέσεις (3) και (6) ισχύει

$$A = -\log T \quad (7)$$

Ο νόμος του Beer ισχύει όταν: 1) η προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι μονοχρωματική 2) Τα χημικά είδη που απορροφούν δρουν ανεξάρτητα στη διαδικασία απορρόφησης 3) η απορρόφηση συμβαίνει σ' έναν όγκο ομοιόμορφης διατομής 4) η ενεργειακή υποβάθμιση είναι γρήγορη (όχι φθορισμός). Γενικά ισχύει για αραιά διαλύματα.

Η γραφική απεικόνιση της απορρόφησης ενός διαλύματος σε σχέση με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας δίνει το φάσμα απορρόφησης της διαλυμένης ουσίας.

Το μήκος κύματος στο οποίο παρατηρείται το μεγαλύτερο ποσοστό απορρόφησης, ονομάζεται μήκος κύματος μέγιστης απορρόφησης και συμβολίζεται με  $\lambda_{\max}$ . Η τιμή του  $\lambda_{\max}$  είναι χαρακτηριστική της ουσίας, άρα μας δίνει ποιοτική πληροφορία. Το εμβαδόν της κορυφής του φάσματος σχετίζεται με τη ποσότητα της ουσίας, άρα δίνει ποσοτική πληροφορία.



**Εικόνα 8:** Μηχάνημα ατομικής απορρόφησης.

### 5.3 Πηγή ακτινοβολίας

Όπως αναφέρθηκε ήδη, στη φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης η ακτινοβολία διέγερσης των ατόμων στην κυψελίδα ατομοποίησης αποτελείται από το γραμμικό φάσμα εκπομπής του υπό ανάλυση στοιχείου. Οι πιο κοινές πηγές ακτινοβολίας είναι οι λυχνίες κοίλης καθόδου. Το βασικό συστατικό μιας λυχνίας κοίλης καθόδου είναι μία κυλινδρική κάθοδος το εσωτερικό της οποίας έχει επικαλυφθεί ολικά ή μερικά με το υπό ανάλυση στοιχείο. Η άνοδος και η κάθοδος είναι κλεισμένες σε γυάλινο κυλινδρικό περίβλημα στο οποίο περιέχεται αδρανές αέριο σε χαμηλή πίεση. Ο γυάλινος κύλινδρος διαθέτει ένα παράθυρο από χαλαζία υψηλής ποιότητας για τη βέλτιστη διαπερατότητα της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Η επιλογή του αερίου γίνεται με γνώμονα αφ ενός την καλύτερη δυνατή ένταση ακτινοβολίας, και αφ ετέρου την αποφυγή φασματικών παρεμποδίσεων από το νέον ή το αργό.

Εφαρμογή τάσης στα ηλεκτρόδια της λυχνίας επιφέρει ηλεκτρική εκκένωση, η οποία ιονίζει μερικά από τα άτομα του αδρανούς αερίου. Θετικά φορτισμένα ιόντα του αδρανούς αερίου επιταχύνονται προς την κάθοδο και, κατά τη σύγκρουση με αυτή αποσπώνται άτομα του υπό ανάλυση στοιχείου από την επιφάνειά της. Τα άτομα αυτά, κινούμενα με μεγάλη ταχύτητα μέσα στη λυχνία, συγκρούονται με άτομα του αδρανούς αερίου και διεγείρονται. Κατά την αποδιέγερση εκπέμπουν το χαρακτηριστικό φάσμα εκπομπής τους.

Για κάθε προσδιοριζόμενο στοιχείο απαιτείται και μία ειδική λυχνία κοίλης καθόδου που να περιέχει τα στοιχεία αυτά. Εναλλακτικά, είναι διαθέσιμες πολυστοιχειακές λυχνίες με κάθοδος επικαλυμμένες με μέχρι έξι στοιχεία. Οι πολυστοιχειακές λυχνίες πλεονεκτούν από άποψη κόστους, αλλά η χρήση τους πρέπει να αποφεύγεται σε αναλύσεις όπου απαιτείται υψηλή ευαισθησία.[28]

Στα σύγχρονα φασματοφωτόμετρα είναι δυνατή η ταυτόχρονη σύνδεση αρκετών λυχνία. Έτσι ενώ χρησιμοποιείτε μία από αυτές, άλλες μπορούν να προθερμαίνονται για επόμενες αναλύσεις. Η ευθυγράμμιση της δέσμης προς την κυψελίδα ατομοποίησης και το μονοχρωμάτορα γίνεται με τη βοήθεια ειδικών κατόπτρων.

Εξαιτίας του ότι δεν είναι πρακτική η απομόνωση της φλόγας ακετυλένιο από το περιβάλλον, τα φασματοφωτόμετρα ατομικής απορρόφησης είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να λειτουργούν σε φωτισμό δωματίου. Για την ηλεκτρονική απομόνωση της ακτινοβολίας που δεν προέρχεται από τη φωτεινή πηγή οι λυχνίες κοίλης καθόδου εκπέμπουν παλμούς φωτός με συχνότητα συνήθως 50 με 60 Hertz. Ο ανιχνευτής είναι ρυθμισμένος ώστε να καταγράφει τη διαφορά του σήματος που προέρχεται από τους παλμούς του φωτός και να απορρίπτει τα σήματα των υπόλοιπων ακτινοβολιών. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η απομόνωση τόσο της εξωτερικής ακτινοβολίας όσο και τις ακτινοβολίες που προέρχεται από τη φλόγα ή το φούρνο γραφίτη από το αναλυτικό σήμα.

Οι λυχνίες κοίλης καθόδου έχουν περιορισμένο χρόνο ζωής. Μετά από μακρόχρονη χρήση ο εξακοντισμός ατόμων από την επιφάνεια της καθόδου έχει απομακρύνει μεγάλο μέρος των ατόμων του στοιχείου από αυτή, τα οποία επικάθονται στα τοιχώματα της λυχνίας. Επίσης, το αδρανές αέριο επικολλάται ή προσροφάτε στο γυάλινο περίβλημα της λυχνίας. Λυχνίες πτητικών στοιχείων έχουν μικρότερο χρόνο ζωής από άλλες, εξαιτίας του υψηλού ρυθμού απομάκρυνσης των ατόμων των στοιχείων αυτών από την κάθοδο.

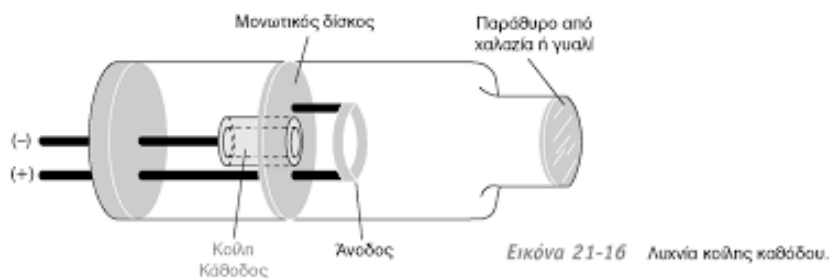
Το βέλτιστο ρεύμα για τη λειτουργία της λυχνίας διαφέρει από στοιχείο σε στοιχείο. Υψηλές τιμές ρεύματος παράγουν λαμπρότερες δέσμες ακτινοβολίας και χαμηλότερο θόρυβο στη γραμμή βάσης, αλλά εξαιτίας της διαπλάτυνσης των φασματικών γραμμών που επιφέρουν, η ευαισθησία της ανάλυσης μειώνεται. Επίσης υψηλές τιμές ρεύματος ελάττων το χρόνο ζωής της λυχνίας.

Για την αποφυγή αποκλίσεων της γραμμής βάσης, στα φασματοφωτόμετρα απλής δέσμης, οι λυχνίες πρέπει να προθερμαίνεται πριν τη χρήση τους. Η προθέρμανση των λυχνιών δεν είναι απαραίτητη στα φασματοφωτόμετρα διπλής δέσμης, όπου ένα μέρος από

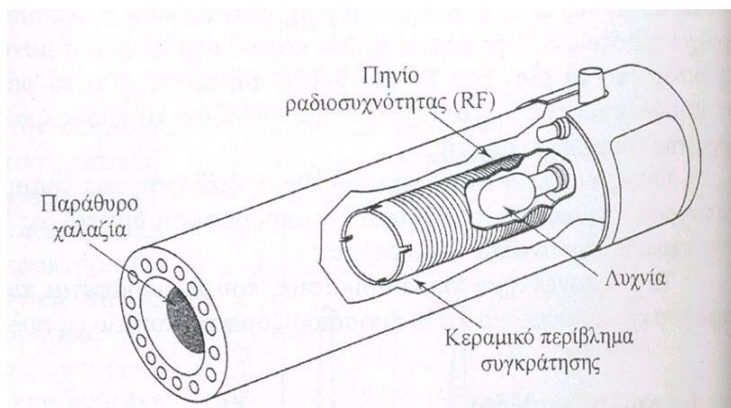
την εκπεμπόμενη ακτινοβολία περνάει έξω από τη φλόγα ή το φούρνο γραφίτη και αποτελεί την ακτινοβολία αναφοράς, κατά αναλογία με τα φασματοφωτόμετρα υπεριώδους και ορατού διπλής δέσμης. Οι δύο ακτινοβολίες επανενώνονται πριν την είσοδό τους στο μονοχρωμάτορα και ακολούθως τα δύο σήματα αναλύονται στον ενισχυτή ώστε να αντισταθμιστούν οι αποκλίσεις.

Για περισσότερα στοιχεία και για ανάλυση ρουτίνας, οι λυχνίες κοιλής καθόδου δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Όμως υπάρχουν περιπτώσεις όπου η χρήση των λυχνιών αυτών περιορίζει την ποιότητα των αποτελεσμάτων. Κυρίως οι περιπτώσεις αυτές αφορούν τα πιο ποιητικά στοιχεία όπου η χαμηλή ευαισθησία και ο περιορισμένος χρόνος ζωής των λυχνιών κοιλής καθόδου είναι ο σημαντικότερος περιοριστικός παράγοντας. Ο προσδιορισμός των στοιχείων αυτών μπορεί να βελτιωθεί δραματικά με τη χρήση ενός άλλου τύπου λυχνίας της λυχνίας εκκένωσης χωρίς ηλεκτρόδια, μία μικρή ποσότητα του υπό προσδιορισμού στοιχείου, ή κάποιο άλας του στοιχείου αυτού τοποθετείται μαζί με κάποιον αδρανές αέριο υπό χαμηλή πίεση μέσα σε ένα γυάλινο κύλινδρο, οποίος βρίσκεται μέσα σε ένα σπείρωμα που συνδέεται με μία γεννήτρια ραδιοσυχνοτήτων. Με παροχή ενέργειας στη γεννήτρια, αναπτύσσεται ένα πεδίο ραδιοσυχνοτήτων στο σπείρωμα που περιβάλλει το γυάλινο κύλινδρο. Άτομα του στοιχείου εξαχνώνονται και κατόπιν διεγείρονται. Κατά την από διεγέρση τους εκπέμπουν ακτινοβολία που αντιστοιχεί στο φάσμα εκπομπής του στοιχείου. Η ένταση της ακτινοβολίας αυτής είναι μεγαλύτερη από την ακτινοβολία που εκπέμπει από αντίστοιχη λυχνία κοιλής κάθοδο και κατά συνέπεια η ευαισθησία που επιτυγχάνεται με τη χρήση λυχνιών εκκένωσης χωρίς ηλεκτρόδια είναι μεγαλύτερη συγκρινόμενη με αυτή που επιτυγχάνεται με τη χρήση λυχνιών και κοιλής καθόδου. Ένα άλλο πλεονέκτημα των λυχνιών αυτών είναι ο κατά πολύ μεγαλύτερος χρόνος ζωής τους. Μειονέκτημα τους αποτελεί το υψηλότερο κόστος τους.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ανεξάρτητα από το είδος της πηγής, και για τον περιορισμό των παρεμποδίσεων που οφείλονται στην εκπομπή ακτινοβολίας από τη φλόγα ή το φούρνο γραφίτη στο σύστημα ατομοποίησης, η ένταση της ακτινοβολίας από την πηγή πρέπει να μεταβάλλεται με σταθερή συχνότητα. Έτσι ο ανιχνευτής λαμβάνει δύο σήματα: ένα παλλόμενο από την πηγή και ένα σταθερό από εξωγενείς παράγοντες. Τα φωτεινά σήματα μετατρέπονται στα αντίστοιχα ηλεκτρικά, και μέσω κατάλληλου φίλτρου RC το σταθερό σήμα απορρίπτεται. Η ταλάντωση της ακτινοβολίας από την πηγή μπορεί να επιτευχθεί είτε μέσω του τροφοδοτικού της, είτε πιο απλά, με παρεμβολή ενός περιστρεφόμενου δίσκου στη διαδρομή της ακτίνας από την οποία έχουν αφαιρεθεί τα δύο απέναντι τεταρτημόρια.[28]



Εικόνα 9: Λυχνία κοιλής καθόδου. [28]



Εικόνα 10 : Λυχνία εκκένωσης χωρίς ηλεκτρόδια. [28]

## 5.4 Σύστημα ατομοποίησης

Βασική προϋπόθεση για την ανάλυση με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης είναι τα υπό προσδιορισμό στοιχεία να βρίσκονται σε ατομική μορφή και στην αέρια κατάσταση. Για τη μετατροπή του υγρού δείγματος σε μορφή κατάλληλη για ανάλυση τα φασματοφωτόμετρα διαθέτουν ένα σύστημα ατομοποίησης, η λειτουργία του οποίου συνήθως στηρίζεται είτε στην ύπαρξη φλόγας είτε στην ηλεκτροθερμική διάσπαση των μορίων σε φούρνο γραφίτη.

### Ατομοποίηση με φλόγα

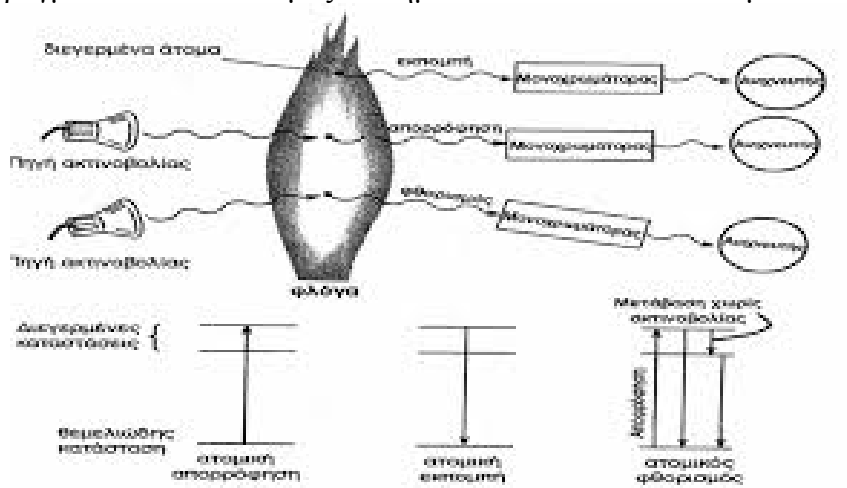
Στη φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης με φλόγα, η ατομοποίηση του δείγματος πραγματοποιείται με απορρόφηση θερμικής ενέργειας και διάσπαση των μοριακών δεσμών. Το υγρό δείγμα αναρροφάται μέσω ενός τριχοειδούς σωλήνα, παρασυρόμενο από ένα ρεύμα οξειδωτικού σε έναν εκνεφωτή, όπου μετατρέπεται σε αερόλυμα. Ο εκνεφωτής βρίσκεται στο ένα άκρο του θαλάμου ανάμειξης όπου, εκτός από το αερόλυμα του δείγματος και το οξειδωτικό, διοχετεύεται και καύσιμο. Το αερόλυμα παρασύρεται από το ρεύμα του οξειδωτικού και του καυσίμου μέσα σε ένα σύστημα κοχλιών στον θάλαμο ανάμειξης, όπου τα μεγαλύτερα σε μέγεθος τα γονίδια, κατακρατούνται, πέφτουν στον πυθμένα του θαλάμου ανάμειξης και τελικά απομακρύνονται στα απόβλητα. Τα μικρότερα σε μέγεθος τα γονίδια, σε πλήρη ανάμειξη με το οξειδωτικό και το καύσιμο, μεταφέρεται σε καυστήρα, του οποίου η κεφαλή έχει μία σχισμή καθορισμένου μήκους και πάχους όπου, με τη βοήθεια σπινθήρα, προκαλείται ανάφλεξη του καυσίμου. Η θερμοκρασία της φλόγας εξαρτάται τόσο από το είδος του καυσίμου και του οξειδωτικού όσο και από την αναλογία των όγκων τους. Στις περισσότερες εφαρμογές το καύσιμο είναι ακετυλένιο, ενώ το οξειδωτικό μπορεί να ποικίλει από ατμοσφαιρικό αέρα σε οξυγόνο ή πρωτοξείδιο του αζώτου ανάλογα με τη θερμοκρασία που απαιτείται να έχει η φλόγα και συγκεκριμένους ποιοτικούς και ποσοτικούς προσδιορισμούς.

Μέσα στη φλόγα, το υγρό δείγμα απορροφά θερμική ενέργεια και υφίσταται μία σειρά από διεργασίες, οι οποίες με τη σειρά πραγματοποίησής τους είναι: εξάτμιση του διαλύτη και παραγωγή ενός στέρεου αερολύματος, εξάχνωση του στερεού αερολύματος και τελικά διάσπαση των μοριακών δεσμών και παραγωγή ατομικού αερίου (ατομοποίηση). Παράλληλα με αυτές τις επιθυμητές διεργασίες, η αλληλεπίδραση των μορίων του δείγματος με τη φλόγα έχει σαν αποτέλεσμα τον ιονισμό μερικών από τα παραγόμενα άτομα, καθώς και τη διέγερση ατόμων, μορίων ή ιόντων που προέρχονται από το δείγμα. Ο ιονισμός των υπό προσδιορισμό ατόμων είναι μία ανεπιθύμητη διεργασία που προκαλεί σφάλμα στον ποσοτικό προσδιορισμό

τους .Η έκταση του ιονισμού είναι συνάρτηση των συνθηκών στη φλόγα, και τις ενέργειες ιονισμού των υπό προσδιορισμό ατόμων.

Το μικρό χρονικό διάστημα που τα άτομα βρίσκονται σε αέρια κατάσταση στη φλόγα ,ακτινοβολούνται με δέσμη ακτινοβολιών μηκών κύματος του φάσματος εκπομπής του υπό ανάλυση στοιχείου, η οποία διέρχεται από τη φλόγα . Άτομα του στοιχείου αυτού, αν υπάρχουν στο δείγμα, απορροφούν φωτόνια από την διερχόμενη ακτινοβολία και διεγείρονται σε υψηλότερες ενεργειακά καταστάσεις . Κατά συνέπεια, η ένταση της διερχόμενης ακτινοβολίας μειώνεται και μείωση αυτή καταγράφεται από έναν ανιχνευτή. Η μείωση της έντασης της ακτινοβολίας συνδέεται γραμμικά με τον αριθμό των ατόμων του υπό προσδιορισμό στοιχείου που βρίσκονται στην βασική κατάσταση στη φλόγα.

Βασικά πλεονεκτήματα της φλόγας για την ατομοποίηση των δειγμάτων είναι η σχετικά απλότητα στην οργανολογία της μεθόδου και στη χρήση της ,και η καλή επαναληψιμότητά της. Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι μεγάλη ποσότητα του δείγματος που απαιτείται και η μειωμένη σχετικά ευαισθησία της ,η οποία οφείλεται σε δύο λόγους: αφενός στο μικρό ποσοστό του δείγματος που τελικά φτάνει στη φλόγα και ατομοποιείται ,και αφετέρου πολύ μικρό χρονικό διάστημα που τα άτομα παραμένουν στην οπτική διαδρομή της ακτινοβολίας . Επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις ,η ατμοποίηση παρεμποδίζεται λόγω ατελούς διάσπασης ενώσεων, ή πραγματοποιείται ιονισμός σε σημαντικό ποσοστό των ατόμων στη φλόγα.



Εικόνα 11 : Ατομοποίηση με φλόγα.[28]

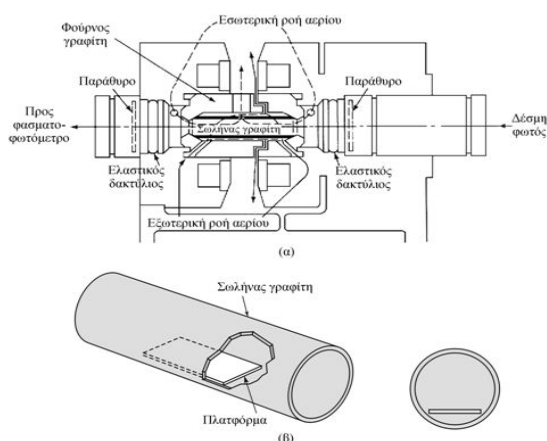
### Ηλεκτροθερμική ατομοποίηση με φούρνο γραφίτη

Τα περισσότερα μειονεκτήματα της ατομοποίησης με φλόγα αντιμετωπίζονται με τη μέθοδο της ηλεκτροθερμικής ατομοποίησης .Αυτή η μέθοδος ατομοποίησης εμφανίστηκε περίπου το 1970. Το κύριο μέρος ενός ηλεκτροθερμικού ατομοποιητή είναι ένας μικρός, ανοικτός κύλινδρος από γραφίτη με ένα άνοιγμα στο κέντρο του για την εισαγωγή του δείγματος . Ο φούρνος γραφίτη είναι τοποθετημένος σε ένα ζεύγος κυλινδρικών ηλεκτρικών επαφών από γραφίτη ,με τους οποίους συνδέεται στα άκρα του. Οι επαφές αυτές βρίσκονται σε ένα υδρόψυκτο μεταλλικό περίβλημα. Το σύστημα είναι εφοδιασμένο με δύο παροχές αδρανούς αερίου, με εξωτερική και με εσωτερική. Η εξωτερική παροχή εμποδίζει την είσοδο και την καύση του ατμοσφαιρικού αέρα στο φούρνο. Η εσωτερική παροχή αδρανούς αερίου περνάει στο εσωτερικό του κυλίνδρου από τα δύο άκρα του και εξέρχεται από το άνοιγμα στο κέντρο του. Η ροή αυτή αφενός εμποδίζει την είσοδο του ατμοσφαιρικού αέρα, και αφετέρου απομακρύνει τους ατμούς του διαλύτη που παράγονται κατά την εξάτμιση του.

Η ατομοποίηση του δείγματος στο φούρνο γραφίτη πραγματοποιείται σε στάδια που καθορίζονται από τις ανάγκες τις αναλύσεις. Αρχικά στο φούρνο εισάγεται ελάχιστη ποσότητα, συνήθως μερικά μικρολίτρα ,δείγματος σε κατάλληλη πλατφόρμα με αυτόματο δειγματολήπτη. Ο φούρνος θερμαίνεται σε κατάλληλη θερμοκρασία ώστε να εξατμιστεί ο

διαλύτης, και κατόπιν η θερμοκρασία του αυξάνεται ώστε το δείγμα να αποτεφρωθεί . Μετά την αποτέφρωση του δείγματος η θερμοκρασία του φούρνου αυξάνεται απότομα όπου πραγματοποιείται η ατομοποίηση του δείγματος σε κλάσματα του δευτερολέπτου. Τα άτομα του υπό προσδιορισμό στοιχείου που βρίσκονται στο εσωτερικό του φούρνου γραφίτη απορροφούν φωτόνια από ακτινοβολία με το φάσμα εκπομπής τους, η οποία διέρχεται από το φούρνο. Η εξασθένηση της ακτινοβολίας λόγω της απορρόφησης φωτονίων από τα άτομα προσδιορίζεται από τον ανιχνευτή του φασματοφωτόμετρου και συνδέεται με την συγκέντρωσή του δείγματος στο υπό προσδιορισμό στοιχείο μέσω μιας καμπύλης αναφοράς . Μετά το τέλος του προσδιορισμού, η θερμοκρασία στο φούρνο αυξάνεται ακόμα περισσότερο για μερικά δευτερόλεπτα ώστε, συνεπικουρούμενου και ρεύματος αδρανούς αερίου αυτός να καθαριστεί και να είναι έτοιμος για την για τον επόμενο προσδιορισμό.

Το βασικό πλεονέκτημα της ηλεκτροθερμικής σε ατομοποίησης είναι η ασυνήθιστα υψηλή ευαισθησία της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης που χρησιμοποιεί, και μάλιστα σε συνδυασμό με τον ελάχιστο όγκο δείγματος που απαιτεί. Συνήθως ο αυτόματος δειγματολήπτης τοποθετεί όγκο δείγματος από 0,5 έως 20 μικρολίτρα στο φούρνο γραφίτη. Η σχετική ακρίβεια των μεθόδων που δεν χρησιμοποιούν φλόγα σε γενικές γραμμές βρίσκεται μεταξύ 5% και 10%, ουσιαστικά μικρότερη αν συγκριθεί με τη σχετική ακρίβεια 1% και καλύτερη ακόμα που αναμένεται από φασματοσκοπία φλόγας ή πλάσματος .Εκτός από την σχετική χαμηλή ακρίβεια ,άλλο μειονέκτημα της μεθόδου μπορεί να θεωρηθεί η μεγαλύτερη χρονική διάρκεια της ανάλυσης .Τέλος , το αναλυτικό εύρος της μεθόδου είναι μικρό, με αποτέλεσμα η ηλεκτροθερμική ατομοποίηση να είναι λιγότερο ευέλικτη μέθοδος σε σχέση με άλλες.[28]



Εικόνα 12 : Ηλεκτροθερμική ατομοποίηση με φούρνο γραφίτη.[28]

## 5.5 Μονοχρωμάτορας

Τα βασικά μέρη ενός μονοχρωμάτορα είναι:

- μία λεπτή ορθογώνια σχισμή η οποία παρέχει ένα ορθογώνιο οπτικό είδωλο στη συσκευή.
- ένας φακός ευθυγράμμισης ή κοίλα κάτοπτρα που μετατρέπουν την ακτινοβολία σε παράλληλη δέσμη ακτινών.
- ένα πρίσμα η ένα φράγμα που αναλύει την ακτινοβολία στα μήκη κύματος που την αποτελούν.
- ένα στοιχείο εστίασης που αναμορφώνει το είδωλο της σχισμής εισόδου και το εστιάζει σε μία επίπεδη επιφάνεια που ονομάζεται επιφάνεια εστίασης.
- μία σχισμή εξόδου στην επιφάνεια εστίασης η οποία απομονώνει την επιθυμητή φασματική περιοχή.

Συνήθως οι μονοχρωμάτορες προφυλάσσονται από σκόνες ,διαβρωτικούς άτομους με ειδικά παράθυρα εισόδου και εξόδου.[28]

## Τρόπος λειτουργίας

Ο τρόπος λειτουργίας του μονοχρωμάτορα παρουσιάζεται για μία ακτινοβολία που για χάρη απλότητας, αποτελείται από δύο μόνο μήκη κύματος  $\lambda_1$  και  $\lambda_2$ . Η ακτινοβολία αυτή εισέρχεται στον μονοχρωμάτορα μέσω της σχισμής εισόδου, ευθυγραμμίζεται σε μία δέσμη παράλληλων ακτινών και προσπίπτει υπό γωνία στην επιφάνεια είτε ενός φράγματος είτε ενός πρίσματος. Στο μονοχρωμάτορα φράγματος η ανάλυση των μηκών κύματος πραγματοποιείται εξαιτίας της περίθλασης που συμβαίνει στην επιφάνεια του. Στον μονοχρωμάτορα πρίσματος, η διάθλαση των ακτινών στις δύο επιφάνειες του έχει σαν αποτέλεσμα την ανάλυσή τους. Και στις δύο περιπτώσεις, τα συστατικά της ακτινοβολίας εστιάζονται στην επιφάνεια εστίασης όπου εμφανίζεται σαν δύο ορθογώνια είδωλα της σχισμής εισόδου για το μήκος κύματος  $\lambda_1$  και ένα για το  $\lambda_2$ . Το επιθυμητό μήκος κύματος μπορεί να εξέλθει από τον μονοχρωμάτορα μέσω της σχισμής εξόδου για συγκεκριμένη θέση του στοιχείου ανάλυσης. Γενικά, με κατάλληλη περιστροφή του στοιχείου ανάλυσης μπορεί να επιλέγει το μήκος κύματος που θα εξέλθει από τον μονοχρωμάτορα, ενώ τα υπόλοιπα από τα μήκη κύματος που εισήλθαν μέσω της σχισμής εισόδου παρεμποδίζεται από την επιφάνεια εστίασης.

Στα σύγχρονα φασματοφωτόμετρα οι μονόχρωμάτορες περιέχουν σχεδόν αποκλειστικά φράγματα ανάκλασης, εξαιτίας του χαμηλότερου κόστους κατασκευής, της καλύτερης ανάλυσης της εισερχόμενης ακτινοβολίας και στοιχεία ανάλυσης ίδιου μεγέθους, και της γραμμικής σχέσης μεταξύ του μήκους κύματος και του σημείου πρόσπτωσης των συστατικών της αρχικής ακτινοβολίας που έχουν αναλυθεί στην επιφάνεια εστίασης.[28]

## 5.6 Ανιχνευτής

Ο ρόλος του ανιχνευτή είναι να παραλαμβάνει ένα οπτικό σήμα και να το μετατρέπει σε ηλεκτρικό ανάλογης έντασης. Τα βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτει ένας ανιχνευτής είναι υψηλή ευαισθησία, ο χαμηλός θόρυβος σε σχέση με την ένταση του σήματος, και η ταχεία και σταθερή απόκρισή του σε εύρος μηκών κύματος που να καλύπτει τις ανάγκες της φασματοσκοπίας στην οποία χρησιμοποιείται. Υπάρχουν πολλά είδη ανιχνευτών που στηρίζεται σε διαφορετικές αρχές λειτουργίες. Η επιλογή του κατάλληλου ανιχνευτή είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων, όπως του εύρους του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος λειτουργίας του φασματοφωτόμετρου, του είδους της φασματοσκοπίας που εφαρμόζεται, του κόστους, των συνθηκών ανίχνευσης. Στην ατομική φασματοσκοπία οι δημοφιλέστεροι ανιχνευτές είναι οι φωτοπολλαπλασιαστές και οι ανιχνευτές συστοιχίες φωτοδιόδων.

### Φωτοπολλαπλασιαστές

Οι φωτοπολλαπλασιαστές αποτελούν το πιο κοινό είδος ανιχνευτή στα φασματοφωτόμετρα ατομικής απορρόφησης. Είναι συσκευές με μεγάλη ευαισθησία, στις οποίες φωτόνια, κατά την πρόσκρουση τους σε ειδική φωτοευαίσθητη επιφάνεια, προκαλούν την εκπομπή ηλεκτρονίων από αυτή. Τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται επιταχύνονται υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου προς μια επόμενη επιφάνεια που ονομάζεται δυνόδος, όπου κάθε ηλεκτρόνιο προκαλεί εκπομπή νέων ηλεκτρονίων από την επιφάνεια της, η οποία συνδέεται με δυναμικό κατά 90 V θετικότερο της προηγούμενης δυνόδου. Αυτά επιταχύνονται προς μια επόμενη δυνόδο με δυναμικό επίσης κατά 90 V θετικότερο από την προηγούμενη όπου γίνεται κατά την πρόσκρουση εκπομπή και νέο ηλεκτρονίων. Η

διαδικασία επαναλαμβάνεται με επόμενες δυνόδους, μέχρι τελικά τα ηλεκτρόνια να συλλεχθούν από μία άνοδο, όπου το ηλεκτρικό σύστημα ενισχύεται και μετράται. Για κάθε φωτόνιο που προσπίπτει στην κάθοδο συλλέγονται  $10^6 - 10^7$  ηλεκτρόνια, με αποτέλεσμα την ικανότητα των φωτοπολλαπλασιαστών να μετατρέπουν σε μετρήσιμα σήματα ακτινοβολίας πολύ χαμηλής ισχύος. Άλλο πλεονέκτημα των φωτοπολλαπλασιαστών είναι η ταχύτητα απόκρισης τους.

## Ανιχνευτής συστοιχίας φωτοδίοδων

Με την εξέλιξη των φασματοφωτόμετρων είναι πλέον δυνατή η καταγραφή ολόκληρου του φάσματος μιας ουσίας σε χρόνο μικρότερο από ένα δευτερόλεπτο. Οι εφαρμογές της δυνατότητας αυτής είναι πολλές και διευκολύνουν τους ποιοτικούς και ποσοτικούς προσδιορισμούς σε πολλές μεθόδους. Η άμεση σάρωση έγινε δυνατή με τη χρήση ανιχνευτών συστοιχίας φωτοδίοδων. Οι ανιχνευτές αυτοί αποτελούνται από ράβδους πυριτίου τύπου p τοποθετημένες σε ένα υπόστρωμα από πυρίτιο τύπου n, έτσι ώστε να σχηματίζεται μία σειρά από δίοδους, επαφών pn. Με εφαρμογή αντίστροφης πόλωσης σε κάθε δίοδο, ηλεκτρόνια και θετικά φορτισμένες οπές απομακρύνονται από την επαφή. Έτσι, η επαφή δρα ως πυκνωτής, με τα φορτία να τοποθετούνται εκατέρωθεν της. Κατά την έναρξη κάθε κύκλου μετρήσεων κάθε δίοδος είναι εντελώς φορτισμένη.

Όταν ακτινοβολία χτυπήσει την επιφάνεια του ανιχνευτή δημιουργούνται ηλεκτρονικά και θετικά φορτισμένες οπές, που μετακινούνται σε περιοχές με αντίθετο φορτίο αποφορτίζοντας μερικά τον πυκνωτή. Όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς της προσπίπτουσας ακτινοβολίας τόσο λιγότερο φορτίο παραμένει στον πυκνωτή κατά το τέλος της μέτρησης. Επίσης, όσο περισσότερο διαρκεί η ακτινοβολία του ανιχνευτή κατά τις μετρήσεις, τόσο περισσότερο αποφορτίζεται κάθε πυκνωτής. Στο τέλος του κύκλου μετρήσεων προσδιορίζεται η φόρτιση των πυκνωτών μετρώντας το ποσό του ρεύματος που απαιτείται για την επαναφόρτιση τους.

Σε ένα φασματοφωτόμετρο που διαθέτει ανιχνευτή συστοιχίας φωτοδίοδων μία ακτινοβολία αναλύεται στα συστατικά μήκη κύματος της από ένα φράγμα ανάκλασης ή σκέδασης που βρίσκεται κατάλληλα τοποθετημένο σε σχέση με τον ανιχνευτή. Ακτινοβολίες διαφορετικού μήκους κύματος προσπίπτουν σε διαφορετικές δίοδους με αποτέλεσμα όλα τα μήκη κύματος να μετρώνται ταυτόχρονα. Η αναλυτική ικανότητα του φασματοφωτόμετρου εξαρτάται αφενός από το πόσο κοντά είναι τοποθετημένοι οι δίοδοι μεταξύ τους και αφετέρου από την ανάλυση της σύνθετης ακτινοβολίας στο φράγμα.[28]



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### Υλικά και μέθοδοι

#### Περιοχή δειγματοληψίας

Σκοπός της εργασίας ήταν ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων Cr, Cu, Mn, Fe, Pb, Ni, Mg, Cd σε δείγματα νερού από τις πηγές πόσιμου νερού του Δήμου Αποκόρωνα, τα φράγματα Μπραμμιανών, Αποσελέμη και Βαλσαμιώτη, τις λίμνες Κουρνά και Αγιάς και τους κύριους ποταμούς του νομού Χανίων Μουσέλα, Κουρνά, Κοιλιάρη, Κερίτη και Ταυρωνίτη.

Η χρονική περίοδος μελέτης εκτείνεται από 2015 έως 2017. Ιδιαίτερη προσπάθεια καταβλήθηκε ώστε η δειγματοληψία των επιφανειακών νερών ποταμών και φραγμάτων και λιμνών ώστε η ποιοτική αξιολόγηση να συμπίπτουν χρονικά. Τα δείγματα συλλέχθηκαν από την ομάδα του Εργαστηρίου αποτελούμενη από τον καθηγητή Γ Σταυρουλάκη (πηγές και ποτάμια) και τους φοιτητές Μπαγορδάκη Νίκο (φράγματα Λασιθίου και Ηρακλείου) και Χριστοδουλάκη Κλειώ (φράγματα και λίμνες Χανίων και Ρεθύμνης). Με την ολοκλήρωση των πτυχιακών διατριβών των Μπαγορδάκη και Χριστοδουλάκη θα υπάρχει η ολοκληρωμένη εικόνα των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υδατικών πόρων των περιοχών μελέτης.

Τα σημεία μελέτης από τα οποία έγιναν λήψεις δειγμάτων βρίσκονται στους νομούς Λασιθίου, Ηρακλείου και Χανίων.

Στον νομό Λασιθίου δύο δείγματα συλλέχθηκαν από το Φράγμα /Τεχνητή Λίμνη Μπραμμιανών Ιεράπετρας : Σημείο 1 Πύργος υδροληψίας, Σημείο 2 Ρέμα Μαλαύρας.

Στον νομό Ηρακλείου το δείγμα συλλέχθηκε από το φράγμα Αποσελέμη Σημείο 1. Πύργος Υδροληψίας Αποσελέμη.

Στον νομό Χανίων τα δείγματα συλλέχθηκαν από α) τα σημεία υδροληψίας του δικτύου ύδρευσης στα όρια του δήμου Αποκόρωνα α) Κόλυμπος, Εμπρόσνερος (γήπεδο), Κάινα, Καβούσι, Αρμένιοι πηγή, Κυριακοσέλια, Αντλιοστάσιο Κουρνά, Βαφές, Μελιδόνι, Ποτιστηρι, Λεπιδόλακος, Αλικάμπος, Σκοτεινή, Ν.Χωριό, Κορακιά, Φυλακή, Νίππος, Κελαιδής, Μιλτιάδης, Ζούρμπος, Ασπρο νερό, Μαθές πηγή, Αργυρούπολη, Μάζα γεώτρηση, Φρε, Ασή γωνιά γεώτρηση, Ασή γωνιά πηγή, Λυγαρές 1, Λυγαρές 2, Κούκος, Μαχαιροί, Πεμόνια β) τους ποταμούς Μουσέλα, Καβρό, Κοιλιάρη, Κλαδισό, Κερίτη και Ταυρωνίτη γ) την πηγή Μεσλών, δ) το φράγμα Βαλσαμιώτη, ε) την λίμνη Αγιάς, στ) δύο σημεία στην λίμνη Κουρνά Σημείο 1 Μάτι, Σημείο 2 Κέντρο,

Οι δειγματοληψίες στα σημεία υδροληψίας από τα φράγματα και τις λίμνες και του δικτύου υδροδότησης Δήμου Αποκόρωνα έγιναν στις ημερομηνίες που αναφέρονται στους πίνακες 3 και 4 αντίστοιχα.

Στις ημερομηνίες με κενό κουτί (χωρίς x) δεν πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία είτε επειδή οι γεωτρήσεις ήταν εκτός λειτουργίας ή δεν ήταν δυνατή η λήψη δείγματος.

Κατά την δειγματοληψία, το δοχείο συλλογής πρέπει να ξεπλυθεί 5-6 φορές με το νερό του δείγματος, υπερχειλίζεται ώστε να μην υπάρχει αέρια φάση και τοποθετείται σε φορητό ψυγείο με νερό και λιωμένο πάγο (melted ice) σε θερμοκρασία 4°C και γίνεται άμεση μεταφορά τους στο εργαστήριο.

Όλα τα δείγματα νερού που προορίζονται για ανάλυση βαρέων μετάλλων, διηθούνται με φίλτρο 0,45 μm για την απομάκρυνση των αιωρούμενων συστατικών, οξυνίζονται με νιτρικό οξύ 1% για την αποφυγή δημιουργίας συμπλόκων (προσθήκη 1ml π. HNO<sub>3</sub> /100ml δείγμα) και συντηρούνται σε ψυγείο 4°C μέχρι την ανάλυση.

**Πίνακας 4:** Ημερομηνίες δειγματοληψίας από το νομό Λασιθίου, Ηρακλείου και Χανίων

ΟΝΟΜΑ	Φράγμα /Τεχνητή Λίμνη Μπραμιανών Ιεράπετρας. Πύργος υδροληψία	Φράγμα /Τεχνητή Λίμνη Μπραμιανών Ιεράπετρας. Ρεύμα Μαλαύρας	φράγμα Αποσελέμη. Πύργος Υδροληψίας Αποσελέμη	Μουσέλα	Καβρό	Κοιλιάρη	Κλαδισό	Κερίτη	Ταυρονίτη	πηγή Μεσκλών	φράγμα Βαλσαμιότι	λίμνη Αγιάς	λίμνη Κουρνά . Μάτι	λίμνη Κουρνά . Κέντρο
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ														
28/4/2015						X	X	X	X					
4/5/2015	X	X	X										X	X
5/5/2015	X						X			X	X			
11/5/2015						X	X	X	X					
25/5/2015	X	X	X											
2/6/2015													X	X
3/6/2015	X									X	X			
1/7/2015							X	X	X					
7/7/2015	X									X	X	X		
20/7/2015	X	X	X											
22/7/2015				X	X	X		X	X					
4/8/2015													X	X
6/8/2015	X									X	X			
25/8/2015	X	X	X	X	X	X		X						
12/10/2015	X												X	X
13/10/2015	X									X		X		
9/11/2015								X						
2/12/2015								X	X					
28/12/2015				X	X	X							X	
11/1/2016								X	X					
11/2/2016													X	X
8/2/2016								X	X					
15/2/2016								X				X		
1/3/2016								X	X					

Στα δείγματα νερού της παρούσης μελέτης μετρήθηκε η συγκέντρωση των μετάλλων Cr, Cu , Mn , Fe , Pb ,Ni , Mg , Cd με σκοπό να ελεγχθεί η ποιότητα τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων νερών των περιοχών μελέτης.

**Πίνακες 5 :** Ημερομηνίες δειγματοληψίας του δικτύου υδροδότησης του Δήμου Αποκόρωνα.

**Πηγές Γεωτρήσεις Δήμου Αποκόρωνα**

ΟΝΟΜΑ	Κόλυμπος	Εμπρόσνερος (γήπεδο)	Κάινα	Καβούσι	Αρμένιοι πηγή	Κυριακασέλια	Αντλιοστάσιο Κουρνά	Βαφές	Μελιδόνι
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ									
29/3/2016	X	X	X	X	X	X	X	X	X
22/7/2016	X	X	X	X	X	X	X	X	X
17/1/2017	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13/3/2017	X	X		X	X	X	X	X	X
24/7/2017	X	X		X	X	X	X		X

**Πηγές Γεωτρήσεις Δήμου Αποκόρωνα**

ΟΝΟΜΑ	Λεπιδόλακος	Αλίκαμπος	Σκοτεινή	Ν.Χοριό	Κορακιά	Νίππος	Κελαϊδής	Μιλτιάδης	Ζούρμπος	Άσπρο νερό
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ										
29/3/2016	X	X	X	X	X	X	X	X		
22/7/2016	X	X	X	X	X	X	X	X		
17/1/2017	X	X	X	X	X		X		X	X
13/3/2017						X				
24/7/2017	X	X	X	X	X		X	X	X	X

**Πηγές Γεωτρήσεις Δήμου Αποκόρωνα**

ΟΝΟΜΑ	Μαθές πηγή	Αργυρούπολη	Μάζα	Ασή γωνιά γεώτρηση	Ασή γωνιά πηγή	Λυγαρές 1	Λυγαρές 2	Κούκος	Μαχαιροί	Πεμόνια
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ										
29/3/2016		X		X	X	X	X	X	X	X
22/7/2016		X	X	X	X	X	X	X	X	X
17/1/2017		X	X			X			X	X
13/3/2017	X	X	X			X	X			X
24/7/2017		X	X	X		X	X	X	X	X

## Παρασκευή προτύπων διαλυμάτων.

Τα πυκνά διαλύματα των μετάλλων είχαν αρχική συγκέντρωση  $C = 1000\text{ppm}$ .

Για την προετοιμασία των απαραίτητων προτύπων διαλυμάτων ακολουθείται ο νόμος της αραιώσης  $C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$ , όπου

$C_1 = 1000\text{ppm}$  πυκνού διαλύματος  $V_1 = x\text{ ml}$  πυκνού διαλύματος,

$C_2 =$  συγκέντρωση επιθυμητού προτύπου  $V_2 =$  τελικός όγκος επιθυμητού προτύπου διαλύματος.

Όλα τα πρότυπα διαλύματα παρασκευάστηκαν σε διάλυμα 1%  $\text{HNO}_3$  (υπερκάθαρο νερό με trace analysis  $\text{HNO}_3 < 69\%$ )

Προετοιμασία προτύπου διαλύματος 100 ppm σε φιάλη 10 ml: Προσθέτω 1ml από την πυκνή διάλυμα (1000ppm) + 9ml διάλυμα 1%  $\text{HNO}_3$ .

### Επιλογή συγκέντρωσης προτύπων διαλυμάτων.

Με την χρήση του λογισμικού της συσκευής AA προσδιορίζεται το Characteristic Concentration Check για κάθε στοιχείο και το Characteristic Concentration. Με βάση τα δεδομένα αυτά προετοιμάζονται τα απαραίτητα πρότυπα διαλύματα (standards). Στην περίπτωση που θα χρησιμοποιήσουμε φλόγα για ανάλυση δειγμάτων φτιάχνουμε τα πρότυπα του Πίνακα 5

**Πίνακας 6:** Τιμές πρότυπων διαλλειμάτων για ατομοποίηση με φλόγα σε ppm.

Στοιχείο	Πρότυπα διαλύματα			
	1	2	3	4
Cu	4	2	0,5	
Cr	4	1	0,5	
Mn	2.5	1	0.5	
Pb	20	10	5	0.5
Ni	7	2	0.5	
Mg	0.3	0.2	0.1	
Cd	1.5	1	0.1	
Zn	1	0.5	0.1	

### Επιλογή των προτύπων διαλυμάτων

Το 1<sup>ο</sup> standard είναι όσο ακριβώς και το Characteristic Concentration Check, το 2<sup>ο</sup> standard είναι λίγο ψηλότερο από το Characteristic Concentration και το 3<sup>ο</sup> standard στο ενδιάμεσο.

- Π.χ για το K

1<sup>ο</sup> Characteristic Concentration Check : 2,0 ppm

2<sup>ο</sup> Characteristic Concentration : 0,043 ppm. Άρα 0,1 ppm

3<sup>ο</sup> 1 ppm

Η φλόγα μετράει με ακρίβεια για κάθε στοιχείο μέχρι τη συγκέντρωση Characteristic Concentration. Αν οι τιμές που μας δίνει η μέτρηση είναι πιο χαμηλές από τις τιμές που φαίνονται στο πίνακα 10 τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο φούρνος γραφίτη για να έχουμε ακριβέστερα αποτελέσματα.

**Πίνακας 7:** Όρια ανίχνευσης οργάνου.

Στοιχείο	Όριο
Hg	0.048ppb
Cr	0.115ppb
Pb	1.202ppb
Ni	1.506ppb
Co	0.212ppb
Cd	0.009ppb
Cu	0.716ppb
Mn	10ppb(με φλόγα) 1,2ppb
Fe	15ppb(με φλόγα) 3ppb
Zn	0,77 ppb

Στη περίπτωση που η ανάλυση των δειγμάτων γίνει με φούρνο γραφίτη παρασκευάζεται ένα μόνο πρότυπο με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση. Το όργανο μέσω λογισμικού αραιώσεων φτιάχνει με τη βοήθεια από το λευκό τα μικρότερης συγκέντρωσης πρότυπα.

**Πίνακας 8:** Τιμές πρότυπων διαλλειμάτων για ατομοποίηση με φούρνο γραφίτη σε ppb.

Στοιχείο	Πρότυπα διαλύματα
Ni	10
Zn	5
Fe	10
Co	5
Cr	10
Mn	10
Cu	10
Pb	10

*Χρήση modifier.*

Για την μέτρηση των στοιχείων Ag, As, Au, Bi, Cd, Hg, Se, Sn, Te, Ti, Al, Be, Co, Cr, Fe, Mn, V, Zn, Pb πρέπει να χρησιμοποιούνται modifiers.

Έτσι για τα στοιχεία Ag, As, Au, Bi, Cd, Hg, Se, Sn, Te, Ti χρησιμοποιείται ως modifier το Pd + Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> για τα στοιχεία Al, Be, Co, Cr, Fe, Mn, V, Zn ο modifier Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> και για τον Pb ο modifier NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>.

Όταν αλλάζουμε modifier αλλάζουμε και γραφίτη. Δηλαδή τα στοιχεία στα οποία χρησιμοποιείται ο ίδιος γραφίτης ομαδοποιούνται με βάση τον modifier.

Η παρασκευή του modifier γίνεται σύμφωνα με τον πίνακα στην Εικόνα 11.[34]

### **Διαδικασία προσδιορισμού συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στα δείγματα.**

*Προσδιορισμός συγκέντρωσης Cu, Cr, Mn, Pb, Ni, Fe, Cd.*

Χρησιμοποιήθηκε ατομοποίηση με φούρνος γραφίτη με συνθήκες λειτουργίας που έχουν προσαρμοστεί και βελτιστοποιηθεί από το Εργαστήριο.

*Προσδιορισμός συγκέντρωσης Mg.*

Χρησιμοποιήθηκε ατομοποίηση με φλόγα με συνθήκες λειτουργίας που έχουν προσαρμοστεί και βελτιστοποιηθεί από το Εργαστήριο. Όπου κρίθηκε αναγκαίο έγιναν οι απαραίτητες αραιώσεις στα δείγματα με διάλυμα 1% HNO<sub>3</sub>.

**Table 1. HGA Graphite Furnace: Matrix Modifiers for Routine Applications**

Modifier	Major Application	Absolute Mass Required	Stock Reagents Required	Working Solutions (for a 5-μL modifier addition)	
				Preparation	Concentration
Pd + Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Ag, As, Au, Bi, Cd, Ga, Ge, Hg, In, Sb, Se, Sn, Te, Tl*	15 μg Pd + 10 μg Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1% (10 g/L) Pd* + 1% (10 g/L) Mg**	Dilute 3 mL of Pd stock solution and 0.3 mL of Mg stock solution to 10 mL with 18 MΩ deionized water.	0.3% (3 g/L) Pd + 0.2% (2 g/L) Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Al, Be, Co, Cr, Fe, Mn, V, Zn	50 μg Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1% (10 g/L) Mg**	Dilute 1.7 mL of Mg stock solution to 10 mL with 18 MΩ deionized water.	1.0% (10 g/L) Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Pb for D <sub>2</sub> background correction	200 μg NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Use either: <b>A:</b> 10% (100 g/L) NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> liquid*** or <b>B:</b> solid ultrapure NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <b>Caution:</b> do not use (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	<b>A:</b> Dilute 4.0 mL of NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> stock solution to 10 mL with 18 MΩ deionized water. or <b>B:</b> Dissolve 0.4 g NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> in 18 MΩ deionized water and make up to 10 mL.	4.0% (40 g/L) NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>

\*Tl = with Zeeman background correction only. (cont'd.)

**PERKIN ELMER**  
Look to us. And see more

Εικόνα 13 : Φούρνος γραφίτη οδηγίες για τα modifiers.

Αφού έχουν παρασκευαστεί τα πρότυπα διαλύματα που απαιτούνται όπως και τα απαραίτητα modifier, καθώς και το τυφλό (blank) (που αποτελείται από νιτρικό οξύ 1% σε υπερκάθαρο νερό), τα δείγματα τοποθετούνται σε φιαλίδια του αυτόματου δειγματολήπτη και τοποθετούνται από τη θέση τέσσερα και μετά. Στη θέση ένα μπαίνει το λευκό, στη θέση δύο το modifier, εάν η μέθοδος το απαιτεί, και στη θέση τρία το μεγαλύτερο πρότυπο ανάλογα τη μέθοδο για το κάθε μέταλλο.



Τοποθετείται στο ειδικό δοχείο του οργάνου αρκετό από το τυφλό μας για να κάνει τις αυτόματες πλύσεις του. Ελέγχεται η ενέργεια της λάμπας που αντιστοιχεί στο μέταλλο που θέλουμε να μετρήσουμε (κάποιες λάμπες θέλουν αρκετή ώρα «ζέσταμα» για να αποδώσουν σωστά) την καταγράφουμε στο τετράδιο του χειριστή. Επιλέγεται η μέθοδος ανάλυσης και αφού καταχωρηθούν οι θέσεις και τα ονόματα των δειγμάτων ξεκινά η δημιουργία καμπύλης αναφοράς. Πριν προχωρήσουν οι μετρήσεις των δειγμάτων πρέπει ο συντελεστής R<sup>2</sup> από τις καμπύλες αναφοράς είναι κοντά ή ακόμα καλύτερα ένα. Στην συνέχεια το όργανο μπορεί να ξεκινήσει τις αναλύσεις, παρατηρώντας για τυχόν αστοχίες ή για πυκνά δείγματα όπου θα χρειαστεί να γίνει αυτόματη αραιώση. Αυτή η διαδικασία ακολουθείται για τις μετρήσεις με φούρνο γραφίτη.

Για τις μετρήσεις με φλόγα αρχικά ο χειριστής πρέπει να αλλάξει το μηχάνημα και από το φούρνο γραφίτη να το ρυθμίσει σε φλόγα αυτόματα με εντολές από το λογισμικό.

Αφού γίνει η αλλαγή πρέπει να ευθυγραμμιστεί η βάση της φλόγας ανάλογα με την ακτίνα της λάμπας. Στη φλόγα δεν υπάρχει αυτόματος δειγματολήπτης οπότε η διαδικασία γίνεται χειροκίνητα. Παρασκευάζονται τα απαραίτητα πρότυπα και αρκετό τυφλό. Γίνονται οι κατάλληλες ρυθμίσεις στο λογισμικό και ετοιμάζεται η καμπύλη αναφοράς. Εδώ απαιτείται η προετοιμασία όλων των απαραίτητων προτύπων (όπως περιγράφεται παραπάνω) από το μικρότερο στο μεγαλύτερο. Εφόσον ο συντελεστής  $R^2$  από τις καμπύλες αναφοράς είναι κοντά ή ακόμα καλύτερα ξεκινούν χειροκίνητα οι αναλύσεις των δειγμάτων. Απαιτείται προσοχή για τυχόν πυκνά διαλλείματα που θα χρειαστούν αραιώση. Οι αραιώσεις εδώ δεν μπορούν να γίνουν αυτόματα οπότε θα γίνουν από τον χειριστή.

Συνιστάται ανά τακτά χρονικά διαστήματα να καθαρίζονται τα παραθυράκια από το φούρνο γραφίτη και να ελέγχεται ο γραφίτης όπως και οι επαφές του. Πολλές φορές στερεοποιούνται τα άλατα που υπάρχουν στα δείγματα και «κάθονται» στο όργανο. Για αυτό το λόγο πρέπει να γίνεται συχνός καθαρισμός γιατί θα υπάρχουν σφάλματα και αποκλίσεις από τις πραγματικές τιμές.

#### *Διαδικασία ανάλυσης ατομικής απορρόφησης με ατομοποίηση φλόγας με βάση το λογισμικό*

- 1 Ανοίγω μισή στροφή την φιάλη της ακετυλίνης και το στρόγγυλο κόκκινο βανάκι πλάγια
  - 2 Ανοίγω το κόκκινο διακόπτη του κομπρεσέρ και την κόκκινη βάνα χαμηλά
  - 3 Ανοίγω το πράσινο κουμπί της ατομικής απορρόφησης
  - 4 Ανοίγω τον υπολογιστή
  - 5 Κοιτάω τα απόβλητα – το δοχείο στο πάνω μέρος γεμάτο με νερό.
  - 6 Μπαίνω στο Analyst 700.
  - 7 Αρχικά κάνει Instalizing μετά με [V] δείχνει ότι είναι ok. Όταν όλα ok πάνω στο εικονίδιο Lamps → ανοίγω και πάω στη λάμπα που θέλω να ανάψω.
  - 8 Πατώ το On/off να πρασινίσει και μετά κάνω set up από αριστερά (άκρη). Όταν ανάψει λέει στο status : idle ή Lamp Set up completed
  - 9 Κάνω set midscale; στη λάμπα;
  - 10 Κανονίζω την μέθοδο που θα μετρήσω Fill → open → method → ανοίγω την μέθοδο που θέλω π.χ Na Lydakis κτλ
  - 11 Από εικονίδιο Method ed αλλάζω όνομα στο Method Description. Πάω στο standards concentrations → αλλάζω ή γράφω τις συγκεντρώσεις → spectrometer → settings (ρυθμίζω τα δείγματα επαναλήψεις κτλ). Μετά πάω ξανά file → save as → βγάζει Name και βάζω το όνομα.
  - 12 Κλείνω από το [X] τις μεθόδους και την λάμπα.
- 
- 13 Πάω στο flame εικονίδιο . Ανοίγει το flame control Oxidant Air, κάνω Align Burner → ανοίγει καρτέλα (Automatically align the burner → Next → Βγάζει καρτέλα Determine Vertical Position, πατάω adjust βγάζει ότι Vertical reference position found και πατάω [ok]. Μετά πατώ Next και βγάζει Determine Horizontal Position
  - 14 Βάζω τον απαγωγό στην πρίζα και διαβάζω τις οδηγίες :  
Αρχικά ανάβω την φλόγα από το flame control.  
Έχω βάλει οξινισμένο H<sub>2</sub>O, τον δειγματολήπτη και πατώ Autozero Graph.
  - 15 Βάζω το στοιχείο που “μετράει” και έχω ανάψει τη λάμπα π.χ θα μετρήσω Na άρα θα βάλω το Standard Characteristic Concentration Check. Πατώ Adjust και βγάζει ότι Horizontal reference position found → πατώ [ok] και μετά [finish]
  - 16 Πάω στο εικονίδιο manual και ανοίγω και τα Results [273].
  - 17 Αν έχει πρόβλημα η flame και δεν κλείνει πάω στο spectrometer και στην καρτέλα diagnostic στη flame → reconnect, ελέγγω το σύστημα το system.

- 18 Μετά το 17<sup>ο</sup> βήμα πάω Analyse blank και πατώ αφού έχω βάλει οξυοισμένο νερό. Μετά πάω στο Analyze standards και μετρώ τις συγκεντρώσεις των standards όπως τις δίνει.
- 19 Πάω στο analyse sample στο id γράφω το όνομα του δείγματος και πατώ Analyse sample.
- 20 Αν υπάρχει είδη η μέθοδος πάω στο file → open → method και κάνω κλικ (επιλέγω τη μέθοδο) και κλείνω τη λάμπα.
- 21 Όταν τελειώσω το κλείνω και κάνω bleed gasses (μετά που θα κλείσω τη φλόγα). Κλείνω τη λάμπα και από file Exit → αποθηκεύω και φεύγω από το πρόγραμμα. Ακολουθώ αντίστροφη διαδικασία του βήματος 1<sup>ο</sup> έως 7<sup>ο</sup> και τερματίζω την διαδικασία.

#### *Διαδικασία ανάλυσης ατομικής απορρόφησης με ατομοποίηση φούρνου γραφίτη*

Τα βήματα από 1 ως 6 της φλόγας είναι κοινά με εκτός του 1 όπου ανοίγω την φιάλη του Αργού (Ar) και όχι την φιάλη της ασετυλίνης.

→ Αρχικά πάω στο Analyst Win Lab 32.

→ Ξεβιδώνουμε μπροστά τον κοχλία –βγάζουμε το προστατευτικό τζάμι – με το άσπρο κουμπί μετακινείται πάνω – κάτω- και πάμε χειροκίνητα τη φλόγα στην άκρη αριστερά. Υπάρχουν 2 δοχεία από τα οποία το 1 (W) είναι για τα απόβλητα και το άλλο το γεμίζουμε με νιτρικό οξύ.

→ Αλλάζουμε τεχνική από το πρόγραμμα. File→ utilities→ change technics→ furnace→ ok.

1. Περιμένουμε να γίνουν πράσινα τα 3 στοιχεία του system status

- Analyst 700 Spectrometer

- HGA Furnace

- AS-800 Autosampler

2. Ανοίγουμε τα εικονίδια Lamps. Πατάμε On στο On/Off στη λάμπα επιλογής μας και κάνουμε set up

3. Ανοίγουμε το Furnace και πατάμε Align Furnace. Πατάμε τη μέθοδο + OK

Select task + Next -----adjust

Αφού βρεθεί η θέση πατάμε OK και μετά πατάμε Finish

4. Πατάμε Align Tip

Από select task to perform διαλέγουμε το 1<sup>ο</sup> κύκλο: ( Align autosampler tip in the graphite tube ) και πατάω next.

5. Ρυθμίζουμε τη βελόνα του tip ( με τη βοήθεια του καθρέπτη, φακού και άσπρου χαρτιού ). Με τον άσπρα κοχλία ρυθμίζω τη θέση πάνω – κάτω. Προσέχω ώστε η μύτη του tip να μπαίνει μέσα στην τρύπα του γραφίτη χωρίς να ακουμπάει πάνω σε αυτόν :

( Υπάρχουν δύο μαύροι μικροί κοχλίες στο μπροστινό και πισινό μέρος του autosampler όπου ρυθμίζουν ο μπροστινός ( μπρος – πίσω ) και ο πλάγιος ( δεξιά – αριστερά ).

Όταν ρυθμίσουμε τη βελόνα την ανεβάζουμε πάνω από τον γραφίτη και έξω από την τρύπα και πατάμε finish.

6. Πατάμε ξανά Align Tip

Πάμε στο 2<sup>ο</sup> βήμα ( Check autosampler tip alignment in the graphite tube )

Πατάμε Next

Και ελέγχουμε αν η βελόνα μπαίνει σωστά μέσα στην τρύπα.

( Στην περίπτωση που δεν μπαίνει μέσα επαναλαμβάνουμε το 1<sup>ο</sup> βήμα )

Αφήνουμε τη βελόνα να είναι τα 2/3 της μέσα στην τρύπα και πατάμε Finish

7. Align Tip στο 3<sup>ο</sup> κύκλο : ( Set the depth of the autosampler tip in the sampling cup )

Πατάω next ( Πρέπει να διαβρέχεται μόνο το πλαστικό της βελόνας ,.OXI το μεταλλικό της μέρος + FINISH )

8. Align Tip ( 5<sup>ο</sup> βήμα ) : Suspend the autosampler tip above the rinsed vessel to renew and cut the plastic tubing. NEXT + FINISH



## 6.5 Αποτελέσματα

Στους πίνακες 8 και 9 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων σε δείγματα νερού από πηγές και γεωτρήσεις στο Δήμο Αποκόρωνα. Τα μέταλλα Cr, Cu, Mn, Zn, Pb, Ni των οποίων η συγκέντρωση ήταν μικρότερη από τα όρια ανίχνευσης του οργάνου θεωρείται μη ανιχνεύσιμη και σημειώνεται ως (below the detection limits). Στα δείγματα που η συγκέντρωση των μετάλλων Fe, Mg, Cd ήταν πάνω από όριο ανίχνευσης, παρουσιάζεται η μέγιστη και ελάχιστη τιμή και υπολογίστηκε ο μέσος όρος όλων των δειγματοληψιών και η τυπική του απόκλιση.

Οι τιμές αυτές είναι πολύ χαμηλές σε σχέση με τα όρια της νομοθεσίας όπου ορίζει για το σίδηρο (Fe) 200 µg/L ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση και για το κάδμιο (Cd) 5 µg/L ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση. Με δεδομένο την απουσία βιομηχανικής δραστηριότητας στην περιοχή των γεωτρήσεων του δικτύου η όποια συγκέντρωση μετάλλων είναι πιθανότερο γεωλογικής προέλευσης. Έτσι η παρουσία του μαγνησίου (Mg) μπορεί να συνδεθεί με την ύπαρξη ορυκτών μαγνησίου με τα οποία έρχεται σε επαφή το υπόγειο νερό ενώ η πιθανότητα της διείσδυσης της θάλασσας στον υδροφορέα θεωρείται πιθανή μόνο στα σημεία Κουρνάς Ζούρμπος και Κάινα όπου καταγράφονται συνθήκες υφαλμύρωσης.

Ο σίδηρος(Fe) υπάρχει κυρίως σε υπόγεια νερά, που διέρχονται από πετρώματα πλούσια σε άλατα σιδήρου ενώ το κάδμιο(Cd) βρίσκεται κυρίως στα ιζήματα των βυθών και σε αιωρούμενα σωματίδια. Πηγές του καδμίου στο νερό είναι και η διάβρωση των γαλβανισμένων σωλήνων. Σε συστήματα ύδρευσης, που τροφοδοτούνται με νερό μαλακό χαμηλού pH, μπορεί να βρεθούν ψηλές συγκεντρώσεις καδμίου, επειδή αυτά τα νερά είναι πιο διαβρωτικά και η διαλυτότητά του καδμίου στο νερό εξαρτάται από το pH και τη σκληρότητα.

**Πίνακας 9:** Αποτελέσματα βαρέων μετάλλων δήμου Αποκόρωνα.

ΟΝΟΜΑ	Cr(ppb)	Cu(ppb)	Mn(ppb)	Fe(ppb)	Zn(ppb)	Pb(ppb)	Ni(ppb)	Mg(ppm)	Mg average	standard deviation
Κόλυμπος	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2,7-8,1	5,80	2,12
Εμπρόσνερος (γήπεδο)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1,42-4,4	3,20	1,42
Κάινα	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	13,2-16,2	14,90	1,57
Καβούσι	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1,27-4,4	2,50	1,27
Αρμένιοι πηγή	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	1,3-4,4	2,78	1,01
Κυριακασέλια	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2-4,5	10,60	4,12
Αντλιοστάσιο Κουρνά	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	6,5-17,2	165,40	95,57
Βαφές	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	59-257	4,28	0,83
Μελιδόνι	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	3,3-5,3	2,20	1,46
Ποτιστηρι	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	7,7	7,70	x

**Πίνακας 10:** Αποτελέσματα βαρέων μετάλλων δήμου Αποκόρωνα.

ΟΝΟΜΑ	Cr(ppb)	Cu(ppb)	Mn(ppb)	Fe(ppb)	Fe average	standard deviation	Zn(ppb)	Pb(ppb)	Ni(ppb)	Mg(ppm)	Mg average	standard deviation	Cd (ppb)	Cd average	standard deviation
Λεπιδόλακος	bdl	bdl	bdl	0-10,87	5,99	4,75	bdl	bdl	bdl	8,6-12	10,85	1,53	0,042-0,104	0,07	0,03
Αλίκαμπος	bdl	bdl	bdl	0-7,74	5,40	3,63	bdl	bdl	bdl	4,5-6,6	5,50	0,86	0,043-0,074	0,06	0,01
Σκοτεινή	bdl	bdl	bdl	0-8,67	4,24	3,55	bdl	bdl	bdl	4,1-6,2	5,40	0,93	0,067-0,143	0,10	0,04
N.Χωριό	bdl	bdl	bdl	0-5,66	3,29	2,38	bdl	bdl	bdl	5,5-9,2	7,80	1,61	0,044-0,111	0,08	0,03
Κορακιά	bdl	bdl	bdl	0-4,67	2,19	2,54	bdl	bdl	bdl	0-7,7	5,55	3,72	0-0,077	0,05	0,03
Φυλακή	bdl	bdl	bdl	0-7,16	3,86	3,14	bdl	bdl	bdl	1,17-14,7	9,04	5,69	0,029-0,075	0,05	0,02
Νίπτος	bdl	bdl	bdl	5,95-7,23	6,66	0,65	bdl	bdl	bdl	0,5-16,7	10,77	8,93	0-0,13	0,06	0,07
Κελαϊδής	bdl	bdl	bdl	0-6,93	4,60	3,12	bdl	bdl	bdl	6,2-10,6	7,83	1,92	0,039-0,142	0,09	0,04
Μιλτιάδης	bdl	bdl	bdl	0-9,26	4,60	4,63	bdl	bdl	bdl	7,4-8,1	7,80	0,36	0,042-0,113	0,08	0,04
Ζούρμπος	bdl	bdl	bdl	0-5,39	2,70	3,81	bdl	bdl	bdl	7,4-23,1	15,25	11,10	0-0,15	0,08	0,11
Άσπρο νερό	bdl	bdl	bdl	0-5,71	2,86	4,04	bdl	bdl	bdl	5,2-10,9	8,05	4,03	0-0,012	0,01	0,01
Μαθές πηγή	bdl	bdl	bdl	5,24	5,25	x	bdl	bdl	bdl	2,7	2,70	x	0,065	0,07	x
Αργυρούπολη	bdl	bdl	bdl	3,91	3,92	x	bdl	bdl	bdl	0,6	0,60	x	0,046	0,05	x
Μάζα γεώτρηση	bdl	bdl	bdl	0-4,41	2,13	2,46	bdl	bdl	bdl	4,5-8,3	6,45	1,93	0,026-0,102	0,07	0,03
Φρε	bdl	bdl	bdl	4,24-5,24	4,89	0,92	bdl	bdl	bdl	4-7,3	5,65	2,33	0,048-0,096	0,07	0,03
Ασή γωνιά γεώτρηση	bdl	bdl	bdl	0-7,48	4,59	4,02	bdl	bdl	bdl	2,3-11,8	6,43	4,87	0,022-0,064	0,05	0,02
Ασή γωνιά πηγή	bdl	bdl	bdl	5,99-8,44	7,22	1,73	bdl	bdl	bdl	2,8-7,1	4,95	3,04	0,053-0,066	0,06	0,01
Λυγαρές 1	bdl	bdl	bdl	0-8,77	6,60	3,50	bdl	bdl	bdl	6,8-8,7	7,83	0,76	0,066-0,098	0,08	0,02
Λυγαρές 2	bdl	bdl	bdl	0-5,40	3,64	2,50	bdl	bdl	bdl	6,7-12,3	8,83	2,49	0,04-0,154	0,08	0,05
Κούκος	bdl	bdl	bdl	0-3,06	1,53	2,17	bdl	bdl	bdl	5,6-9,3	7,45	2,62	0,014-0,051	0,03	0,03
Μαχαιροί	bdl	bdl	bdl	0-6,47	4,46	3,02	bdl	bdl	bdl	3,3-8,5	5,15	2,30	0-0,09	0,05	0,04
Πεμόνια	bdl	bdl	bdl	0-3,21	0,80	1,44	bdl	bdl	bdl	2,3-11,7	6,80	3,45	0,026-0,1	0,06	0,06

Οι τιμές που παρατηρούμε στους ποταμούς Μουσέλα , Καβρό , Κερίτη , Κλαδισό, Κοιλιάρη και Ταυρωνίτη είναι όλες κάτω από τα όρια της νομοθεσίας για το πόσιμο νερό (Σχήματα 1 ,2, 3,4,5,6) . Η όποια ελάχιστη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων, είναι πιθανότερο γεωλογικής προελεύσεως λόγω απουσίας βιομηχανική δραστηριότητα γύρω από την περιοχή μελέτης. Πηγές ψευδαργύρου και καδμίου στο νερό μπορεί να είναι η διάβρωση των γαλβανισμένων σωλήνων και τα απόβλητα μεταλλείων. Επίσης η ύπαρξη του μαγνησίου μπορεί να συνδεθεί με την αφθονία του στοιχείου στη φύση καθώς είναι από τα συνηθισμένα συστατικά των φυσικών νερών.

Επιπλέον η ύπαρξη στοιχείων όπως ο μόλυβδος μπορεί να συνδεθεί με τη αγροτική δραστηριότητα στις περιοχές κοντά στους ποταμούς. Με τη βροχή ξεπλένονται τα υπολείμματα από φυτοφάρμακα και λιπάσματα τα οποία καταλήγουν στους υδροφόρους και στα ποτάμια.

Όπως και στα ποτάμια έτσι και στις λίμνες οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων είναι πολύ κάτω από τα όρια της νομοθεσίας για το πόσιμο νερό. Τόσο στη λίμνη της Αγίας όσο και στη λίμνη του Κουρνά είναι πολύ χαμηλές (Σχήματα 7, 8,9 ). Η όποια ελάχιστη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων, είναι πιθανότερο γεωλογικής προέλευσης. Επίσης

απαιτείται περαιτέρω έρευνα στα ιζήματα των δύο λιμνών ώστε να διευκρινιστεί εάν υπάρχει κάποια συσσώρευση βαρέων μετάλλων μέσω των επιφανειακών απορροών που καταλήγουν στις λίμνες. Επίσης η υπεράντληση στην λίμνη του Κουρνά εντείνει το φαινόμενο της υφαλμύρωσης η οποία είναι πιθανόν να προκαλεί την αύξηση της συγκέντρωσης Mg στο νερό . Η μικρή συγκέντρωση ψευδαργύρου στα δείγματα από το αντλιοστάσιο της λίμνης Κουρνά είναι πιθανόν να οφείλεται στις σωληνώσεις του αντλιοστασίου.

Οι τιμές βαρέων μετάλλων στα σημεία φράγμα Αποσελέμη ,ρεύμα Μαλάβρας , πύργος Υδροληψίας και φράγμα Βαλσαμιώτη είναι πολύ χαμηλές( Σχήματα 10,11 ,12,13) σε σχέση με τα όρια της νομοθεσίας και είναι πιθανότερο γεωλογικής προέλευσης. Η παρουσία του χρωμίου (Cr) στο φράγμα Βαλσαμιώτη μπορεί να συνδέεται με την αποσάθρωση χρωμιούχων πετρωμάτων όπου έρχονται σε επαφή με το υπόγειο νερό. Επιπλέον οι μετρήσεις μολύβδου στο πύργο υδροληψίας του φράγματος Γρα Λυγιάς στην Ιεράπετρα μπορεί να οφείλονται σε απορροές με αγροχημικά.

Παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα στη πηγή Μεσκλών( Σχήμα 14) με αρκετά χαμηλές τιμές βαρέων μετάλλων σύμφωνα με την νομοθεσία πόσιμου νερού.







































## **Αποτίμηση της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων σε επιφανειακά νερά ανά ημερομηνία δειγματοληψίας**

Στα σχήματα 15.16.17 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις κάθε βαρέου μετάλλου σε όλες τις δειγματοληψίες και σε όλα τα σημεία ώστε έτσι να απεικονίζεται η στιγμιαία τιμή συγκέντρωσης του μετάλλου σε επίπεδο Κρήτης, καθόσον οι ημερομηνίες δειγματοληψίας από τα αντίστοιχα σημεία απείχαν ελάχιστα χρονικά.

Οι μετρήσεις όπως φαίνεται και στους πίνακες 4 και 5 με τις ημερομηνίες δειγματοληψιών έχουν γίνει με διαφορά το πολύ μια με δύο μέρες που αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να έχουμε μία ολοκληρωμένη εικόνα σε επίπεδο νησιού.

Με αυτό το τρόπο έχουμε τη δυνατότητα να κάνουμε συγκριτικές παρατηρήσεις της διακύμανσης των τιμών σε κάθε θέση στη περιοχή μελέτης άρα και την καλύτερη εικόνα για τη κατάσταση της ποιότητας του νερού. Έτσι μπορούμε εύκολα να εντοπίσουμε το είδος και τον βαθμό του προβλήματος κάθε σημείου δειγματοληψίας, ώστε να βγάλουμε ένα ασφαλές συμπέρασμα για όλη τη περιοχή μελέτης.

### **Χρόμιο (Cr):**

Ενώσεις του χρωμίου βρίσκονται στο περιβάλλον, χάρη στη διάβρωση των χρωμιούχων πετρωμάτων, αλλά και των ηφαιστειακών εκρήξεων. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση 11μg/L παρατηρείτε στο ρεύμα Βαλσαμιώτη στις 3/6/2015 με ανώτερο όριο νομοθεσίας στα 50 μg /L. Στα υπόλοιπα σημεία δειγματοληψιών οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα έως και μηδενικά.

### **Χαλκός (Cu):**

Σημαντικές ποσότητες χαλκού διαλύονται στο νερό λόγω της διάβρωσης των χάλκινων σωλήνων. Η συγκέντρωση του χαλκού δεν υπερβαίνει σε καμία από τις θέσεις των δειγματοληψιών τα 2 mg/L που είναι το όριο καταλληλότητας για το πόσιμο νερό . Η μεγαλύτερη τιμή 0,008 mg/L μετρήθηκε στη λίμνη Κουρνά στο σημείο Μάτι 28/12/2015. Στις υπόλοιπες θέσεις κυμαίνεται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα έως και μηδενικά.

### **Μαγγάνιο(Mn):**

Το μαγγάνιο ως στοιχείο εμφανίζεται στο χώμα σε συγκεντρώσεις 7 ως 9000 ppm, μέσος όρος 440 ppm., ενώ το θαλασσινό νερό περιέχει μόνο 10 ppm μαγγανίου. Ιδιαίτερα χαμηλή βρέθηκε η συγκέντρωση του μαγγανίου που μετρήθηκε στα σημεία δειγματοληψίας με την ανώτερη τιμή 16 μg /L στον Αποσελέμη στις 4/5/2015 η οποία είναι κατά πολύ χαμηλότερη από το ανώτερο επιτρεπτό όριο των 50 μg /L.

### **Σίδηρος (Fe):**

Η συγκέντρωση του σιδήρου με εξαίρεση τη θέση Μουσέλας που μετρήθηκαν 113 μg /L στις 28/12/2015, μετρήθηκε σε πολύ χαμηλά επίπεδα από το όριο των 200 μg /L για το πόσιμο νερό.

### **Ψευδάργυρος (Zn):**

Σε όλες τις θέσεις η συγκέντρωση του ψευδαργύρου βρίσκεται κάτω από το όριο των πόσιμων νερών που είναι 100 μg /L με μέγιστη μετρηθείσα τιμή 71 μg /L στο σημείο Κέντρο λίμνης του Κουρνά την ημερομηνία 12/10/2015.

### **Μόλυβδος (Pb):**

Η ρύπανση από μόλυβδο προέρχεται κυρίως από βιομηχανική και τεχνολογική χρήση. Επιπλέον η χρήση εντομοκτόνων που περιέχουν μόλυβδο αλλά και διάφορες χρωστικές ουσίες είναι μεγάλη πηγή ρύπανσης για το περιβάλλον. Η συγκέντρωσή του στην περιοχή μελέτης δεν ξεπερνάει σε κανένα σημείο το ανώτερο όριο που είναι 10 μg /L. Η μέγιστη συγκέντρωση 9 μg /L μετρήθηκε στο ρεύμα Βαλσαμιώτη 5/5/2015.

Νικέλιο (Ni):

Η συγκέντρωση νικελίου κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα και βρίσκεται κάτω από το ανώτερο όριο των 20  $\mu\text{g} / \text{L}$  σε όλες τις θέσεις. Με υψηλότερη τιμή 9  $\mu\text{g} / \text{L}$  στο σημείο Μαλάβρας στις 25/8/2015.

Μαγνήσιο(Mg):

Όλα σχεδόν τα πόσιμα νερά περιέχουν, εκτός από τα όξινα ανθρακικά άλατα, και πολλά άλλα τα οποία διαλύονται εύκολα στο νερό όταν αυτό τα συναντά στο έδαφος, όπως χλωριούχο νάτριο (NaCl), θειικό ασβέστιο (CaSO<sub>4</sub>), θειικό μαγνήσιο (MgSO<sub>4</sub>). Οπότε είναι αρκετά συχνό στοιχείο στο νερό. Η συγκέντρωση μαγνησίου με εξαίρεση τη θέση Κοιλιάρη με ημερομηνία 25/8/2015 και τιμή 224 mg/L , στις υπόλοιπες θέσεις κυμαίνεται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα έως και μηδενικά.

Περαιτέρω έρευνα απαιτείται προκειμένου να διερευνηθεί η συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στο ίζημα των σημείων δειγματοληψίας στα φράγματα, τις λίμνες και τους ποταμούς προκειμένου να διαπιστωθεί εάν υπάρχει κάποια σχέση με τις όποιες χαμηλές συγκεντρώσεις μετάλλων μετρήθηκαν στους υδάτινους όγκους όπως έχει μελετηθεί στην περίπτωση του ποταμού Κερίτη [33].

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Βικιπαίδεια 10/5/2016 Νερό. Πρόσβαση από <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%B5%CF%81%CF%8C>
- 2) Βικιπαίδεια 3/6/2015 Ο κύκλος του νερού πρόσβαση από [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%8D%CE%BA%CE%BB%CE%BF%CF%82\\_%CF%84%CE%BF%CF%85\\_%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%8D](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%8D%CE%BA%CE%BB%CE%BF%CF%82_%CF%84%CE%BF%CF%85_%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%8D)
- 3) Τσετσώνη Μαγδαληνή. 2014. Προσδιορισμός του επιπέδου ρύπανσης των υπόγειων υδατικών πόρων και της παράκτιας ζώνης στη περιοχή της Χαλέπας. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος. ΤΕΙ Κρήτης. Χανιά 2014
- 4) Crittenden J., R.R. Trussell, D.W. Hand, K.J. Howe and G Tsobanoglous (2005). Water Treatment: Principles and Design, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, ISBN: 978-0-471-11018-7.
- 5) Eisenberg, D. and W. Kauzman (1969). The structure and properties of water, Oxford University Press, New York and London
- 6) Franks F. (2000). Water: A Matrix of Life, 2nd ed. Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- 7) Vandas S.J., T.C. Winter and W.A. Battaglin (2002). Water and the environment. American Geological Institute in cooperation with Bureau of Reclamation, National Park Service, U.S. Army Corps of Engineers, USDA Forest Service, U.S. Geological Survey,.
- 8) Μονάδα ποιότητας ποτάμιων συστημάτων τομέας Ζωολογίας, Τμήμα Βιολογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών Α.Π.Θ. Πρόσβαση από <http://river.bio.auth.gr/language/el/5-%CF%81%CF%8D%CF%80%CE%B1%CE%BD%CF%83%CE%B7/>
- 9) TVXS Αποθέματα νερού 2010 Πρόσβαση από <http://tvxs.gr/news/periballon/i-krisi-toy-neroy-kai-ta-pagkosmia-apothemata-toy>
- 10) Βικιπαίδεια [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%B5%CF%81%CF%8C#.CE.A4.CE.BF\\_.CF.80.CF.81.CF.8C.CE.B2.CE.BB.CE.B7.CE.BC.CE.B1\\_.CF.84.CE.B7.CF.82\\_.CE.BB.CE.B5.CE.B9.CF.88.CF.85.CE.B4.CF.81.CE.AF.CE.B1.CF.82](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%B5%CF%81%CF%8C#.CE.A4.CE.BF_.CF.80.CF.81.CF.8C.CE.B2.CE.BB.CE.B7.CE.BC.CE.B1_.CF.84.CE.B7.CF.82_.CE.BB.CE.B5.CE.B9.CF.88.CF.85.CE.B4.CF.81.CE.AF.CE.B1.CF.82)
- 11) EFSYN 2015 Λειψυδρία Πρόσβαση από <http://www.efsyn.gr/arthro/i-leipsydria-apeilei-tin-pagkosmia-oikonomia>
- 12) METAQUA 2013 Υπόγεια αποθέματα νερού Πρόσβαση από <http://www.metaqua.gr/blog/item/8-sto-kokkino-ta-ypogeia-apothemata>
- 13) MICROO 2010 Πρόσβαση από straylife <http://microo.net/article.php?water-shortage>
- 14) ONMED Φίλτρο καφέ από το πανεπιστήμιο της Ιταλίας Πρόσβαση από <http://www.onmed.gr/ygeia-eidhseis/story/347620/ellino-italiki-patenta-filtro-me-kafe-gia-katharismo-toy-neroy?v2>
- 15) FOREIGNAFFAIRS 2017 Πόλεμος για το νερό Πρόσβαση από <https://www.foreignaffairs.com/articles/global-commons/2012-10-18/no-wars-water>
- 16) biosyn-oelmek 2013 Πρόσβαση από [http://www.biosyn-oelmek.org/ekpaideftiko\\_yliko/ekpaideftiko\\_yliko\\_files/Water.pdf](http://www.biosyn-oelmek.org/ekpaideftiko_yliko/ekpaideftiko_yliko_files/Water.pdf)

- 17) Αλεξανδρος Καλαθάς lessons of geography Πρόσβαση από [http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA\\_5.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_5.pdf)
- 18) <http://www.bio.auth.gr/river/river/theory/unit4/chapter5.htm>
- 19) NUTRILABS 2017 Βαρέα μέταλλα Πρόσβαση από <http://nutrilabs.gr/barea-metalla/>
- 20) Βικιπαίδεια 2018 Χρώμιο Πρόσβαση από <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CF%81%CF%8E%CE%BC%CE%B9%CE%BF>
- 21) Βικιπαίδεια 2018 Χαλκός Πρόσβαση από <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CE%B1%CE%BB%CE%BA%CF%8C%CF%82>
- 22) Βικιπαίδεια 2018 Μαγγάνιο Πρόσβαση από <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B1%CE%B3%CE%B3%CE%AC%CE%BD%CE%B9%CE%BF>
- 23) Βικιπαίδεια 2018 Μαγνήσιο Πρόσβαση από <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CE%BB%CE%B9%CE%BF>
- 24) Βικιπαίδεια 2018 Νικέλιο Πρόσβαση από <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%AF%CE%B4%CE%B7%CF%81%CE%BF%CF%82>
- 25) Βικιπαίδεια 2018 Σίδηρος Πρόσβαση από <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A8%CE%B5%CF%85%CE%B4%CE%AC%CF%81%CE%B3%CF%85%CF%81%CE%BF%CF%82>
- 26) <https://www.diatrofi.gr/food/sistatika/metal/1218-%CE%B7-%CF%84%CE%BF%CE%BE%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%B4%CF%81%CE%AC%CF%83%CE%B7-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CE%BC%CF%8C%CE%BB%CF%85%CE%B2%CE%B4%CE%BF%CF%85/>
- 27) Skoog, Holler , Nieman , Αρχές της ενόργανης ανάλυσης , Εκδόσεις Κωσταρακης.
- 28) Λυδάκης Σημαντήρης Νίκος, Γενική χημεία και ενόργανη ανάλυση (θέματα και εργαστηριακές ασκήσεις) 2<sup>η</sup> Έκδοση , Εκδόσεις Τζιόλα
- 29) Μαρία Καλημέρη. 2004. Ποιοτικός έλεγχος των υδάτων των ποταμών Κοιλιάρη και Ταυρωνίτη. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος. ΤΕΙ Κρήτης. Χανιά.
- 30) Παπαφιλίππáκη Ανδρονίκη. 2001 Εργαστηριακές σημειώσεις περιβαλλοντικής εδαφολογίας. Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος. ΤΕΙ Κρήτης. Χανιά.
- 31) ΦΕΚ (ΚΥΑ) 3282 - 19/9/2017. Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 98/83/EK του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της 3ης Νοεμβρίου 1998 όπως τροποποιήθηκε με την Οδηγία (ΕΕ) 2015/1787 (L260, 7.10.2015).
- 32) Μαντέλα Αργυρή. 2007. Βαρέα μέταλλα στην υδρολογική λεκάνη του Κερίτη. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος. ΤΕΙ Κρήτης. Χανιά.
- 33) Χρυσού Ελευθερία. 2007 Επιβάρυνση με βαρεα μέταλλα εδαφών της υδρολογικής λεκάνης Κερίτη Ν Χανίων. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος. ΤΕΙ Κρήτης. Χανιά.