



## Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΖΗΚΟΥ ΑΡΙΣΤΕΑ

ΧΑΝΙΑ 2007



## Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

### ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### ΖΗΚΟΥ ΑΡΙΣΤΕΑ

Επιβλέπων :

Δρ Γ. Σταυρουλάκης  
Καθηγητής

Επιτροπή Αξιολόγησης:

Δρ Κώπη Μελίνα  
Εργαστηριακός Συνεργάτης

Παπαφιλιππάκη Ανδρονίκη (MSc)  
Εργαστηριακός Συνεργάτης

Ημερομηνία παρουσίασης :

15 Ιουνίου 2007

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	1
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ</b>	
1.1 Τι είναι τα βαρέα μέταλλα .....	3
1.2 Ποια είναι τα βαρέα μέταλλα .....	4
1.3 Σύντομη ανάλυση για το βάριο .....	4
1.4 Σύντομη ανάλυση για το νικέλιο .....	7
1.5 Σύντομη ανάλυση για το σελήνιο .....	11
1.6 Σύντομη ανάλυση για τον χαλκό .....	13
1.7 Σύντομη ανάλυση για το χρώμιο .....	16
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ</b>	
2.1 Χαρακτηριστικά του αρσενικού .....	20
2.2 Πηγές αρσενικού .....	22
2.2.1 Φυσικές πηγές .....	23
2.2.2 Ανθρωπογενείς πηγές .....	26
2.3 Συμπτώματα ασθένειας .....	27
2.3.1 Παράγοντες που συμβάλουν στην θνησιμότητα από την έκθεση αρσενικού .....	29
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΚΑΔΜΙΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ</b>	
3.1 Χαρακτηριστικά του καδμίου .....	31
3.2 Πηγές καδμίου .....	33
3.2.1 Φυσικές πηγές .....	35
3.2.2 Ανθρωπογενείς πηγές .....	36
3.3 Συμπτώματα ασθένειας .....	40
3.3.1 Παράγοντες που συμβάλουν στην θνησιμότητα από την έκθεση καδμίου .....	42
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΜΟΛΥΒΔΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ</b>	
4.1 Χαρακτηριστικά του μολύβδου .....	43
4.2 Πηγές μολύβδου .....	45
4.2.1 Φυσικές πηγές .....	45
4.2.2 Ανθρωπογενείς πηγές .....	46
4.3 Συμπτώματα ασθένειας .....	48
4.3.1 Παράγοντες που συμβάλουν στην θνησιμότητα από την έκθεση μολύβδου .....	51

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ**

5.1 Χαρακτηριστικά του υδραργύρου .....	52
5.2 Πηγές του υδραργύρου .....	54
5.2.1 Φυσικές πηγές.....	56
5.2.2 Ανθρωπογενείς πηγές .....	57
5.3 Συμπτώματα ασθένειας.....	58
5.3.1 Παράγοντες που συμβάλουν στην θνησιμότητα από την έκθεση υδραργύρου.....	61

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ**

6.1 Αποφυγή επιβάρυνσης.....	63
6.2 Αντιμετώπιση.....	64

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αστικοποίηση, η βιομηχανοποίηση και η τεχνολογική εξέλιξη έχουν σαν αποτέλεσμα να εμφανιστεί στο περιβάλλον μεγάλη ποικιλία ρυπαντών. Οποιαδήποτε όμως αλλαγή προκαλείται από τις ανθρωπογενείς επιδράσεις ακόμη και σε ένα από τα συνθετικά του περιβάλλοντος, αέρα, νερό και γη, προσβάλλει το περιβάλλον σαν ολότητα δεδομένου ότι το φυσικό περιβάλλον αποτελεί μια ολοκληρωμένη ενότητα. Σήμερα έχει πλέον αναγνωρισθεί η πολύπλοκη αλληλεπίδραση του ανθρώπου με το περιβάλλον.

Το νερό αποτελεί ένα από τους σπουδαιότερους φυσικούς πόρους για τον άνθρωπο διότι χωρίς αυτό δεν μπορεί να υπάρχει ζωή. Εκτός από την οικιακή, αγροτική και βιομηχανική χρήση οι υδάτινοι πόροι χρησιμοποιούνται για ψάρεμα, ναυσιπλοΐα, διασκέδαση κ.λ.π. Έστω και αν το νερό είναι καθαρό, εύγευστο και άοσμο μπορεί να υπάρχουν σε αυτό στοιχεία μόλυνσης. Μεταξύ αυτών των στοιχείων μπορεί να περιλαμβάνονται τα βαρέα μέταλλα, που περνώντας από τις εγκαταστάσεις παροχής νερού μπορεί να μολύνουν τους κατοίκους μιας περιοχής.

Στη χημεία τα βαρέα μέταλλα αναφέρονται σ' ένα τύπο χημικών στοιχείων πολλά από τα οποία είναι τοξικά για τον άνθρωπο. Τα τέσσερα μέταλλα που εξετάζονται εδώ, αρσενικό(As),κádμιο(Cd),μόλυβδος(Pb) και υδράργυρος(Hg) είναι αυτά που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό κίνδυνο εξαιτίας της εκτεταμένης χρήσης τους, της τοξικότητάς τους και της ευρείας κατανομής τους. Κανένα μέχρι τώρα μέταλλο δεν έχει διεισδύσει στο περιβάλλον σε τέτοια έκταση ώστε να αποτελέσει εκτεταμένο κίνδυνο. Εν τούτοις το κάθε ένα έχει ανιχνευτεί σε τοξικά επίπεδα σε συγκεκριμένα μέρη τα τελευταία χρόνια. Τα μέταλλα σε αντίθεση με τις περισσότερες τοξικές οργανικές ενώσεις δεν αποικοδομούνται και γι' αυτό συσσωρεύονται στο περιβάλλον. Τελικά ένα μέρος αυτών καταλήγει με τη βιολογική τροφική αλυσίδα ως τον άνθρωπο στον οποίο προκαλούν χρόνιες ή οξείες βλάβες.

Οι κυριότερες πηγές ρυπάνσεως με βαρέα μέταλλα είναι οι ακόλουθες:

- 1) Ηφαίστεια.
- 2) Πετρώματα και ορυκτά.
- 3) Χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στη γεωργία(γεωργικά φάρμακα, λιπάσματα).
- 4) Καυσαέρια αυτοκινήτων.
- 5) Βιομηχανικά απόβλητα.

Εξαιτίας των μετάλλων ένας μεγάλος αριθμός ρυπαντών φυσικών, χημικών, βιολογικών και πυρηνικών, έχουν ανεβρεθεί στο υδάτινο περιβάλλον και έχουν αναγνωρισθεί ως επιβλαβείς τόσο για την ανθρώπινη υγεία όσο και για τους οργανισμούς που ζουν στα υδάτινα οικοσυστήματα.

Ειδικότερα ως πηγές μόλυνσης του υδάτινου περιβάλλοντος θεωρούνται τα λύματα που απομακρύνονται δια μέσου των υδάτινων οδών, οι ατμοσφαιρικοί ρυπαντές, τα νερά της βροχής, που αφού ξεπλύνουν το έδαφος καταλήγουν στην θάλασσα. Οι πηγές αυτές, που προκαλούν υποβάθμιση της ποιότητας του νερού χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες :στις φυσικές και στις ανθρωπογενείς.

Τα φυτοφάρμακα, τα λιπάσματα κ.τ.λ είναι ανθρώπινα κατασκευάσματα και βρίσκονται στο περιβάλλον ως προϊόντα της τεχνολογικής ανάπτυξης. Ουσίες όπως τα ιχνοστοιχεία μετάλλων βρίσκονται στη φύση υπό ορισμένη συγκέντρωση το καθένα.

Έχουν υπάρξει πάντα μέταλλα στη γη και πολλά από αυτά εκπληρώνουν τις ουσιαστικές λειτουργίες σε όλα τα ζωντανά όντα. Εντούτοις, ένας σημαντικός αριθμός μετάλλων είναι επιβλαβής στα φυτά, στα ζώα και στον άνθρωπο, σε υπερβολικές ποσότητες. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για ορισμένα βαρέα μέταλλα όπως ο υδράργυρος, το κάδμιο, το αρσενικό και ο μόλυβδος. Αρκετά από αυτά τα μέταλλα μπορούν να αποθηκευτούν στον ιστό διαβίωσης και να παραμείνουν εκεί για ένα μακροχρόνιο διάστημα. Τα βαρέα μέταλλα μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία με την οξεία και χρόνια δηλητηρίαση. Ομοίως, οι χρόνιες χαμηλές εκθέσεις στα βαρέα μέταλλα μπορούν να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία μακροπρόθεσμα. Τα βαρέα μέταλλα έχουν προσδιοριστεί ως παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στην ανθρώπινη γονιμότητα.

Οι κυριότερες από τις επιπτώσεις των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο είναι:

- 1) Καταστροφή των νεφρών, υπέρταση, πόνοι στις αρθρώσεις, δερματοπάθειες, κράμπες, παράλυση της καρδιάς όπως συμβαίνει στην τοξικότητα Cd.
- 2) Καταστροφή νεφρών, ήπατος, αναιμία, αθροιστικό στον εγκέφαλο (τοξικότητα Pd).
- 3) Καταστροφή νευρικού συστήματος, χρωμοσωμικές αλλαγές (τοξικότητα Hg).
- 4) Το αρσενικό έχει αποδειχτεί ότι είναι καρκινογενής.

## **Abstract**

The symptoms in the human health consequence are presented from the presence of heavy metals in potable water such as arsenic, cadmium, lead and mercury.

The toxic action of metal ions in the water is due to their ability to form chemical compounds with the ferments of organisms called metalloproteins resulting in impeding or completely suspending the action of ferments. Take into consideration the huge number of ferments in the live cells, the width of toxic action is remarkable. They also react with the main products of exchange of matter and form regular sediments or chemical compounds or deconstruct the degradation of important products of the alternation of matter.

The ions of as metal react with the membranes of cells and limit, thus, their penetrability so that the transport of ions or organic molecules is impeded or is interrupted completely by means of the membrane.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

### 1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Εξήντα πέντε από τα γνωστά χημικά στοιχεία είναι μεταλλικά στον χαρακτήρα. Παρουσιάζουν δηλαδή υψηλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, είναι ελατά, όλκιμα και έχουν υψηλή πυκνότητα. Τα στοιχεία εκείνα που έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη των  $5\text{g/cm}^3$  χαρακτηρίζονται κυρίως ως βαρέα μέταλλα. Έχουν συνήθως μεγάλο ατομικό βάρος, μεγαλύτερο του 20. Τα βαρέα μέταλλα σε αντίθεση με τις περισσότερες τοξικές οργανικές ουσίες, δεν αποικοδομούνται, παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα και είναι τοξικά ή δηλητηριώδης για τον βιόκοσμο.

Η τοξική δράση των μεταλλικών ιόντων μέσα στο νερό οφείλεται στην ικανότητα τους να σχηματίζουν χημικές ενώσεις με τα ένζυμα των οργανισμών τις λεγόμενες μεταλλοπρωτεΐνες με αποτέλεσμα να παρεμποδίζουν ή να αναστέλλουν τελείως την δράση των ενζύμων. Με δεδομένο τον μεγάλο αριθμό των ενζύμων στα ζωντανά κύτταρα το εύρος της τοξικής δράσης είναι πολύ μεγάλο. Αντιδρούν επίσης με τα κύρια προϊόντα της ανταλλαγής της ύλης και σχηματίζουν σταθερά ιζήματα ή χημικές ενώσεις ή καταλύουν την αποικοδόμηση σημαντικών προϊόντων εναλλαγής της ύλης. Τα ιόντα μετάλλου αντιδρούν με τις μεμβράνες των κυττάρων και περιορίζουν έτσι την διαπερατότητα τους με αποτέλεσμα να παρεμποδίζεται ή να διακόπτεται τελείως η μεταφορά των ιόντων ή οργανικών μορίων δια μέσου της μεμβράνης.

Εάν σε έναν οργανισμό σχηματιστούν συγχρόνως δυο ή περισσότερες τοξικές ενώσεις τότε η δράση τους είναι συνεργατική με αποτέλεσμα η τιμή της τοξικότητας τους να αυξάνεται σε σύγκριση με την δράση ενός μετάλλου.

Η σειρά τοξικότητας για τα διάφορα μέταλλα δίνεται ως εξής:  
 $\text{Hg}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{As}^{3+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Sn}^{2+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Mn}^{2+}$

Πολλά από αυτά τα μέταλλα σε μικρές ποσότητες είναι απαραίτητα για τη δράση των βιταμινών και τις ζωτικές λειτουργίες. Σε μεγάλες ποσότητες όμως, προκαλούν μια σειρά δυσμενών επιδράσεων. Η τοξικότητα μπορεί να εκφραστεί ως νευροφυσιολογικές διαταραχές, γενετικές αλλοιώσεις των κυττάρων (μεταλλάξεις), επιδράσεις στην ενζυμική και ορμονική δραστηριότητα, επιδράσεις στις βασικές λειτουργίες του οργανισμού, στην αναπαραγωγή, στην τερατογένεση και καρκινογένεση.

Τα βαρέα μέταλλα έχουν την ιδιότητα να συσσωρεύονται στα διάφορα μέλη της τροφικής αλυσίδας σε συνεχώς αυξανόμενες συγκεντρώσεις. Από τα μέταλλα που εξετάζονται εδώ, ο υδράργυρος παρουσιάζει τη μεγαλύτερη βιοσυσσώρευση. Πολλοί υδρόβιοι οργανισμοί βιοσυσσωρεύουν βαρέα μέταλλα. Η έκταση στην οποία μια ουσία συσσωρεύεται στον άνθρωπο ή σε οποιονδήποτε άλλο οργανισμό, εξαρτάται από το ρυθμό με τον οποίο προσλαμβάνεται από την πηγή και από το μηχανισμό με τον οποίο αποβάλλεται. Συνήθως ο ρυθμός αποβολής είναι ανάλογος με την συγκέντρωση της ουσίας στον οργανισμό. Όσο μεγαλύτερη είναι η ημιπερίοδος ζωής του μετάλλου τόσο υψηλότερο είναι το επίπεδο συσσώρευσης.

Ο άνθρωπος κινδυνεύει και μέσω της κατανάλωσης τροφής που προέρχεται από την θάλασσα, πλούσια σε βαρέα μέταλλα. Στη θάλασσα τα βαρέα μέταλλα είτε καθιζάνουν ως δυσδιάλυτα άλατα ή σύμπλοκα, είτε προσροφώνται στην επιφάνεια του φυτοπλαγκτόν ή ενώσεων με σωματιδιακή μορφή όπως ένυδρα οξειδία του

σιδήρου και του μαγγανίου και τελικά καθιζάνουν, είτε απορροφώνται από διάφορους θαλάσσιους οργανισμούς.

## 1.2 ΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Η υπουργική απόφαση Υ2/2600/2001 που σκοπεύει στην προσαρμογή της Ελληνικής νομοθεσίας προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του συμβουλίου της Ευρωπαϊκής ένωσης για την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, με σκοπό την προστασία της ανθρώπινης υγείας από τις δυσμενείς επιπτώσεις που οφείλονται στην ρύπανση ή μόλυνση του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης διασφαλίζοντας ότι είναι καθαρό, έχει καθορίσει τα αρχικά πρότυπα πόσιμου νερού για τα βαρέα μέταλλα που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 1** Πρότυπα πόσιμου νερού για τα βαρέα μέταλλα σύμφωνα με την Ε.Ε (κοινή υπουργική απόφαση Υ2/2600/2001).

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΤΙΜΗ	ΜΟΝΑΔΑ
Αρσενικό	As	10	μg/l
Βάριο	Ba	1	μg/l
Κάδμιο	Cd	5	μg/l
Μόλυβδος	Pb	10	μg/l
Νικέλιο	Ni	20	μg/l
Σελήνιο	Se	10	μg/l
Υδράργυρος	Hg	1	μg/l
Χαλκός	Cu	2	μg/l
Χρώμιο	Cr	50	μg/l

Οι κύριες απειλές στην ανθρώπινη ευημερία συνδέονται, με τον μόλυβδο, το αρσενικό, το κάδμιο και τον υδράργυρο και είναι οι ουσίες που στοχεύουν από τους διεθνείς νομοθετικούς οργανισμούς. Στα μικρά ποσά αυτοί είναι αβλαβείς και σε μερικές περιπτώσεις ακόμα και ευεργετικοί στην υγεία. Τα ποσά πέρα από τα πρότυπα πόσιμου νερού μπορούν να έχουν τις σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία. Στη συνέχεια, θα κάνουμε μια σύντομη ανάλυση για τα πέντε στοιχεία, βάριο, νικέλιο, σελήνιο, χαλκός και χρώμιο, ενώ παρακάτω θα αναλύσουμε τα τέσσερα, πιο επικίνδυνα βαρέα μέταλλα, αρσενικό, κάδμιο, μόλυβδος και υδράργυρος που είναι επικίνδυνα για την υγεία όλων των ζωντανών οργανισμών όταν εκτίθενται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις.

## 1.3 ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΙΑ ΤΟ ΒΑΡΙΟ

56

**Ba**  
Barium

137.327

Το βάριο είναι ένα σχετικά φυσικά εμφανιζόμενο στοιχείο με ατομικό αριθμό 56 και ατομική μάζα  $137.327 \text{ g.mol}^{-1}$ . Το βάριο είναι εκπληκτικά άφθονο στη γήινη κρούστα, είναι το 14ο αφθονότερο στοιχείο. Το βάριο είναι ένα από τα μεταλλικά χημικά στοιχεία που περιλαμβάνονται στην ομάδα, αλκαλική γη. Το χρώμα του είναι μεταβλητό αλλά βρίσκεται συνήθως ως άχρωμες ή άσπρες, επίσης μπλε, πράσινες, κίτρινες και κόκκινες σκιές. Το βάριο, που είναι ελαφρώς σκληρότερο από το μόλυβδο, έχει μια αργυροειδή άσπρη λαμπρότητα όταν κόβεται. Το σπάσιμο είναι κογχοειδές και η ράβδωση είναι άσπρη. Η σκληρότητα είναι 3 - 3,5 και η πυκνότητα είναι περίπου



3.51 g/cm<sup>3</sup> στους 20°C (βαρύς για τα διαφανή μεταλλεύματα) . Έχει πράσινο χρώμα στη δοκιμή φλογών. Το σημείο τήξης του είναι 725.0 °C (998.15 K, 1337.0 °F) και το σημείο βρασμού είναι 1140.0 °C (1413.15 K, 2084.0 °F) . Το βάριο οξειδώνεται στον αέρα, αντιδρά με το νερό για να διαμορφώσει το υδροξείδιο, που ελευθερώνει το υδρογόνο. Το βάριο αντιδρά σχεδόν με όλα τα αμέταλλα, σχηματίζοντας συχνά τις δηλητηριώδεις ενώσεις.

Το βάριο υπάρχει στη φύση μόνο στα μεταλλεύματα που περιέχουν τα μίγματα στοιχείων. Συνδυάζεται με άλλες χημικές ουσίες όπως το θείο ή τον άνθρακα και το οξυγόνο, για να σχηματίσει διάφορες μορφές που ονομάζονται ενώσεις βαρίου. Αυτές οι ενώσεις είναι στερεά και δεν καίγονται καλά. Δύο μορφές βαρίου, θειικού άλατος βαρίου και ανθρακικού άλατος βαρίου, βρίσκονται συχνά στη φύση ως υπόγειες καταθέσεις μεταλλεύματος. Το βάριο βρίσκεται μερικές φορές φυσικά στο πόσιμο νερό και στα τρόφιμα.

Επειδή ορισμένες μορφές βαρίου (θειικό άλας βαρίου και ανθρακικό άλας βαρίου) δεν αναμιγνύονται καλά με το νερό, το ποσό βαρίου που βρίσκεται συνήθως στο πόσιμο νερό είναι μιας μικρής ποσότητας. Άλλες ενώσεις βαρίου, όπως το χλωρίδιο βαρίου, το νιτρικό άλας βαρίου και το υδροξείδιο βαρίου, κατασκευάζονται από το θειικό άλας βαρίου. Οι ενώσεις βαρίου όπως το οξικό άλας βαρίου, το ανθρακικό άλας βαρίου, το χλωρίδιο βαρίου, το υδροξείδιο βαρίου, το νιτρικό άλας βαρίου και το σουλφίδιο βαρίου διαλύονται ευκολότερα στο νερό απ' ό,τι το θειικό άλας βαρίου. Στο νερό, τα τοξικότερα διαλυτά άλατα βαρίου είναι πιθανό να μετατραπούν στα αδιάλυτα άλατα που κατακρημνίζουν. Το βάριο δεν δεσμεύεται στα περισσότερα χρώματα και μπορεί να μεταναστεύσει στο υπόγειο νερό. Έχει μια χαμηλή τάση να συσσωρεύεται στην υδρόβια ζωή.



**Εικόνα 1** Το βάριο σε διάφορες μορφές. ([www.mii.org](http://www.mii.org))

Οι **πηγές** του βαρίου είναι φυσικές και ανθρωπογενείς. Το βάριο είναι άφθονο στη γήινη κρούστα. Η ρύπανση βαρίου μπορεί να προέλθει από τις φυσικές πηγές ή μπορεί να εισαχθεί στις παροχές νερού μέσω των βιομηχανικών αποβλήτων. Οι ενώσεις βαρίου που είναι επίμονες συνήθως παραμένουν στις εδαφολογικές επιφάνειες ή στο ίζημα των χωμάτων του ύδατος. Το βάριο βρίσκεται στα περισσότερα χρώματα του εδάφους σε χαμηλά επίπεδα. Λόγω της εκτενής χρήσης του βαρίου στις βιομηχανίες οι ανθρώπινες δραστηριότητες προσθέτουν την απελευθέρωση του βαρίου στο περιβάλλον. Κατά συνέπεια οι συγκεντρώσεις βαρίου στον αέρα, στο νερό και στο χώμα μπορεί να είναι υψηλότερες από τις φυσικά εμφανιζόμενες συγκεντρώσεις σε πολλές θέσεις.

Το βάριο εισάγεται στον αέρα κατά τη διάρκεια των διαδικασιών μεταλλείας, των διαδικασιών καθαρισμού και κατά τη διάρκεια της παραγωγής των ενώσεων βαρίου. Μπορεί επίσης να εισαχθεί στον αέρα κατά τη διάρκεια της καύσης άνθρακα και πετρελαίου. Τα απόβλητα βαρίου μπορεί να απελευθερωθούν στον αέρα, στο έδαφος και στο νερό κατά τη διάρκεια των βιομηχανικών διαδικασιών. Μερικές βιομηχανίες πετούν τα απόβλητα που περιέχουν τις ενώσεις βαρίου στο έδαφος ή στον ωκεανό μολύνοντας έτσι τους οργανισμούς του ύδατος.

Το βάριο και οι ενώσεις βαρίου χρησιμοποιούνται για πολλούς σημαντικούς λόγους. Το μέταλλευμα θειικού άλατος βαρίου εξάγεται και χρησιμοποιείται σε διάφορες βιομηχανίες. Το θειικό άλας βαρίου χρησιμοποιείται επίσης για να κάνει τα χρώματα, τα τούβλα, τα κεραμίδια, το γυαλί, το λάστιχο και άλλα προϊόντα. Μερικές ενώσεις βαρίου, όπως το ανθρακικό άλας βαρίου, το χλωρίδιο βαρίου και το υδροξείδιο βαρίου, χρησιμοποιούνται για να κάνουν τα δηλητήρια κεραμικής, εντόμων και αρουραίων, τις πρόσθετες ουσίες για τα πετρέλαια και τα καύσιμα και πολλά άλλα χρήσιμα προϊόντα. Το θειικό άλας βαρίου χρησιμοποιείται μερικές φορές από τους γιατρούς για να εκτελέσει τις ιατρικές δοκιμές και να πάρει τις ακτίνες Χ του γαστροεντερικού κομματιού. Το νιτρικό άλας βαρίου δίνει στα πυροτεχνήματα ένα πράσινο χρώμα. Το χλωρίδιο βαρίου χρησιμοποιείται ως αποσκληρυντικό νερού.

Τα επίπεδα υποβάθρου βαρίου στο περιβάλλον είναι πολύ χαμηλά. Ο αέρας που οι περισσότεροι άνθρωποι αναπνέουν περιέχει 0.0015 ppb μέρη του βαρίου ανά δισεκατομμύριο μέρη του αέρα (Environment Protection Agency). Ο αέρας γύρω από τα εργοστάσια που απελευθερώνουν το βάριο στον αέρα έχει περίπου 0,33 ppb ή λιγότερο, του βαρίου (Environment Protection Agency). Τα περισσότερα επιφανειακά ύδατα και οι δημόσιες παροχές νερού περιέχουν μόνο περίπου 0,38 ppm ή λιγότερο μέρη του βαρίου ανά εκατομμύριο μέρη του ύδατος (Environment Protection Agency). Σε μερικές περιοχές που έχουν για παροχές πόσιμου νερού τα υπόγεια φρεάτια, μπορεί το νερό να περιέχει περισσότερο από το συνολικό όριο 1 ppm βάριο σύμφωνα με το EPA. Το υψηλότερο ποσό που μετρείται από αυτά τα φρεάτια ύδατος είναι 10 ppm. Το υψηλότερο ποσό βαρίου που βρίσκεται στο χώμα είναι περίπου 100 έως 3.000 ppm (Environment Protection Agency). Μερικά τρόφιμα, όπως τα καρύδια της Βραζιλίας, τα φύκι, τα ψάρια, μπορούν να περιέχουν υψηλά ποσά βαρίου. Το ποσό βαρίου που βρίσκεται στα τρόφιμα και στο νερό δεν είναι συνήθως υψηλό ώστε να είναι επικίνδυνο για την υγεία. Εντούτοις, συλλέγονται ακόμα πληροφορίες για να ανακαλύψουν εάν η μακροπρόθεσμη έκθεση στα χαμηλά επίπεδα βαρίου προκαλεί οποιαδήποτε προβλήματα υγείας.

Το βάριο εισάγεται στο σώμα από τον αέρα, τα τρόφιμα ή το νερό που περιέχει βάριο. Μπορεί επίσης να εισαχθεί στο σώμα σε μικρή έκταση με την άμεση επαφή του δέρματος με τις ενώσεις βαρίου. Το βάριο που αναπνέετε φαίνεται να εισάγεται στην κυκλοφορία του αίματος πολύ εύκολα. Μερικές ενώσεις βαρίου (π.χ, χλωρίδιο βαρίου) μπορεί να εισαχθούν στο σώμα μέσω του δέρματος, αλλά αυτό είναι πολύ σπάνιο και εμφανίζεται συνήθως στα βιομηχανικά ατυχήματα, στα εργοστάσια που κάνουν ή χρησιμοποιούν τις ενώσεις βαρίου.

Το βάριο που εισάγεται στο σώμα με την αναπνοή και την κατανάλωση αφαιρείται κυρίως από τα περιττώματα και από τα ούρα. Το μεγαλύτερο μέρος του βαρίου που εισάγεται στο σώμα αφαιρείται μέσα σε λίγες ημέρες, σε 1-2 εβδομάδες (Environment Protection Agency). Το περισσότερο βάριο που μένει στο σώμα πηγαίνει στα κόκαλα και στα δόντια. Το βάριο είναι ένα ιχνοστοιχείο που μπορεί προφανώς να έχει επιπτώσεις στη λειτουργία θυρεοειδή και που μπορεί να είναι ιδιαίτερα τοξικό για τα

πρόσωπα με την ασθένεια του θυρεοειδούς. Οι μικρές δόσεις δεν είναι επιβλαβείς. Τα μεγάλα ποσά μπορούν να προκαλέσουν την αυξανόμενη πίεση αίματος, τη ζημία νεύρων ή την καρδιαγγειακή πάθηση, τις δυσκολίες αναπνοής, ενόχληση στομάχου, αδυναμία μυών, διόγκωση του εγκεφάλου και τη ζημία του συκωτιού και των νεφρών. Το EPA έχει θέσει ένα όριο του βαρίου 2,0 χιλιοστογράμμων ανά λίτρο του πόσιμου νερού (2,0 mg/L), το οποίο είναι το ίδιο με 2 ppm.

Η **βραχυπρόθεσμη** έκθεση βαρίου δηλαδή η έκθεση βαρίου σε μεγάλες ποσότητες μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα, προκαλεί ενδεχομένως τις γαστροεντερικές διαταραχές, τη μυϊκή αδυναμία, εμετό, διάρροια, δυσκολίες στην αναπνοή, την αυξανόμενη ή μειωμένη πίεση αίματος, το μούδιασμα γύρω από το πρόσωπο και την αδυναμία μυών. Η λήψη των πολύ μεγάλων ποσών ενώσεων του βαρίου που είναι υδροδιαλυτές μπορεί να προκαλέσουν τις αλλαγές στο ρυθμό καρδιάς, τις παραλύσεις και σε μερικές περιπτώσεις ακόμη και το θάνατο.

Η **μακροπρόθεσμη** έκθεση βαρίου δηλαδή η έκθεση βαρίου σε μικρές ποσότητες μέσα σε μεγάλο χρονικό διάστημα, προκαλεί την υψηλή πίεση αίματος. Η έκθεση βαρίου μπορεί να προκαλέσει τα δυσμενή αποτελέσματα στα καρδιαγγειακά (σκάφη καρδιών και αίματος) ή στα αιματοποιητικά συστήματα αίματος (καρδιαγγειακή ή τοξικότητα αίματος). Η έκθεση στα καρδιαγγειακά τοξικά προϊόντα μπορεί να συμβάλει σε ποικίλες ασθένειες, συμπεριλαμβανομένης της ανυψωμένης πίεσης αίματος (υπέρταση), τη σκλήρυνση των αρτηριών, τον ανώμαλο χτύπο της καρδιάς (καρδιακή αρρυθμία) και τη μειωμένη ροή αίματος στην καρδιά (στεφανιαία ισχαιμία).

#### 1.4 ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΙΑ ΤΟ ΝΙΚΕΛΙΟ

28

Ni

Nickel

58.6934

Το νικέλιο είναι ένα σχετικά φυσικά εμφανιζόμενο στοιχείο με ατομικό αριθμό 28 και ατομική μάζα 58.6934 g.mol<sup>-1</sup>. Το νικέλιο είναι ένα αργυροειδές-άσπρο μέταλλο που είναι λαμπερό, ελατό και όλκιμο, όπου ανακαλύφθηκε το 1751 και παίρνει μια υψηλή στιλβωτική ουσία. Η σκληρότητα είναι 4-5 και η πυκνότητα είναι 8.9 g.cm<sup>-3</sup> στους 20°C (βαρύ ακόμη και για μεταλλικό). Ανήκει στην ομάδα σιδήρου των μετάλλων γι' αυτό είναι σκληρό και όλκιμο. Μπορεί να σφυρηλατηθεί σε λεπτά φύλλα, που σημαίνει ότι είναι ελατό. Το σημείο βρασμού είναι 2913°C ή 5275°F και το σημείο τήξης είναι 1455°C ή 2651°F. Είναι ένας αρκετά καλός αγωγός της θερμότητας και της ηλεκτρικής ενέργειας. Το νικέλιο είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό στην ατμοσφαιρική διάβρωση και αντιστέκεται στα περισσότερα οξέα, αλλά επιτίθεται με την οξειδωση των οξέων όπως το νιτρικό οξύ. Μπορεί να επιμεταλλωθεί με ηλεκτρόλυση επάνω σε άλλα μέταλλα για να διαμορφώσει ένα προστατευτικό επίστρωμα. Το νικέλιο είναι διαθέσιμο σε πολλές μορφές συμπεριλαμβανομένου του φύλλου αλουμινίου, της σκόνης, των νιφάδων, του καλωδίου, του πλέγματος και των ράβδων.

Το νικέλιο, ο σίδηρος και το κοβάλτιο είναι τα μόνα τρία στοιχεία που είναι γνωστά ως σιδηρομαγνητικά. Από τα τρία στοιχεία, το νικέλιο είναι το λιγότερο μαγνητικό. Όταν αναμιγνύονται και τα τρία σιδηρομαγνητικά μέταλλα δημιουργείται, κατ' ασυνήθιστο τρόπο, ένας ισχυρός μαγνήτης. Αυτό το κράμα διευθύνει τη θερμότητα και την ηλεκτρική ενέργεια αρκετά καλά, αλλά δεν είναι ένας τόσο καλός αγωγός όσο το καθαρό ασήμι ή ο χαλκός.

Το φυσικό νικέλιο είναι ένα μίγμα πέντε σταθερών ισοτόπων, ενώ εννέα άλλα ασταθή ισότοπα είναι γνωστά. Το καρβονύλιο νικελίου θεωρείται πολύ τοξικό και η έκθεση σε αυτό πρέπει να είναι πολύ περιορισμένη. Οι καπνοί και η σκόνη του σουλφιδίου νικελίου αναγνωρίζονται ως καρκινογενή ουσία. Στις εξοικειωμένες ενώσεις του, το νικέλιο είναι δισθενές, αν και υποθέτει και άλλα σθένη. Σχηματίζει επίσης διάφορες σύνθετες ενώσεις. Οι περισσότερες ενώσεις νικελίου είναι μπλε ή πράσινες. Το νικέλιο και οι ενώσεις του δεν έχουν καμία χαρακτηριστική μυρωδιά ή προτίμηση. Το νικέλιο διαλύεται αργά στα αραιά οξέα αλλά, όπως το σίδηρο, γίνεται παθητικό όταν αντιμετωπίζεται με το νιτρικό οξύ.

Αναμιγνύεται συνήθως με άλλα μέταλλα για να παράγει τα κράματα. Τα σχετικά μεταλλεύματα είναι olivine, pyroxenes και μερικά μεταλλεύματα που βρίσκονται μόνο στους μετεωρίτες. Βρίσκεται με χρυσό, λευκόχρυσο και με μεταλλεύματα σουλφιδίου. Το νικέλιο μπορεί να συνδυαστεί με άλλα στοιχεία όπως το χλώριο, το θείο και το οξυγόνο και να σχηματίσει τις ενώσεις νικελίου. Πολλές ενώσεις νικελίου διαλύονται αρκετά εύκολα στο νερό και έχουν ένα πράσινο χρώμα.



Nickeline photo from MII, courtesy of Smithsonian Institution

**Εικόνα 2** Παρουσία νικελίου σε μετάλλευμα..([www.mii.org](http://www.mii.org))

Το νικέλιο βρίσκεται στο χώμα και εκπέμπεται από τα ηφαίστεια. Βρίσκεται επίσης στους μετεωρίτες και στο ωκεάνιο πάτωμα. Το νικέλιο βρίσκεται ως συστατικό στους περισσότερους μετεωρίτες και χρησιμεύει συχνά ως ένα από τα κριτήρια για τη διάκριση ενός μετεωρίτη από άλλα μεταλλεύματα. Η παρουσία στοιχειώδους νικελίου στους μετεωρίτες σίδηρο-νικέλιο διακρίνεται από τους βράχους ή τα μεταλλεύματα που παράγονται στη γη. Το ποσό νικελίου σε αυτούς τους μετεωρίτες κυμαίνεται από 5% έως σχεδόν 20%.(E.Roberts Alley,2000). Εμφανίζεται στον πύρινο βράχο, ως ελεύθερο μέταλλο και μαζί με το σίδηρο, είναι ένα συστατικό του γήινου πυρήνα. Το νικέλιο εμφανίζεται επίσης στους οργανισμούς διαβίωσης, κυρίως στις εγκαταστάσεις, εμφανίζεται φυσικά στη γήινη κρούστα με διάφορες μορφές όπως τα σουλφίδια και τα οξειδία νικελίου. Μόνο περίπου 1 εκατομμύριο τόνοι του νέου ή αρχικού νικελίου παράγονται και καταναλώνονται ετησίως στον κόσμο, έναντι πάνω από 10 εκατομμύρια τόνοι του χαλκού και σχεδόν 800 εκατομμύρια τόνοι του χάλυβα (E.Roberts Alley,2000).

Το νικέλιο απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα από τις βιομηχανίες που κάνουν ή χρησιμοποιούν το νικέλιο, τα κράματα νικελίου ή τις ενώσεις νικελίου. Απελευθερώνεται επίσης στην ατμόσφαιρα από τις καύσεις του άνθρακα των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας και τους αποτεφρωτήρες απορριμμάτων. Η

απελευθέρωση νικελίου στα βιομηχανικά υγρά απόβλητα καταλήγει στο χώμα ή στο ίζημα όπου συνδέεται έντονα με τα μόρια που περιέχουν το σίδηρο ή το μαγγάνιο. Το νικέλιο μπορεί να συνδυαστεί με άλλα μέταλλα, όπως το σίδηρο, τον χαλκό, το χρώμιο και τον ψευδάργυρο, για να διαμορφώσει τα κράματα. Αυτά τα κράματα χρησιμοποιούνται για να κάνουν τα νομίσματα και τα κοσμήματα. Το περισσότερο νικέλιο χρησιμοποιείται για να φτιάξει τον ανοξείδωτο χάλυβα.

Η σημαντικότερη χρήση του νικελίου είναι η κατασκευή των κραμάτων. Τα κράματα νικελίου χαρακτηρίζονται από τη δύναμη, την ολκιμότητα και την αντίσταση στη διάβρωση και στη θερμότητα. Οι ενώσεις νικελίου χρησιμοποιούνται για την επένδυση νικελίου, για να χρωματίσουν την κεραμική, για να κάνουν μερικές μπαταρίες και ως ουσίες γνωστές ως καταλύτες που αυξάνουν το ποσοστό χημικών αντιδράσεων. Το νικέλιο χρησιμοποιείται ευρέως σε πάνω από 300.000 προϊόντα για τον καταναλωτή, για βιομηχανικές, στρατιωτικές, θαλάσσιες και αρχιτεκτονικές εφαρμογές.

Η μεγαλύτερη χρήση, εντούτοις, είναι ως μέταλλο ανάμιξης μαζί με το χρώμιο και άλλα μέταλλα στην παραγωγή των ανοξείδωτων και πυρίμαχων χάλυβων. Αυτοί χρησιμοποιούνται συνήθως στη βιομηχανία και στην κατασκευή, αλλά και για τα προϊόντα στο σπίτι όπως τα δοχεία και τα τηγάνια, οι νεροχύτες κουζινών, οι ανοξείδωτοι χάλυβες κ.λ.π. παράγονται σε ένα ευρύ φάσμα των συνθέσεων για να καλύψουν τις ειδικές απαιτήσεις βιομηχανίας για την αντίσταση διάβρωσης και θερμότητας και επίσης για να διευκολύνουν μια καθαρή και υγιεινή επιφάνεια για τα τρόφιμα. Η προσθήκη του νικελίου στο γυαλί του δίνει ένα πράσινο χρώμα. Το νικέλιο χρησιμοποιείται επίσης για να κατασκευάσει μερικούς τύπους νομισμάτων και μπαταριών. Αναμιγνύεται με το χαλκό για να κάνει τους σωλήνες που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης.

Τα μικρά ποσά νικελίου απαιτούνται από το ανθρώπινο σώμα για να παραγάγουν τα κύτταρα αίματος, εντούτοις, στα υπερβολικά ποσά, μπορούν να γίνουν τοξικά. Η βραχυπρόθεσμη έκθεση στο νικέλιο δεν είναι γνωστή ότι προκαλεί οποιαδήποτε προβλήματα υγείας, αλλά η μακροπρόθεσμη έκθεση μπορεί να προκαλέσει το μειωμένο βάρος του σώματος, την καρδιά, τη ζημία συκωτιού και τον ερεθισμό του δέρματος. Το EPA συστήνει ότι το πόσιμο νερό πρέπει να περιέχει λιγότερος από 0,1 χιλιοστόγραμμα του νικελίου ανά λίτρο του ύδατος (0,1 mg/L). Το νικέλιο μπορεί να συσσωρευτεί στην υδρόβια ζωή, αλλά η παρουσία του δεν ενισχύεται κατά μήκος των τροφικών αλυσίδων.

Μια λήψη πάρα πολύ μεγάλης ποσότητας νικελίου έχει τις ακόλουθες συνέπειες:

- Υψηλότερες πιθανότητες της ανάπτυξης του καρκίνου πνευμόνων, του καρκίνου μύτης, του καρκίνου λάρυγγα και του καρκίνου του προστάτη.
- Ασθένεια και ίλιγγος μετά από την έκθεση στο αέριο νικέλιο.
- Εμβολισμός πνευμόνων.
- Αναπνευστική αποτυχία.
- Ατέλειες γέννησης.
- Αλλεργία του πνεύμονα στο νικέλιο με συνέπεια άσθμα και χρόνια βρογχίτιδα.
- Αναταραχές καρδιάς.
- Αλλεργικές αντιδράσεις όπως οι αναφυλαξίες δερμάτων, κυρίως από τα κοσμήματα με συνέπεια την ανάπτυξη της δερματίτιδας.

Η πιο κοινή επιβλαβής επίπτωση στην υγεία του νικελίου στους ανθρώπους είναι μια αλλεργική αντίδραση. Περίπου το 10-20% του πληθυσμού είναι ευαίσθητο στο

νικέλιο. Οι άνθρωποι μπορούν να γίνουν ευαίσθητοι στο νικέλιο όταν το κόσμημα ή άλλα πράγματα που περιέχουν νικέλιο έρθουν σε άμεση επαφή με το δέρμα για πολύ. Μόλις ευαισθητοποιηθεί ένα πρόσωπο στο νικέλιο, η περαιτέρω επαφή με το μέταλλο μπορεί να παράγει μια αντίδραση. Η πιο κοινή αντίδραση είναι μια αναφυλαξία δερμάτων επί του τόπου της επαφής. Το πρώτο σύμπτωμα συνήθως, εμφανίζεται μέχρι 7 ημέρες πριν να εμφανιστεί η έκρηξη δερμάτων. Η αρχική έκρηξη δερμάτων είναι θυλακοειδής, το οποίο μπορεί να ακολουθηθεί από το έλκος του δέρματος. Η ευαισθησία νικελίου, μόλις αποκτηθεί, εμφανίζεται να εμμένει κατά τρόπο αόριστο.



**Εικόνα 3** Δερματίτιδα νικελίου λόγω του στηρίγματος τζιν, των δαχτυλιδιών και του λουριού ρολογιών. ([www.who.int](http://www.who.int))



**Εικόνα 4** Αλλεργία από νικέλιο. ([www.who.int](http://www.who.int))



**Εικόνα 5** Έντονα θετική δοκιμή μπαλωμάτων στο θειικό άλας νικελίου. ([www.who.int](http://www.who.int))

## 1.5 ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΙΑ ΤΟ ΣΕΛΗΝΙΟ

34  
**Se**  
**Selenium**  
**78.96**

Το σελήνιο είναι ένα φυσικά εμφανιζόμενο στοιχείο που έχει ατομικό αριθμό 34 και ατομική μάζα  $78,96 \text{ g.mol}^{-1}$ . Το σελήνιο είναι ένα πολύ σπάνιο μέταλλο. Ανακαλύφθηκε το 1817 από τον σουηδικό επιστήμονα Jöns Jacob Berzelius που το ονόμασε Selene, η ελληνική θεά του φεγγαριού. Το σελήνιο είναι ένα μη μεταλλικό χημικό στοιχείο και ανήκει στην ομάδα θείου των στοιχείων, η οποία περιλαμβάνει επίσης το οξυγόνο και το τελλούριο.

Το σελήνιο εμφανίζεται με τρεις ευδιάκριτες μορφές: ο δημοφιλέστερος είναι μια κόκκινη άμορφη σκόνη, ένα κόκκινο κρυστάλλινο υλικό και μια γκρίζα κρυστάλλινη μεταλλική μορφή αποκαλούμενη μεταλλικό σελήνιο. Αυτή η τελευταία μορφή διευθύνει την ηλεκτρική ενέργεια καλύτερα στο φως απ' ό,τι στο σκοτάδι και χρησιμοποιείται στα φωτοκύτταρα. Το μέταλλο διαμορφώνει τα εξαγωνικά κρύσταλλα. Παράγεται κυρίως ως υποπροϊόν του καθαρισμού χαλκού. Όπως το τελλούριο, το σελήνιο είναι ένας ημιαγωγός, το οποίο σημαίνει ότι έχει τις ιδιότητες μεταξύ εκείνων ενός μετάλλου και ενός μονωτή. Το σελήνιο είναι γνωστό ως φωτοβολταϊκή ουσία. Αυτό σημαίνει ότι μετατρέπει την ελαφριά ενέργεια άμεσα στην ηλεκτρική ενέργεια. Το στοιχειώδες σελήνιο είναι σχετικά μη τοξικό και θεωρείται ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο.

Με τη φυσική μορφή του, ως στοιχείο, το σελήνιο δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί, αλλά έχει τη δυνατότητα να αλλάξει τη μορφή του. Το σημείο βρασμού του είναι  $684,9 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $958,05005 \text{ K}$ ,  $1264,8201 \text{ }^\circ\text{F}$ ) και το σημείο τήξης είναι  $217,0 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $490,15 \text{ K}$ ,  $422,6 \text{ }^\circ\text{F}$ ). Η πυκνότητα του είναι  $4,79 \text{ g/cm}^3$  (μέσος όρος για τα μεταλλικά μεταλλεύματα) και η σκληρότητα είναι 2. Είναι σταθερό στον αέρα και στο νερό. Το ποσοστό σεληνίου σε έναν υγιή άνθρωπο είναι  $0,00002 \%$ . Το σελήνιο έχει τουλάχιστον 28 ισότοπα, των οποίων τα 5 είναι σταθερά και τα 6 είναι πυρηνικά ισομερή. Το σελήνιο μπορεί να συσσωρεύσει επάνω την τροφική αλυσίδα.



Εικόνα 6 Το σελήνιο σε διάφορες μορφές. ([www.minerals.net](http://www.minerals.net))

Το σελήνιο εμφανίζεται φυσικά στο περιβάλλον. Απελευθερώνεται και μέσω των φυσικών διαδικασιών και μέσω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Οι ανθρωπογενείς πηγές σεληνίου περιλαμβάνουν το κάπνισμα άνθρακα, τη μεταλλεία και τον οσμηρό των μεταλλευμάτων σουλφιδίου. Το σελήνιο είναι μια ουσία φυσικά εμφανής, ευρέως αλλά άνισα διανεμημένη στην γήινη κρούστα και βρίσκεται συνήθως στον ιζηματοώδη

βράχο. Το σελήνιο δεν βρίσκεται συχνά με την καθαρή μορφή του αλλά συνδυάζεται συνήθως με άλλες ουσίες. Ένα μεγάλο μέρος του σεληνίου στους βράχους συνδυάζεται με τα μεταλλεύματα σουλφιδίου ή με το ασήμι, τον χαλκό, τον μόλυβδο και τα μεταλλεύματα νικελίου. Τα μεταλλεύματα που περιέχουν το σελήνιο είναι πολύ ασυνήθιστα. Το περισσότερο σελήνιο ανακτάται ως υποπροϊόν από την επεξεργασία των μεταλλευμάτων χαλκού. Αυτό εμφανίζεται να είναι η μόνη προσιτή πηγή σεληνίου. Αυτήν την περίοδο, λιγότερο από το ένα πέμπτο της καθαρισμένης παραγωγής σεληνίου προέρχεται από την ανακύκλωση.

Τα επίπεδα σεληνίου στα χώματα και στα ύδατα αυξάνονται από τους βράχους και τα γεωργικά και βιομηχανικά απόβλητα, όπου οι αδιάλυτες μορφές σεληνίου θα παραμείνουν στο χώμα ενώ οι διαλυτές μορφές που είναι πολύ κινητές θα εισαχθούν στα επιφανειακά νερά από τα χώματα. Η γεωργία δεν μπορεί μόνο να αυξήσει την περιεκτικότητα σε σελήνιο στο χώμα μπορεί επίσης να αυξήσει τις συγκεντρώσεις σεληνίου και στο νερό επιφάνειας.

Οι άνθρωποι μπορούν επίσης να εκτεθούν στο σελήνιο από το πόσιμο νερό. Τα επίπεδα σεληνίου είναι λιγότερο από 0,01 ppm στις περισσότερες πηγές πόσιμου νερού 99,5% (Natural Resources Defense Council). Λιγότερο από 1% της καθημερινής εισαγωγής του σεληνίου υπολογίζεται ότι προέρχεται από το πόσιμο νερό (Natural Resources Defense Council). Περιστασιακά, το νερό που περιέχει το σελήνιο μπορεί να διαρρεύσει από τις εγκαταλειμμένες περιοχές μεταλλείας ουρανίου ή άνθρακα στο υπόγειο νερό στο οποίο το σελήνιο μπορεί να φθάσει σε επικίνδυνα επίπεδα.

Το σελήνιο έχει πολλές βιομηχανικές χρήσεις. Τελικά, το ένα πέμπτο του σεληνίου που καταναλώνεται ετησίως χρησιμοποιείται σε διάφορες ηλεκτρικές εφαρμογές(στα φωτοκύτταρα που χρησιμοποιούνται για να μετατρέψουν το φως του ηλίου σε ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται έπειτα στις μπαταρίες, στους ειδικούς ηλεκτρικούς μετατροπείς δηλαδή διορθωτές AC=>DC).Η βιομηχανία γυαλιού καταναλώνει περισσότερο από το ένα τρίτο του σεληνίου κάθε έτος( για να αφαιρέσει το χρώμα από το γυαλί που χρησιμοποιείται για να κάνει τα μπουκάλια, χρησιμοποιείται στο εξειδικευμένο γυαλί φύλλων για τα παράθυρα όπου μειώνει το ποσό θερμότητας που εισάγει ένα κτήριο από το φως του ήλιου και για να δώσει ένα κόκκινο χρώμα στα γυαλιά και στα σμάλτα ).Η τρίτη ελάχιστη χρήση, που παίρνει περίπου 15% είναι για τις ζωικές τροφές και για τα ανθρώπινα διαιτητικά συμπληρώματα (World health organization).

Χρησιμοποιείται επίσης για να κάνει ποικίλες χημικές ουσίες και χρωστικές ουσίες. Αυτό αποτελεί το ένα πέμπτο της ετήσιας κατανάλωσης σεληνίου. Το υπόλοιπο χρησιμοποιείται σε ποικίλες εφαρμογές, στα σαμπουάν αντι-πιτυρίασης, στα κράματα χάλυβα και στη λαστιχένια παραγωγή. Το σελήνιο μπορεί επίσης να βρει εφαρμογές στη φωτοαντιγραφή και στον τονισμό των φωτογραφιών. Η καλλιτεχνική χρήση της είναι να εντείνει και να επεκτείνει την τονική σειρά των μαύρων και άσπρων φωτογραφικών εικόνων. Το σελήνιο είναι επίσης ένα καλό στοιχείο ανιχνευτών για ιατρικούς λόγους και ως ανιχνευτής ισοτόπων στο υπόγειο νερό για υδρογεωλογικούς λόγους δεδομένου ότι υπάρχουν τουλάχιστον έξι σταθερά φυσικά ισότοπα του σεληνίου.

Το σελήνιο έχει ευεργετικά και επιβλαβή αποτελέσματα. Οι χαμηλές δόσεις του σεληνίου απαιτούνται για να διατηρήσουν την καλή υγεία. Εντούτοις, η έκθεση στα υψηλά επίπεδα μπορεί να προκαλέσει τις δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία. Όταν οι



άνθρωποι εκτίθενται με σελήνιο σε υψηλά επίπεδα για σχετικά μικρές χρονικές περιόδους αυτό μπορεί να προκαλέσει ενδεχομένως τις ακόλουθες επιπτώσεις στην υγεία όπως, τις αλλαγές τις τρίχας και των νυχιών, τη ζημία στο απομακρυσμένο νευρικό σύστημα, κούραση και οξυθυμία. Επίσης, η βραχυπρόθεσμη προφορική έκθεση στις υψηλές συγκεντρώσεις του σεληνίου μπορεί να προκαλέσει τη ναυτία, τον εμετό, και τη διάρροια. Οι συνοπτικές εκθέσεις στα υψηλά επίπεδα στοιχειώδους σεληνίου ή διοξειδίου σεληνίου στον αέρα μπορούν να οδηγήσουν στην ενόχληση αναπνευστικών οδών, τη βρογχίτιδα, την δυσκολία αναπνοής και τους πόνους στομάχου. Άλλα συμπτώματα περιλαμβάνουν την αναφυλαξία δερμάτων και την μυρωδιά σκόρδου της αναπνοής.

Το σελήνιο έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει τα ακόλουθα αποτελέσματα από μια χαμηλή έκθεση σεληνίου σε μεγάλη διάρκεια όπως, την απώλεια τρίχας και νυχιών, ζημία στον ιστό νεφρών και συκωτιού και ζημία στα νευρικά και κυκλοφορικά συστήματα. Η χρόνια προφορική έκθεση στις υψηλές συγκεντρώσεις των ενώσεων σεληνίου μπορεί να παράγει μια ασθένεια αποκαλούμενη selenosis. Τα σημαντικότερα σημάδια του selenosis είναι απώλεια τρίχας, ευθραυστότητα νυχιών και νευρολογικές ανωμαλίες (όπως το μούδιασμα και άλλες περίεργες αισθήσεις στις ακρότητες). Οι αλλαγές και η απώλεια νυχιών και τρίχας (οριζόντιες ραβδώσεις, μαύρισμα, απώλεια) είναι τα πιο κοινά συμπτώματα. Τα συμπτώματα του selenosis περιλαμβάνουν μια μυρωδιά σκόρδου στην αναπνοή, τις γαστροεντερικές αναταραχές, την απώλεια τρίχας, την κούραση, την οξυθυμία και τη νευρολογική ζημία. Οι ακραίες περιπτώσεις του selenosis μπορούν να οδηγήσουν κίρρωση του συκωτιού, πνευμονικό οίδημα και τον θάνατο.

Η πιο μακροπρόθεσμη έκθεση σε καθεμία αυτών των αερομεταφερόμενων μορφών μπορεί να προκαλέσει την αναπνευστική ενόχληση, τους βρογχικούς σπασμούς και το βήξιμο.

## 1.6 ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΑΛΚΟ

29

**Cu**  
Copper  
63.546

Ο χαλκός είναι ένα σχετικά φυσικά εμφανιζόμενο στοιχείο με ατομικό αριθμό 29 και ατομική μάζα  $63.546 \text{ g.mol}^{-1}$ . Ο χαλκός είναι ένα μέταλλο γνωστό στους αρχαίους πολιτισμούς και χρονολογείται για περισσότερο από 10.000 έτη. Ο χαλκός έχει ένα κοκκινωπό χρώμα και παίρνει μια φωτεινή γυαλάδα. Ο χαλκός έχει το χαρακτηριστικό χρώμα του επειδή απεικονίζει το κόκκινο και πορτοκαλί φως και απορροφά άλλες συχνότητες στο ορατό φάσμα. Αυτό μπορεί να αντιπαραβληθεί με τις οπτικές ιδιότητες που έχει το ασήμι, ο χρυσός και το αλουμίνιο. Ο χαλκός

καταλαμβάνει την ίδια οικογένεια του περιοδικού πίνακα με το ασήμι και το χρυσό, επειδή έχει πολλά χαρακτηριστικά με αυτά τα μέταλλα. Όλα έχουν την πολύ υψηλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα και όλα είναι ελατά μέταλλα. Είναι ελατό και όλκιμο και έχει υψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα. Η σκληρότητα είναι 3 - 3,5 και η πυκνότητα είναι περίπου  $8.933 \text{ g/cm}^3$  στους  $20^\circ\text{C}$  (βαρύ για τα διαφανή μεταλλεύματα). Η ράβδωση είναι άσπρη. Το σημείο τήξης του είναι  $1084.62^\circ\text{C}$ ,  $1984.32^\circ\text{F}$  και το σημείο βρασμού είναι  $2562^\circ\text{C}$ ,  $4644^\circ\text{F}$ . Ο χαλκός ακριβώς επάνω από το σημείο τήξης του κρατά το ρόδινο χρώμα της λαμπρότητάς του.

Στην υγρή κατάσταση, η επιφάνεια του χαλκού χωρίς περιβαλλοντικό φως εμφανίζεται κάπως πρασινωπή, ένα άλλο χαρακτηριστικό κοινό με το χρυσό. Το ασήμι δεν έχει αυτήν την ιδιότητα έτσι δεν είναι ένα συμπληρωματικό χρώμα για το πορτοκαλί. Όταν ο υγρός χαλκός είναι στο φωτεινό περιβαλλοντικό φως, διατηρεί τη ροζ λαμπρότητά του. Λόγω της υψηλής έντασης επιφάνειάς του, το υγρό μέταλλο διαμορφώνει τα σφαιρικά σταγονίδια όταν χύνονται σε μια επιφάνεια. Είναι βασικό στοιχείο στον ανθρώπινο μεταβολισμό. Τα άλατα του χαλκού (κυρίως ο θειικός χαλκός) είναι τοξικά στα υδρόβια φυτά και χρησιμοποιούνται κυρίως για ανασταλεί η ανάπτυξη των φυκιών. Ο χαλκός προσδίδει χρώμα και στυπτική γεύση στο πόσιμο νερό. Δημιουργεί λεκέδες στα υφάσματα και στα είδη υγιεινής.



Εικόνα 7 Παρουσία χαλκού σε βράχο. ([www.elements.com](http://www.elements.com))

Ο χαλκός είναι ένα μέταλλο που εμφανίζεται φυσικά σε όλο το περιβάλλον, στους βράχους, στο χώμα, στο νερό και στον αέρα. Ο χαλκός μπορεί να απελευθερωθεί στο περιβάλλον και από τις φυσικές πηγές και από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα παραδείγματα των φυσικών πηγών είναι η μεταδιδόμενη σκόνη μέσω του ανέμου, η αποσυντιθειμένη βλάστηση και οι δασικές πυρκαγιές. Οι περισσότερες ενώσεις χαλκού δεσμεύονται στα μόρια ιζημάτων ή στα χρώματα του ύδατος. Οι διαλυτές ενώσεις χαλκού διαμορφώνουν τη μεγαλύτερη απειλή στην ανθρώπινη υγεία.

Μερικά παραδείγματα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που συμβάλλουν στην απελευθέρωση χαλκού είναι η παραγωγή μετάλλων, η ξύλινη παραγωγή και η παραγωγή λιπάσματος φωσφορικού άλατος. Το μέταλλο χαλκού εμφανίζεται φυσικά, αλλά η μέγιστη πηγή είναι στα μεταλλεύματα όπως chalcopyrite και bornite. Από τα μεταλλεύματα ο χαλκός λαμβάνεται από την διύλιση και την ηλεκτρόλυση.

Το μέγιστο ποσοστό του χαλκού χρησιμοποιείται στον ηλεκτρικό εξοπλισμό όπως η καλωδίωση και οι μηχανές. Ο ορείχαλκος και ο χαλκός είναι τα δύο κράματα χαλκού και χρησιμοποιούνται εκτενώς. Όλα τα αμερικανικά νομίσματα είναι κράματα χαλκού και τα μέταλλα πυροβόλων όπλων περιέχουν επίσης το χαλκό. Οι ενώσεις χαλκού χρησιμοποιούνται στις χημικές δοκιμές για την ανίχνευση ζάχαρης. Ο χαλκός χρησιμοποιείται επίσης και στα χρώματα για βαφή πλοίων σαν παράγοντας προστασίας των πλοίων από τους μύκητες. Τα περισσότερα χρώματα της κατηγορίας αυτής περιέχουν περίπου 100-200 g CuO/l (Ιωάννα Ηλιοπούλου-Γεωργουδάκη, Πανεπιστήμιο Πάτρας 2002).



Open Pit Copper Mine in Nevada

**Εικόνα 8** Ορυχείο χαλκού. ([www.copper-gate.com](http://www.copper-gate.com))

Τα βραχιόλια χαλκού έχουν φορεθεί σε μια προσπάθεια να βελτιωθούν τα συμπτώματα της αρθρίτιδας. Μια μελέτη αυτής της λαϊκής θεραπείας διαπίστωσε ότι μερικοί από εκείνους που είχαν φορέσει τα βραχιόλια για παρατεταμένες περιόδους και έπειτα σταμάτησαν έγιναν χειρότερα, υπήρξαν στοιχεία ότι ο χαλκός από τα βραχιόλια, που διαλύθηκε από τον ιδρώτα, απορροφήθηκε μέσω του δέρματος.

Ο περισσότερος χαλκός χρησιμοποιείται για την κατασκευή ηλεκτρικού εξοπλισμού (60%), για την κατασκευή σκεπής και για την υδραυλική εγκατάσταση (20%), για τους ανταλλάκτες θερμότητας (15%) και για τα κράματα (5%) (World health organization). Ο χαλκός είναι ιδανικός για την ηλεκτρική καλωδίωση επειδή επεξεργάζεται εύκολα, μπορεί να συρθεί στο λεπτό καλώδιο και έχει μια υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Επειδή ο χαλκός απελευθερώνεται και φυσικά και μέσω της ανθρώπινης δραστηριότητας είναι πολύ διαδεδομένος στο περιβάλλον. Ο χαλκός βρίσκεται συχνά κοντά στα ορυχεία, στις βιομηχανικές τοποθετήσεις, στα υλικά οδούστρωσης και στα απόβλητα.

Οι μοναδικές χημικές και σωματικές ιδιότητές του τον έχουν κάνει ένα από τα εμπορικότερα σημαντικά μέταλλα. Δεδομένου ότι ο χαλκός διαμορφώνεται εύκολα ή φορμάρεται, χρησιμοποιείται συνήθως για να κάνει τις πένες, την ηλεκτρική καλωδίωση και τους υδροσωλήνες. Οι ενώσεις χαλκού χρησιμοποιούνται επίσης ως γεωργικό φυτοφάρμακο και για να ελέγξουν τα άλγη στις λίμνες και στις δεξαμενές. Λόγω της διάβρωσης των χάλκινων σωληνώσεων σημαντικές ποσότητες χαλκού διαλύονται στο πόσιμο νερό. Αν το νερό μείνει στάσιμο για 12 ώρες στις σωληνώσεις η συγκέντρωση χαλκού μπορεί να υπερβεί τα 20 mg/l. (Jerry A. Nathanson 1964). Γι' αυτό το λόγο η υγειονομική διάταξη αναφέρει δυο ενδεικτικά επίπεδα, στην έξοδο των εγκαταστάσεων και μετά από ηρεμία 12 ωρών στις σωληνώσεις. Μεγάλες ποσότητες χαλκού αποβάλλονται στο υδάτινο περιβάλλον από τα ορυχεία χαλκού και τις μεταλλουργικές βιομηχανίες. Το μίγμα που σχηματίζεται από θειούχο χαλκό και ανθρακικό ασβέστιο χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα ως μυκητοκτόνο.

Τα χαμηλά επίπεδα χαλκού είναι ουσιαστικά για τη διατήρηση της καλής υγείας. Τα υψηλά επίπεδα μπορούν να προκαλέσουν τα επιβλαβή αποτελέσματα όπως η ενόχληση της μύτης, του στόματος και των ματιών, εμετό, διάρροια, ναυτία, πονοκεφάλους και ίλιγγο. Οι υψηλές λήψεις του χαλκού μπορούν να προκαλέσουν

ζημία στο συκώτι και στα νεφρά, ακόμη και τον θάνατο. Τα παιδιά κάτω από ενός έτους είναι πιο ευαίσθητα στο χαλκό από τους ενήλικους. Η μακροπρόθεσμη έκθεση (περισσότερο από 14 ημέρες) χαλκού στο πόσιμο νερό που είναι πολύ υψηλότερη από 1.000 μg/l έχει βρεθεί ότι προκαλεί τη ζημία νεφρών και συκωτιού στα νήπια.(E.Roberts Alley 2000). Άλλα πρόσωπα που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην τοξικότητα χαλκού περιλαμβάνουν τους ανθρώπους με τη ζημία συκωτιού ή την ασθένεια Wilson.

Ο χαλκός είναι ένα ουσιαστικό μέταλλο ιχνών στη ζωική και ανθρώπινη διατροφή. Η αναιμία και η οστεοπόρωση εμφανίζονται από την ανεπάρκεια χαλκού. Εκτός από την πιθανές επιπτώσεις αναιμία και οστεοπόρωση, οι εκδηλώσεις της ήπιας ανεπάρκειας χαλκού μπορούν να περιλάβουν την ανώμαλη ανοχή γλυκόζης, την υπερχοληστερολεμία, την αρθρίτιδα, τη μυοκαρδιακή ασθένεια, την αρτηριακή ασθένεια, τις καρδιακές αρρυθμίες, την απώλεια χρώσης και τα νευρολογικά προβλήματα. Η σοβαρότητα αυτών των αποτελεσμάτων μπορεί να αναμένεται να αυξηθεί με τα αυξανόμενα επίπεδα χαλκού ή μήκος της έκθεσής του. Ο χαλκός είναι τοξικός για πολλά υδρόβια φυτά ακόμη και σε μικρές συγκεντρώσεις. Η ρύπανση με χαλκό στους ανθρώπους προκαλεί αναιμία, αλλαγές στην οστεοποίηση και πιθανή αύξηση της χοληστερόλης.

Ο χαλκός εμφανίζεται επίσης φυσικά στα φυτά και στα ζώα. Είναι ένα απαραίτητο στοιχείο για όλους τους γνωστούς οργανισμούς διαβίωσης, συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων. Εντούτοις, οι πολύ μεγάλες ενιαίες ή μακροπρόθεσμες εισαγωγές του χαλκού μπορούν να βλάψουν την υγεία. Ο χαλκός στη διατροφή μας είναι απαραίτητος για την καλή υγεία. Τρώμε και πίνουμε περίπου 1.000 μικρογραμμάρια (1.000 μg) του χαλκού ανά ημέρα (Jerry A. Nathanson 1964).

## 1.7 ΣΥΝΤΟΜΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΩΜΙΟ

24

**Cr**  
Chromium  
51.9961

Το χρώμιο είναι ένα σχετικά φυσικά εμφανιζόμενο στοιχείο με ατομικό αριθμό 24 και ατομική μάζα  $51,9961 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Το χρώμιο είναι ένα λαμπερό, εύθραυστο, σκληρό μέταλλο και ανθεκτικό στη διάβρωση. Το χρώμα του είναι ασημένιο-γκρίζο και μπορεί να γυαλιστεί για να διαμορφώσει μια πολύ λαμπερή επιφάνεια και είναι συχνά καλυμμένο σε άλλα μέταλλα για να διαμορφώσει μια προστατευτική και ελκυστική κάλυψη. Το χρώμιο προστίθεται στο χάλυβα για να το σκληρύνει και για να διαμορφώσει τον ανοξειδωτο χάλυβα, ένα κράμα χάλυβα που περιέχει το χρώμιο τουλάχιστον 10%. Το χρώμιο ανακαλύφθηκε από ένα γνωστό υλικό, κόκκινος μόλυβδος, γνωστό επίσης ως ορυκτό crocoite το 1797. Το σημείο τήξης του είναι  $1857.0 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $2130.15 \text{ K}$ ,  $3374.6 \text{ }^\circ\text{F}$ ) και το σημείο βρασμού του είναι  $2672.0 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $2945.15 \text{ K}$ ,  $4841.6 \text{ }^\circ\text{F}$ ). Η σκληρότητα είναι 4 και η πυκνότητα του είναι  $7.19 \text{ g/cm}^3$  (βαρύ για ένα μεταλλικό μέταλλο). Δεν αμαυρώνει στον αέρα, είναι ασταθές στο οξυγόνο, παράγει αμέσως ένα λεπτό στρώμα οξειδίων που είναι στεγανό στο οξυγόνο και προστατεύει το μέταλλο.

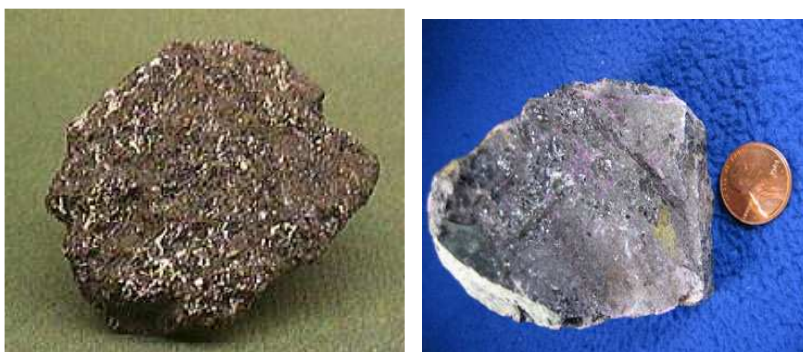
Το χρώμιο εμφανίζεται στο περιβάλλον κυρίως ως μέταλλο (η καθαρή μεταλλική μορφή δεν εμφανίζεται φυσικά) και με διάφορες μορφές ως τρισθενές χρώμιο (χρώμιο III), που εμφανίζεται φυσικά και είναι μια ουσιαστική θρεπτική ουσία και ως εξασθενές χρώμιο (χρώμιο VI), το οποίο, μαζί με το κοινό μεταλλικό χρώμιο (το χρώμιο 0), παράγεται με τις βιομηχανικές διαδικασίες. Στα νερά βρίσκονται κυρίως

άλατα του εξασθενές χρωμίου επειδή είναι ευδιάλυτα ενώ σπάνια υπάρχει σαν τρισθενές, γιατί οι ενώσεις του είναι αδιάλυτες και καθιζάνουν. Οι επιδράσεις του χρωμίου στην υγεία εξαρτώνται από τη μορφή του.



**Εικόνα 9** Το χρώμιο στην καθαρή μορφή του. ([www.minerals.net](http://www.minerals.net))

Τα τριοξειδία χρωμίου είναι διαλυτά στο οινόπνευμα, στην αιθανόλη, στο θειικό οξύ, και στο νιτρικό οξύ. Όταν θερμαίνονται τα τριοξειδία χρωμίου, εκπέμπουν καπνούς. Το χρωμικό άλας μολύβδου είναι αδιάλυτο στο νερό, στο οξικό οξύ, και στην αμμωνία, αλλά είναι διαλυτό στο οξύ και στα αλκάλια όταν θερμαίνεται στην αποσύνθεση εκπέμπει τους τοξικούς καπνούς του μολύβδου. Το χρωμικό άλας καλίου και το διχρωμικό άλας καλίου και νατρίου είναι διαλυτά στο κρύο και στο καυτό νερό και αδιάλυτα στο οινόπνευμα, οι τοξικοί καπνοί του μονοξειδίου νατρίου εκπέμπονται όταν θερμαίνεται αυτή η ένωση στην αποσύνθεση. Το χρωμικό άλας στροντίου είναι διαλυτό στο κρύο και καυτό νερό, στο υδροχλωρικό οξύ, στο νιτρικό οξύ, στο οξικό οξύ, και στα άλατα αμμωνίου. Το χρωμικό άλας ψευδάργυρου είναι αδιάλυτο στο κρύο νερό και στην ακετόνη, διαλύεται στο καυτό νερό και στην όξινη και υγρή αμμωνία. Το χρώμιο δεν εξατμίζεται, αλλά μπορεί να είναι παρόν στον αέρα ως μόρια.



**Εικόνα 10** Το χρώμιο παρουσία σε βράχο. ([www.minerals.net](http://www.minerals.net))

Ο γενικός πληθυσμός εκτίθεται στο χρώμιο με την κατανάλωση των τροφίμων, του πόσιμου νερού και της εισπνοής του αέρα που περιέχει τη χημική ουσία. Η μέση καθημερινή εισαγωγή από τον αέρα, το νερό και τα τρόφιμα υπολογίζεται να είναι λιγότερο από 0,2 έως 0,4  $\mu\text{g}$ , 2,0  $\mu\text{g}$ , και 60  $\mu\text{g}$ , αντίστοιχα. Η μέση συγκέντρωση στο νερό της βροχής είναι 0,2-1  $\mu\text{g/l}$ , στο θαλασσινό 0,05  $\mu\text{g/l}$  και στα φυσικά νερά 0,0-2  $\mu\text{g/l}$ , ενώ στα υπόγεια είναι πολύ χαμηλή (E.Roberts Alley 2000). Το τρισθενές χρώμιο (III) είναι μια ουσιαστική θρεπτική ουσία που βοηθά το σώμα να χρησιμοποιήσει τα σάκχαρα, την πρωτεΐνη και το λίπος. Το τρισθενές χρώμιο εμφανίζεται φυσικά σε

πολλά φρέσκα λαχανικά, φρούτα, κρέας, σιτάρι, ζύμη και προστίθεται συχνά στις βιταμίνες ως διαιτητικό συμπλήρωμα. Το εξασθενές χρώμιο παράγεται με τις βιομηχανικές διαδικασίες και μπορεί να είναι ένας δείκτης της περιβαλλοντικής μόλυνσης.

Το χρώμιο είναι ένα φυσικά εμφανιζόμενο στοιχείο στους βράχους, στα ζώα, στα φυτά, στο χώμα, και στα ηφαιστειακά αέρια και σκόνη. Το χρώμιο είναι ένα μέταλλο που βρίσκεται στα αποθέματα ως μετάλλευμα που περιλαμβάνει και άλλα στοιχεία. Τα σχετικά μεταλλεύματα περιλαμβάνουν το διαμάντι, τον χαλκό και τον σίδηρο. Εμφανίζεται στη φύση κυρίως ως μετάλλευμα χρώμιο-σιδήρου.

Το πετρέλαιο και ο άνθρακας περιέχουν ίχνη χρωμίου. Οι εκπομπές αερίων του χρωμίου είναι κυρίως από το τρισθενές χρώμιο και υπό μορφή μικρών μορίων ή αερολυμάτων. Οι σημαντικότερες βιομηχανικές πηγές χρωμίου στην ατμόσφαιρα είναι οι σχετικές βιομηχανίες με την παραγωγή σιδηροχρωμίου. Ο καθαρισμός μεταλλεύματος, η χημική, η πυρίμαχη επεξεργασία, η τσιμέντο-παραγωγή των εγκαταστάσεων, η αυτοκινητική επένδυση φρένων, οι καταλυτικοί μετατροπείς για τα αυτοκίνητα, οι φλοιοί δέρματος και οι χρωστικές ουσίες χρωμίου, συμβάλλουν επίσης στο ατμοσφαιρικό φορτίο του χρωμίου.

Οι κύριες χρήσεις χρωμίου είναι στην επιχρωμίωση και στην κεραμική μετάλλων. Το χρώμιο χρησιμοποιείται στη μεταλλουργία για να μεταδώσει την αντίσταση στη διάβρωση. Το χρώμιο σχηματίζει πολλές ζωηρόχρωμες ενώσεις που έχουν βιομηχανικές χρήσεις. Το χρωμικό άλας μολύβδου, επίσης γνωστό ως χρώμιο κίτρινο, έχει χρησιμοποιηθεί ως κίτρινη χρωστική ουσία στα χρώματα. Το χρωμικό οξείδιο, επίσης ευρέως χρησιμοποιημένη πράσινη χρωστική ουσία. Τα ρουμπίνια και οι σμάραγδοι οφείλουν επίσης τα χρώματά τους στις ενώσεις χρωμίου. Το οξειδίο χρωμίου χρησιμοποιείται για την κατασκευή της μαγνητικής ταινίας. Το διχρωμικό άλας καλίου χρησιμοποιείται στο μαύρισμα του δέρματος ενώ άλλες ενώσεις χρωμίου χρησιμοποιούνται ως υλικά που καθορίζουν μόνιμα τις χρωστικές ουσίες στα υφάσματα. Οι ενώσεις χρωμίου χρησιμοποιούνται επίσης για να υποβάλουν σε ανοδική οξειδωση το αργίλιο, μια διαδικασία που ντύνει το αργίλιο με ένα παχύ, προστατευτικό στρώμα του οξειδίου. Η μέγιστη χρήση του χρωμίου είναι στα κράματα μετάλλων όπως ο ανοξειδωτός χάλυβας, στα προστατευτικά επιστρώματα, στις μεταλλομαγνητικές ταινίες και στις χρωστικές ουσίες για τα χρώματα, στο τσιμέντο, στα λάστιχα και σε άλλα υλικά. Οι διαλυτές μορφές του χρωμίου χρησιμοποιούνται ως συντηρητικά ξύλου.

Το εξασθενές χρώμιο είναι τοξικότερο από το τρισθενές χρώμιο και για τις οξείες και για τις χρόνιες εκθέσεις. Όταν ο άνθρωπος εκτίθεται στο χρώμιο για μικρό χρονικό διάστημα σε μεγάλες ποσότητες παρουσιάζονται τα οξέα αποτελέσματα που περιλαμβάνουν τον ερεθισμό του δέρματος ή το έλκος. Η αναπνευστική οδός είναι ο σημαντικότερος στόχος για το χρώμιο μετά από την έκθεση εισπνοής του ανθρώπου. Η συντομία της αναπνοής, αναφέρθηκε σε περιπτώσεις εισπνοής τριοξειδίου χρωμίου σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις.

Άλλα αποτελέσματα που σημειώνονται από την οξεία έκθεση εισπνοής στις πολύ υψηλές συγκεντρώσεις του χρωμίου περιλαμβάνουν τα γαστροεντερικά και νευρολογικά αποτελέσματα, ενώ η δερμική έκθεση προκαλεί τα εγκαύματα δερμάτων στους ανθρώπους. Η κατάποση των υψηλών ποσών χρωμίου προκαλεί τα γαστροεντερικά αποτελέσματα στους ανθρώπους, συμπεριλαμβανομένου του κοιλιακού πόνου, του εμετού και της αιμορραγίας. Τα υψηλά επίπεδα αναπνοής

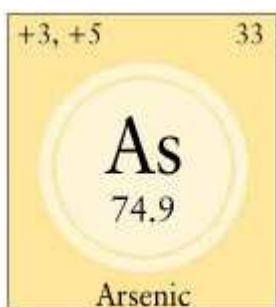
χρωμίου μπορεί να προκαλέσουν την ενόχληση στη μύτη, τις αιμορραγίες της μύτης, τα έλκη και τις τρύπες στο ρινικό διάφραγμα.

Τα μεγάλα ποσά χρωμίου μπορεί να προκαλέσουν σπασμοί, ζημία νεφρών και συκωτιού ακόμη και τον θάνατο. Η επαφή δερμάτων με ορισμένες ενώσεις χρωμίου μπορεί να προκαλέσουν τα έλκη δερμάτων. Μερικοί άνθρωποι είναι εξαιρετικά ευαίσθητοι στο χρώμιο. Έχουν σημειωθεί αλλεργικές αντιδράσεις που αποτελούνται από την αυστηρή ερυθρότητα και τη διόγκωση του δέρματος. Όταν ο άνθρωπος εκτίθεται στο χρώμιο για μεγάλο χρονικό διάστημα σε μικρές ποσότητες παρουσιάζονται τα χρόνια αποτελέσματα που περιλαμβάνουν την ζημία στο συκώτι, στο νεφρό, στο κυκλοφοριακό, στους ιστούς νεύρων και τον ερεθισμό του δέρματος. Η χρόνια έκθεση εισπνοής χρωμίου στους ανθρώπους οδηγεί τα αναπνευστικά προβλήματα με τις διατρήσεις και τα έλκη του διαφράγματος, την βρογχίτιδα, την μειωμένη πνευμονική λειτουργία, την πνευμονία και το άσθμα. Η χρόνια ανθρώπινη έκθεση στα υψηλά επίπεδα χρωμίου από την εισπνοή ή την προφορική έκθεση μπορεί να παράγει τα αποτελέσματα στο συκώτι, στο νεφρό, στα γαστροεντερικά και ανοσοποιητικά συστήματα και ενδεχομένως στο αίμα(αναιμία).

Η έκθεση χρωμίου στο δέρμα μπορεί να προκαλέσει τη δερματίτιδα επαφών, την ευαισθησία, το έλκος του δέρματος, τις αλλεργικές αντιδράσεις όπως η αναφυλαξία δερμάτων. Η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (WHO) και το EPA έχουν καθορίσει ότι το χρώμιο είναι μια ανθρώπινη καρκινογόνος ουσία. Διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι οι ενώσεις χρωμίου μπορούν να αυξήσουν τον κίνδυνο του καρκίνου των πνευμόνων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

### 2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ



Το αρσενικό είναι ένα φυσικά εμφανιζόμενο στοιχείο με ατομικό αριθμό 33 και σχετική ατομική μάζα  $74,92 \text{ g.mol}^{-1}$ . Είναι το 20ό αφθονότερο στοιχείο στη γη. Η χρήση του αρσενικού χρονολογείται από το 3000 Π.Χ. όταν χρησιμοποιήθηκαν οι ενώσεις αρσενικού στα κράματα χαλκού και ως φάρμακα πολύ πριν από το 400 Π.Χ. Το αρσενικό ομαδοποιείται συχνά μεταξύ των τοξικών μετάλλων, ανήκει σε μια κατηγορία στοιχείων γνωστών ως μεταλλοειδή, υπάρχει ως μια μεταλλική τροποποίηση (γκρίζο αρσενικό) καθώς επίσης και ως μη μεταλλική τροποποίηση (κίτρινο αρσενικό). Δηλαδή, έχει μερικά χαρακτηριστικά των μετάλλων και μερικά χαρακτηριστικά των αμέταλλων. Τα μέταλλα είναι καλοί αγωγοί της ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά η αγωγιμότητα μειώνεται καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται. Στοιχεία που δεν είναι πολύ καλά στη διεύθυνση της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά μπορούν να διευθύνουν την ηλεκτρική ενέργεια καλύτερα, στην υψηλότερη θερμοκρασία, καλούνται μεταλλοειδή. Τα αμέταλλα δεν διευθύνουν την ηλεκτρική ενέργεια. Στοιχεία που δεν είναι πολύ καλά στη διεύθυνση της ηλεκτρικής ενέργειας καλούνται ημιαγωγοί. Οι ημιαγωγοί χρησιμοποιούνται πολύ στη βιομηχανία ηλεκτρονικής. Η πυκνότητα του είναι  $5,72 \text{ g/cm}^3$ .

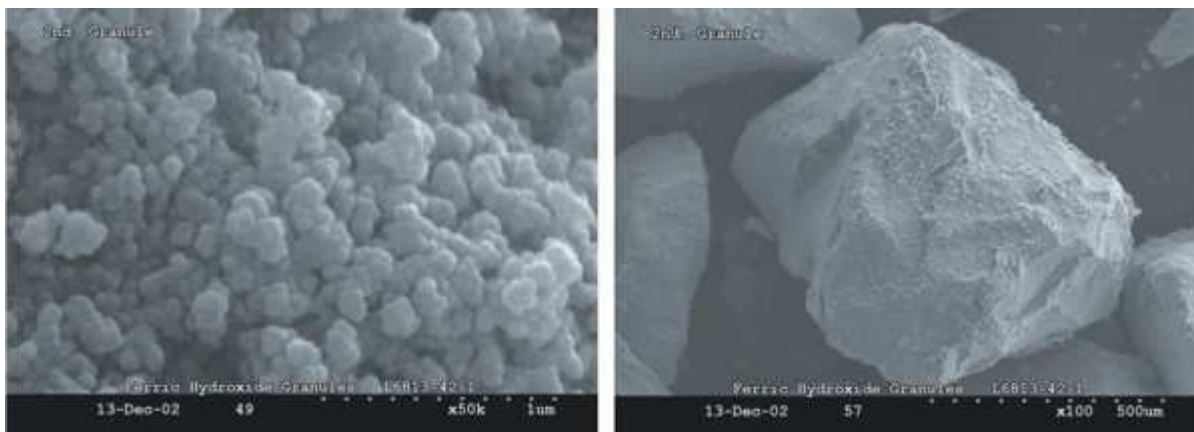
Το αρσενικό έχει χρησιμοποιηθεί για πολλά έτη για ιατρικούς λόγους. Χρησιμοποιήθηκε ως θεραπεία για τις ασθένειες όπως τη σύφιλη και έχει αποδειχθεί ότι βοηθάει στη θεραπεία λευχαιμίας. Σε πολύ χαμηλά επίπεδα πιθανόν να έχει και ευεργετικά αποτελέσματα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα ευεργετικά αποτελέσματα είναι για τις διαφορετικές ιατρικές εκβάσεις (σημεία τελών) είτε από τα οξέα είτε από τα χρόνια δυσμενή αποτελέσματα και ότι και τα ευεργετικά και τα δυσμενή αποτελέσματα μπορούν να παρατηρηθούν ταυτόχρονα (όπως είναι ευρέως γνωστός για την κατάποση ινιοπνεύματος).

Το αρσενικό μπορεί να υπάρξει σε ανόργανη ή οργανική μορφή. Το αρσενικό που συνδυάζεται με άλλα στοιχεία όπως το οξυγόνο, το χλώριο και το θείο καλείται ανόργανο αρσενικό. Το αρσενικό που συνδυάζεται με τον άνθρακα και το υδρογόνο αναφέρεται ως οργανικό αρσενικό. Το οργανικό αρσενικό μπορεί να βρεθεί στο νερό, στον αέρα, στο χώμα, στον ηφαιστειακό βράχο, στα φυτά και στα ζώα. Οι ανόργανες ενώσεις αρσενικού χρησιμοποιούνται κυρίως για να συντηρήσουν το ξύλο. Οι οργανικές ενώσεις αρσενικού χρησιμοποιούνται ως φυτοφάρμακα. Η κατανόηση της διαφοράς μεταξύ του ανόργανου και οργανικού αρσενικού είναι σημαντική επειδή οι οργανικές μορφές είναι συνήθως λιγότερο επιβλαβείς από τις ανόργανες μορφές. Ενώ τα τρόφιμα μπορούν να περιέχουν και ανόργανες και οργανικές μορφές αρσενικού, οι πρώτιστα ανόργανες μορφές είναι παρούσες στο νερό.

Υπάρχουν δύο μορφές ανόργανου αρσενικού που εμφανίζεται στο υπόγειο νερό: **πεντασθενές αρσενικό** (που καλείται επίσης ως  $\text{As[V]}$  ως (+5), και αρσενικό άλας) και **τρισθενές αρσενικό** (που καλείται επίσης όπως και  $\text{As[III]}$ , ως (+3), και arsenite). Στο φυσικό υπόγειο νερό, το αρσενικό μπορεί να υπάρξει ως τρισθενές αρσενικό, πεντασθενές αρσενικό ή σε συνδυασμό και των δύο. Αν και οι δύο μορφές



αρσενικού είναι ενδεχομένως επιβλαβείς στην ανθρώπινη υγεία, το τρισθενές αρσενικό θεωρείται επιβλαβέστερο από το πεντασθενές αρσενικό. Το τρισθενές αρσενικό είναι γενικά δυσκολότερο να αφαιρεθεί από το πόσιμο νερό απ' ότι το πεντασθενές αρσενικό. Το τρισθενές μπορεί να μετατραπεί σε πεντασθενές με την παρουσία ενός αποτελεσματικού οξειδωτικού όπως το ελεύθερο χλώριο.



**Εικόνα 11** Το αρσενικό σε διάφορες μορφές. ([www.galleries.com](http://www.galleries.com))

Αν και το στοιχειώδες αρσενικό έχει διάφορες μορφές γκρίζο, κίτρινο, και μαύρο αρσενικό μόνο το γκρίζο αρσενικό είναι συνήθως σταθερό. Το γκρίζο αρσενικό είναι ένα εύθραυστο, κρυστάλλινο. Το στοιχειώδες αρσενικό παράγεται με τη μείωση του τριοξειδίου αρσενικού με τον άνθρακα. Το αρσενικό κινείται συνήθως στο περιβάλλον ως ανιόν (που χρεώνεται αρνητικά το ιόν) σε συνδυασμό με το οξυγόνο. Οι περισσότερες ενώσεις αρσενικού είναι μη ανιχνεύσιμες στις αισθήσεις, δεδομένου ότι δεν έχουν καμία μυρωδιά, γεύση ή χρώμα όταν διαλύονται στο νερό, ακόμη και στις υψηλές συγκεντρώσεις και επομένως μόνο η εργαστηριακή ανάλυση μπορεί να καθορίσει την παρουσία και τη συγκέντρωση του αρσενικού στο νερό. Αλλά όταν το αρσενικό θερμαίνεται από το φωτεινό φως του ήλιου ή σ' ένα εργαστηριακό πείραμα, περνά άμεσα από στερεά κατάστασή σε αέρια και εκπέμπει μια διακριτική μυρωδιά σκόρδου. Το αρσενικό έχει ομοιότητες με το φώσφορο (P), ένα από τα ουσιαστικά συστατικά των διαδικασιών ζωής. Το κίτρινο αρσενικό, το ανάλογο του άσπρου φωσφόρου, μπορεί να δημιουργηθεί με την ξαφνική ψύξη ατμού του αρσενικού. Είναι πτητικό και διαλυτό στους μη πολικούς διαλύτες. Τα άλατα του οξέος αρσενικού, ειδικά αρσενικό άλας μολύβδου και αρσενικό άλας ασβεστίου, χρησιμοποιούνται πολύ ως φυτοφάρμακα.

Το αρσενικό δεν μπορεί να καταστραφεί στο περιβάλλον μπορεί μόνο να αλλάξει τη μορφή του. Το αρσενικό στην ατμόσφαιρα θα μεταφερθεί στο έδαφος από τον αέρα και τη βροχή. Πολλές ενώσεις αρσενικού μπορούν να διαλυθούν στο νερό. Η μόλυνση μιας πηγής πόσιμου νερού μπορεί να προκύψει από τις φυσικές ή ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι φυσικές συγκεντρώσεις του αρσενικού είναι στις περισσότερες περιπτώσεις αβλαβείς στη δημόσια υγεία. Οι πρόσφατες αυξήσεις στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχουν οδηγήσει στις ανυψωμένες συγκεντρώσεις αρσενικού στο περιβάλλον με αποτέλεσμα η ρύπανση του αέρα, του χώματος και του ύδατος να έχει γίνει ένας σοβαρός κίνδυνος υγείας στα διάφορα μέρη του κόσμου. Η κατάποση του πόσιμου νερού που περιέχει αρσενικό μπορεί να προκαλέσει τις

δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία. Ειδικότερα, το αρσενικό είναι μια γνωστή καρκινογόνος ουσία και η μακροπρόθεσμη κατάποση μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο καρκίνου.

## 2.2 ΠΗΓΕΣ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ

Τα περιβαλλοντικά επίπεδα αρσενικού ποικίλλουν. Συγκεντρώσεις γενικά περισσότερο τοξικές (το ανόργανο αρσενικό) βρίσκονται στον αέρα κοντά στις βιομηχανικές πηγές, στο υπόγειο νερό στις περιοχές με τη φυσική γεωλογική μόλυνση και στα χώματα ή στα ιζήματα κοντά στις πηγές μόλυνσης. Συγκεντρώσεις λιγότερο τοξικές (το οργανικό αρσενικό) βρίσκονται ιδιαίτερα στα ζώα κυρίως στα θαλασσινά. Το αρσενικό δεν συσσωρεύεται αρκετά στο σώμα κατά τη διάρκεια του χρόνου και δεν αυξάνεται η συγκέντρωση καθώς κινείται επάνω στην τροφική αλυσίδα. Το αρσενικό εισάγεται στον ιστό τροφίμων που τρώνε τα ζώα, από το χώμα, το νερό και από την άγλη ή το πλαγκτόν που είναι τροφή των ψαριών.

Στον αέρα, τα επίπεδα είναι χαμηλότερα στις απομακρυσμένες και αγροτικές περιοχές, υψηλότερα στις αστικές περιοχές και πολύ υψηλότερα κοντά στις βιομηχανικές πηγές. Η ηφαιστειακή τέφρα από διάφορα κοντινά ενεργά ηφαίστεια μολύνει την ατμόσφαιρα. Το αρσενικό εισάγεται στην ατμόσφαιρα από τη διάβρωση του αέρα, τις ηφαιστειακές εκπομπές, την αεριοποίηση χαμηλής θερμοκρασίας από τα χώματα, τα θαλάσσια αερολύματα που επιστρέφουν στη γήινη επιφάνεια από την υγρή και ξηρή απόθεση. Η φυσική διάλυση ή εκρόφηση του αρσενικού από αυτά τα υλικά πηγής μπορεί να εισαχθεί στο νερό της περιοχής.

Το πόσιμο νερό προέρχεται από ποικίλες πηγές. Αυτές οι πηγές περιλαμβάνουν το νερό επιφάνειας (θάλασσα, ποτάμια, λίμνες, δεξαμενές), τα υπόγεια νερά (υδροφόρα στρώματα) και τα όμβρια ύδατα. Η παρουσία αρσενικού ποικίλλει σε κάθε πηγή. Το αρσενικό μπορεί εισαχθεί στα επιφανειακά νερά όπως οι λίμνες και οι ποταμοί για μικρό χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα η συσσώρευση του αρσενικού να είναι σε χαμηλά επίπεδα και στα υπόγεια νερά να εισαχθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα η συσσώρευση του αρσενικού να είναι σε υψηλά επίπεδα. Στο νερό τα επίπεδα αρσενικού είναι, χαμηλότερα στο νερό της θάλασσας, υψηλότερα στους ποταμούς και στις λίμνες και πολύ υψηλότερα στο νερό από τις υπόγειες περιοχές που περιέχουν τον ηφαιστειακό βράχο ή τα ορυκτά αποθέματα πλούσια σε αρσενικό.

Η υψηλότερη μόλυνση αρσενικού βρίσκεται στα υπόγεια νερά ως αποτέλεσμα της επιρροής των αλληλεπιδράσεων νερού - βράχου και της μέγιστης τάσης στα υδροφόρα στρώματα για τις φυσικές και γεωχημικές καταστάσεις για να ευνοηθεί η κινητοποίηση και η συσσώρευση του αρσενικού. Η μόλυνση αρσενικού εμφανίζεται κυρίως στο κορυφαίο υδροφόρο στρώμα (40 μ) που επαναφορτίζεται από αρσενικό από την επιφάνεια. Το μεγαλύτερο μέρος ύδατος που πίνουν οι άνθρωποι, προέρχεται από τα υδροφόρα στρώματα κάτω από το έδαφος. Τα περισσότερα αναφερόμενα προβλήματα αρσενικού στην παροχή νερού εμφανίζονται στα υπόγεια νερά, διότι είναι δύσκολο να ανιχνευτή, με χαρακτηριστική, την πηγή πόσιμου νερού στις αγροτικές περιοχές. Στα φυσικά ύδατα το αρσενικό βρίσκεται συνήθως ως τρισθενές αρσενικό.



**Εικόνα 12** Το πορτοκαλί χρώμα στην άκρη του ύδατος είναι ένα υψηλό ίζημα αρσενικού.  
([www.montana.edu](http://www.montana.edu))

Το πόσιμο νερό θέτει το μέγιστο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία λόγω των διάφορων πηγών αρσενικού στο περιβάλλον. Η μόλυνση αρσενικού μιας πηγής πόσιμου νερού προκύπτει από τις **φυσικές πηγές** όπως η ηφαιστειακή δράση, η διάβρωση των βράχων και από τις δασικές πυρκαγιές, εντούτοις μπορεί να προκύψει και από τις **ανθρώπινες δραστηριότητες**. Περίπου το ένα τρίτο του αρσενικού στην ατμόσφαιρα προέρχεται από τις φυσικές πηγές, και το υπόλοιπο προέρχεται από τις ανθρωπογενείς πηγές (προκαλούμενες από τις ανθρώπινες δραστηριότητες). Αν και οι ανθρώπινες δραστηριότητες θεωρήθηκαν η σημαντικότερη πηγή αρσενικού στα τρόφιμα και στο νερό, οι φυσικές γεωλογικές πηγές αρσενικού εμφανίζονται τώρα να είναι η σημαντικότερη πηγή. Η μόλυνση αρσενικού από τις φυσικές πηγές και τις ανθρώπινες δραστηριότητες μπορεί να αποτελέσει σοβαρή απειλή υγείας για τους ανθρώπους και τα ζώα.

Η λήψη ή απελευθέρωση του αρσενικού από τις αντιδράσεις διάλυσης - πτώσης και εκρόφησης - προσρόφησης επηρεάζεται από τις αλλαγές του pH, από τη συγκέντρωση ενός ανταγωνιστικού ιόντος, όπως φωσφορούχος και από τη χημική σύσταση του ύδατος. Οι όροι που ευνοούν την απελευθέρωση του αρσενικού στο υπόγειο νερό περιλαμβάνουν την παρουσία μεταλλευμάτων οξειδίων και σουλφιδίου σιδήρου στα υλικά υδροφόρων στρωμάτων στο αλκαλικό υπόγειο νερό (pH μεγαλύτερο από 7 μονάδες) και την παρουσία φωσφορικού άλατος και οργανικού άνθρακα.

### 2.2.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Το αρσενικό είναι ένα φυσικά εμφανιζόμενο στοιχείο που βρίσκεται στο περιβάλλον σε κάποια αφθονία στη γήινη κρούστα και σε μικρές ποσότητες στο βράχο και στο χώμα. Είναι παρόν σε πολλά διαφορετικά μεταλλεύματα.

**Βράχος-χώμα:** Όλοι οι βράχοι περιέχουν κάποιο αρσενικό, χαρακτηριστικά 1-5 ppm. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις βρίσκονται σε μερικούς πύρινους και ιζηματώδεις βράχους. Τα χώματα που διαμορφώνονται από τη διάβρωση και τη διακοπή του βράχου στους αργίλους, περιέχουν συνήθως μεταξύ του

0,1-40 ppm και περιέχουν κατά μέσον όρο 5-6 ppm (Natural Resources Defense Council). Η γήινη κρούστα περιέχει (κατά μέσον όρο) 2-5 ppm συγκέντρωση αρσενικού, αν και μερικά είδη μεταλλευμάτων έχουν τις πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις του αρσενικού (Natural Resources Defense Council). Μερικά παραδείγματα των μεταλλευμάτων αρσενικού είναι arsenopyrite, realgar, orpiment, arsenolite. Η διάβρωση αυτών των μεταλλευμάτων θα οδηγήσει στη μόλυνση του νερού με αρσενικό.



**Εικόνα 13** Διάφορες μορφές αρσενικού arsenopyrite, realgar, orpiment, arsenolite.

([www.asarco.com](http://www.asarco.com))

Η παρουσία του αρσενικού στο φυσικό υπόγειο νερό οφείλεται συνήθως στο μετάλλευμα arsenopyrite, το οποίο συνδέεται με τους ιζηματώδεις βράχους και τους παλιούς ηφαιστειακούς βράχους. Οι συγκεντρώσεις αρσενικού στα υπόγεια νερά είναι αποτέλεσμα της διάβρωσης από τους τοπικούς βράχους (βράχοι πυρίτη ιδιαίτερα). Οι συγκεντρώσεις αρσενικού στους πύρινους, μεταμορφικούς και ιζηματώδεις βράχους ποικίλλουν αρκετά. Οι ιζηματώδεις βράχοι περιέχουν γενικά περισσότερο αρσενικό από τους πύρινους και μεταμορφικούς βράχους. Το αρσενικό στους σχιστόλιθους προσροφάτε γενικά από τα μεταλλεύματα αργίλου, ενώ το αρσενικό που συνδέεται με τους θαλάσσιους σχιστόλιθους (τους αργίλους) είναι παρόν στον πυρίτη. Μεταλλεύματα αργίλου, οξειδία οργανικής ουσίας, σουλφίδια σιδήρου και μαγγανίου, τα οποία εμφανίζονται κανονικά ως επίστρωμα, προσροφούν τα ιχνοστοιχεία όπως το αρσενικό.

Ένα χημικά μειωμένο περιβάλλον μπορεί να διαλύσει τα οξειδία σιδήρου και να απελευθερώσει το αρσενικό. Επειδή το αρσενικό είναι παρόν στα μεταλλεύματα χαλκού και μολύβδου, μπορεί να απελευθερωθούν αερομεταφερόμενες ενώσεις αρσενικού που τελικά εγκαθίστανται στο έδαφος και διαλύονται από τη βροχή μολύνοντας το χώμα και τα υπόγεια νερά. Η φύση μεταφέρει το αρσενικό από μέρος σε μέρος μέσω της διάβρωσης του βράχου που περιέχει αρσενικό και μέσω των υπόγειων διαδικασιών που εξαρτώνται από τη χημεία και τη σύνθεση των χωμάτων και του βράχου.

Καθώς το νερό περνά μέσω των σχηματισμών χώματος και βράχου, διαλύει πολλές ενώσεις και μεταλλεύματα συμπεριλαμβανομένου και του αρσενικού. Το αποτέλεσμα είναι ότι ποσότητες διαλυτού αρσενικού είναι παρόν σε μερικές πηγές ύδατος. Η πιο κοινή αιτία των συγκεντρώσεων αρσενικού στο υπόγειο νερό είναι η απελευθέρωση του αρσενικού από τα οξειδία σιδήρου.

Άλλες σημαντικές πηγές αρσενικού περιλαμβάνουν τα γεωθερμικά ύδατα και τα μεταλλεύματα σουλφιδίου. Το αρσενικό συνδέεται συχνά με τα ορυκτά μεταλλεύματα που εξάγονται, όπως τον χαλκό, τον χρυσό και τον ψευδάργυρο. Το ανόργανο αρσενικό υπάρχει φυσικά σε διάφορα επίπεδα σε όλους τους γεωλογικούς

σχηματισμούς στο κράτος. Σε μερικούς από αυτούς τους σχηματισμούς, το αρσενικό είναι σχετικά ακίνητο παρά την ύπαρξη υψηλής συγκέντρωσης. Σε άλλους σχηματισμούς, οι χημικές και σωματικές ιδιότητες του γεωλογικού υλικού μπορούν να επιτρέψουν στο αρσενικό να γίνει κινητό. Καθώς το νερό περνά μέσα από τους γεωλογικούς σχηματισμούς μπορεί να διαλύσει το αρσενικό.



**Εικόνα 14** Το υπόγειο νερό που ρέει από τον βράχο πλούσιο σε αρσενικό μπορεί να μολυνθεί από τις υψηλές συγκεντρώσεις μιας τοξικής μορφής αρσενικού, η οποία μπορεί να εισαχθεί στα ιδιωτικά φρεάτια και στις δημόσιες παροχές νερού. ([www.vanderkrogt.net](http://www.vanderkrogt.net))

Η **ηφαιστειακή** δραστηριότητα μπορεί να αποδεσμεύσει μεγάλα ποσά αρσενικού με την διασκόρπιση της ηφαιστειακής τέφρας από τον αέρα στο έδαφος. Ο οργανικός άνθρακας είναι επίσης διαδεδομένος, ως τύρφη και άνθρακας. Τα μικρόβια στο έδαφος και στο ίζημα απελευθερώνουν τις ουσίες που περιέχουν το αρσενικό στην ατμόσφαιρα. Αυτές μετατρέπονται έπειτα σε άλλες ενώσεις αρσενικού που εγκαθιστούν πάλι το έδαφος. Το αρσενικό βρίσκεται στο ηφαιστειακό γυαλί, στους ηφαιστειακούς βράχους, ως ενδιάμεση σύνθεση. Το ηφαιστειακό γυαλί, συνήθως ένα σημαντικό συστατικό των ηφαιστειακών βράχων, βρίσκεται ευρέως στα υδροφόρα στρώματα λεκανών αν και ένα μεγάλο μέρος του αρχικού γυαλιού βρίσκεται στους παλαιότερους ηφαιστειακούς βράχους. Κατά συνέπεια, το αρσενικό που συνδέεται αρχικά με τέτοιο ηφαιστειακό γυαλί είτε θα έχει συνδεθεί με άργιλο και μεταλλικά οξειδία, είτε θα έχει απελευθερωθεί και στη συνέχεια προσροφόμενος θα ξεπλυθεί από το υδροφόρο στρώμα. Τουλάχιστον, η προφανής σχέση μεταξύ των ενώσεων βράχου που περιέχουν οι ηφαιστειακοί βράχοι και το περιστατικό των υψηλών συγκεντρώσεων του αρσενικού στο υπόγειο νερό με την πάροδο του χρόνου θα έχουν προέλθει από το ηφαιστειακό γυαλί.



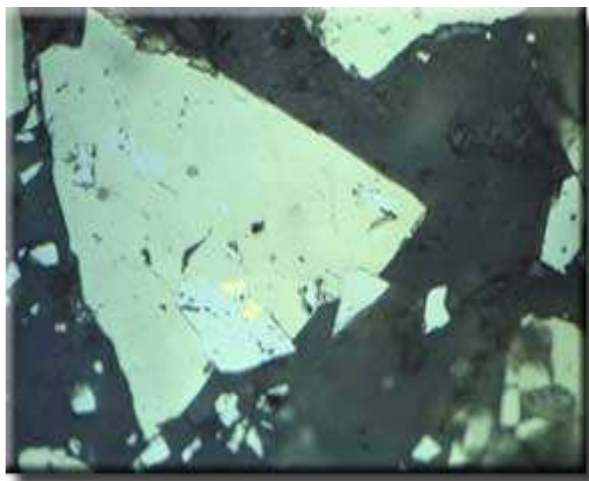
**Εικόνα 15** Ηφαιστειακή δραστηριότητα που μπορεί να απελευθερώσει αρσενικό. ([www.umeciv.maine.edu](http://www.umeciv.maine.edu))

## 2.2.2 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ

Το αρσενικό μπορεί να εισαχθεί στο νερό από την ατμοσφαιρική απόθεση των μορίων αρσενικού σε σκόνη ή διαλυμένο από τη βροχή και το χιόνι. Αυτά τα μόρια αρσενικού μπορούν να εισαχθούν στο περιβάλλον μέσω του καψίματος των απολιθωμένων καυσίμων (ειδικά άνθρακα), της παραγωγής μετάλλων (όπως η μεταλλεία μετάλλων χρυσού και βάσεων), της γεωργικής χρήσης (στα φυτοφάρμακα και τις πρόσθετες ουσίες τροφών) ή με το κάψιμο αποβλήτων.

**Κάψιμο των απολιθωμένων καυσίμων και αποβλήτων:** Η ατμοσφαιρική ρύπανση από το αρσενικό μπορεί να εμφανιστεί με το κάψιμο των βαμβακόφυτων απορριμμάτων που φεκάζονται με το αρσενικό. Όταν ο άνθρακας καίγεται, μπορεί να διαμορφώσει πλούσια τέφρα αρσενικού. Επίσης από τα ορυχεία του άνθρακα με αποτέλεσμα τα επίπεδα αρσενικού στο νερό να αυξηθούν.

**Παραγωγή μετάλλων:** Οι άνθρωποι έχουν δημιουργήσει πηγές αρσενικού από τα μεταλλεύματα μεταλλείας και από την τήξη των μεταλλευμάτων για να εξαγάγουν το χαλκό, το σήμι ή το χρυσό. Το αρσενικό μπόρεσε να συλλεχθεί, με καθαρή μορφή, από το εσωτερικό των καπνοδόχων χυτών. Η τήξη, που είναι καθαρισμός μετάλλων στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες, μπορεί να αποδεσμεύσει ένα μεγάλο ποσό αρσενικού στην ατμόσφαιρα. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας με κάρβουνο συμβάλλουν στην παρουσία αρσενικού στον αέρα, στο νερό και στο χώμα. Στη μεταλλεία, ο ανασκαμμένος βράχος που δεν περιέχει τις χρήσιμες ποσότητες των μετάλλων αφήνεται στον αέρα και έτσι μπορεί να αντιδράσει με το οξυγόνο με ή χωρίς τη βοήθεια των βακτηριδίων, απελευθερώνοντας τα μέταλλα και το αρσενικό (και συχνά όξινο) στο νερό.



**Εικόνα 16** Μικροσκοπική άποψη των χρυσών σταγόνων (κίτρινων, κέντρο) στο χλωμό γκρίζο arsenopyrite. ([www.yorkshiregrit.com](http://www.yorkshiregrit.com))

**Γεωργική χρήση:** Τα γεωργικά φυτοφάρμακα, τα λιπάσματα, τα ζιζανιοκτόνα αρσενικού και τα ζωικά απόβλητα είναι γεωργικές πηγές μόλυνσης υπόγειου νερού. Τα μέσα της γεωργικής μόλυνσης είναι ποικίλα και πολυάριθμα, μερικά παραδείγματα είναι:

- Η έκχυση των λιπασμάτων και των φυτοφαρμάκων.

- Η απορροή από τη φόρτωση και την πλύση των ψεκασθήρων φυτοφαρμάκων ή άλλου εξοπλισμού εφαρμογής.
- Η χρήση των χημικών ουσιών σε μικρές αποστάσεις από ένα φρεάτιο.
- Το γεωργικό έδαφος που στερείται την ικανοποιητική αποξήρανση θεωρείται από πολλούς αγρότες χαμένο εισοδηματικό έδαφος. Έτσι μπορούν να εγκαταστήσουν αγωγούς ή φρεάτια αποξήρανσεων για να καταστήσουν το έδαφος παραγωγικότερο. Η αποξήρανση χρησιμεύει ως ένας άμεσος αγωγός στο υπόγειο νερό για τα γεωργικά απόβλητα που πλένονται με την απορροή.
- Η αποθήκευση των γεωργικών χημικών ουσιών κοντά στους αγωγούς στο υπόγειο νερό, όπως τα ανοικτά και εγκαταλειμμένα φρεάτια.
- Η χρήση των λιπασμάτων, ζιζανιοκτόνων, τα εντομοκτόνων και τα μυκητοκτόνων με κακό τρόπο θα μπορούσαν να εισάγουν αυτούς τους μολυσματικούς παράγοντες στο υπόγειο νερό.

**Βιομηχανικά απόβλητα:** Το αρσενικό μπορεί επίσης να εισαχθεί στο νερό μέσω της απαλλαγής των βιομηχανικών αποβλήτων. Τα απόβλητα που περιέχουν αρσενικό παράγονται από τις βιομηχανίες που χρησιμοποιούν το αρσενικό. Το αρσενικό και οι ενώσεις του χρησιμοποιείται από τις βιομηχανίες στα ξύλινα συντηρητικά, στα χρώματα, στις χρωστικές ουσίες, στα μέταλλα, στα φάρμακα, στα σαπούνια, στους ημιαγωγούς υπολογιστών, στα κεραμικά, στο πετρέλαιο, στα εντομοκτόνα, στα φυτοφάρμακα, στα λιπάσματα, στην παραγωγή χαρτιού, στην κατασκευή γυαλιού και στην κατασκευή τσιμέντου.

### 2.3 ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΑΣΘΕΝΕΙΑΣ

Το πόσιμο νερό που περιέχει υψηλά επίπεδα αρσενικού μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγείας. Το αρσενικό έχει αναγνωριστεί από καιρό ως τοξίνη και καρκινογόνος ουσία. Η κατάποση αρσενικού μπορεί να οδηγήσει στις χρόνιες και στις οξείες επιπτώσεις υγείας. Οι πιο αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία είναι συνδεδεμένες με τη χρόνια (μακροπρόθεσμη /χαμηλή συγκέντρωση) έκθεση αρσενικού. Η δηλητηρίαση μπορεί να προκύψει από μια ενιαία μεγάλη δόση, πάνω από 60 mg/l, του αρσενικού κατά τη διάρκεια μιας σύντομης χρονικής περιόδου (**οξεία δηλητηρίαση**) ή από επαναλαμβανόμενες μικρές δόσεις κατά τη διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων (**χρόνια δηλητηρίαση**) (World health organization). Η χρόνια έκθεση στο αρσενικό μπορεί να εμφανιστεί μέσω των διάφορων πηγών, φυσικών (π.χ. ξεπερνώντας τις αντιδράσεις και τις ηφαιστειακές εκπομπές) και προκαλούμενων από τον άνθρωπο (π.χ. να εξαγάγει σχετικές δραστηριότητες).



**Εικόνα 17** Δερματικές επιπτώσεις από την έκθεση αρσενικού. ([www.asia-arsenic.net](http://www.asia-arsenic.net))

Οι προφανέστερες και άμεσες περιπτώσεις της δηλητηρίασης αρσενικού έχουν εμφανιστεί όταν λαμβάνεται μια μεγάλη δόση του αρσενικού σε μια μικρή χρονική περίοδο. Αυτό το είδος έκθεσης καλείται οξεία δηλητηρίαση αρσενικού και μερικά από τα **συμπτώματα της οξείας δηλητηρίασης** από την κατάποση του αρσενικού περιλαμβάνουν τη ναυτία, τον πονοκέφαλο, τον πόνο και κάψιμο του λαιμού, τους κοιλιακούς πόνους, την αιματηρή διάρροια, την κούραση, τον μυϊκό πόνο, την αδυναμία, την αίσθηση μουδιάσματος στα χέρια και στα πόδια, τη γενική παράλυση. Τελικά μπορεί να οδηγήσει στον κλονισμό, στο κώμα και στον θάνατο.



**Εικόνα 18** Επιπτώσεις αρσενικού από οξεία έκθεση ([www.bangladeshinfo.com](http://www.bangladeshinfo.com))

Εκείνοι που επιζούν τελικά από την οξεία δηλητηρίαση μπορεί να παρουσιάσουν συμπτώματα που περιλαμβάνουν το melanosis, μια αλλαγή στη χρώση του δέρματος (το hyperpigmentation είναι τα σκοτεινά σημεία που διαμορφώνονται στο δέρμα) και μια εκτενής πυκνότητα του δέρματος, ειδικά στις παλάμες των χεριών και στα πέλματα των ποδιών (hyperkeratosis). Η κερατίνη είναι η πρωτεΐνη που κάνει το δέρμα σκληρό, έτσι η πυκνότητα του δέρματος δημιουργείται από το υψηλό ποσό κερατίνης.



**Εικόνα 19** Συμπτώματα αρσενικού, hyperkeratosis και hyperpigmentation ([www.cimmyt.org](http://www.cimmyt.org))

Ευτυχώς αυτό το είδος δηλητηρίασης (οξεία δηλητηρίαση) είναι σπάνιο. Θα μπορούσε να εμφανιστεί μέσω της σκόπιμης δηλητηρίασης ή ίσως μέσω της επαγγελματικής έκθεσης, αλλά οι περισσότεροι άνθρωποι επηρεάζονται από τη δηλητηρίαση αρσενικού σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα και κατά τη διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων. Αυτό το είδος έκθεσης καλείται χρόνια δηλητηρίαση ή έκθεση



αρσενικού. Τα συμπτώματα της χρόνιας δηλητηρίασης από την έκθεση του αρσενικού περιλαμβάνουν:

**Καρκινώδη αποτελέσματα:** Ο καρκίνος προκαλείται από τις γενετικές μεταλλαγές των κύτταρων, τα οποία διαιρούνται χωρίς περιορισμό σε διάφορα όργανα του σώματος. Ο καρκίνος συνήθως παρατηρείται μετά από τη χρόνια έκθεση 10 ετών στο αρσενικό και οι μορφές καρκίνου που έχουν συσχετιστεί στην υψηλή έκθεση αρσενικού είναι: Δέρμα (πυκνότητα και αποχρωματισμός του δέρματος) , κύστη, πνεύμονας, νεφρό, ρινικές μεταβάσεις, συκώτι και προστατικός καρκίνος.



Εικόνα 20 Καρκίνος του δέρματος. ([www.ens-newswire.com](http://www.ens-newswire.com))

**Μη-καρκινώδη αποτελέσματα:** Καρδιαγγειακά, πνευμονικά, ανοσολογικά, νευρολογικά, κυκλοφορικά προβλήματα (μειωμένη παραγωγή των κόκκινων και λευκών κυττάρων αίματος), υψηλή πίεση αίματος, διακοπή του κυκλοφοριακού συστήματος, gangrene, απώλεια άκρων (blackfoot ασθένεια), αναπαραγωγικά αποτελέσματα και τερατογέννηση προκαλώντας τις ατέλειες γέννησης και το χαμηλό βάρος γέννησης. Το αρσενικό μπορεί επίσης να βλάψει τα χρωμοσώματα, τα οποία περιέχουν το γενετικό υλικό στα κύτταρα του σώματος. Το αρσενικό μπορεί να προκαλέσει ενδοκρινή αποτελέσματα τα οποία συμβάλλουν στην ανάπτυξη του διαβήτη (μπορεί να αφορά γενικότερα τη διάσπαση ένα ή περισσότερα από τα συστήματα ορμονών).



Εικόνα 21 Ασθένεια blackfoot. ([www.ens-newswire.com](http://www.ens-newswire.com))

### 2.3.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΘΗΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ

Τα συμπτώματα από την έκθεση του αρσενικού, διαφέρουν μεταξύ των ατόμων, των ομάδων πληθυσμών και των γεωγραφικών περιοχών.

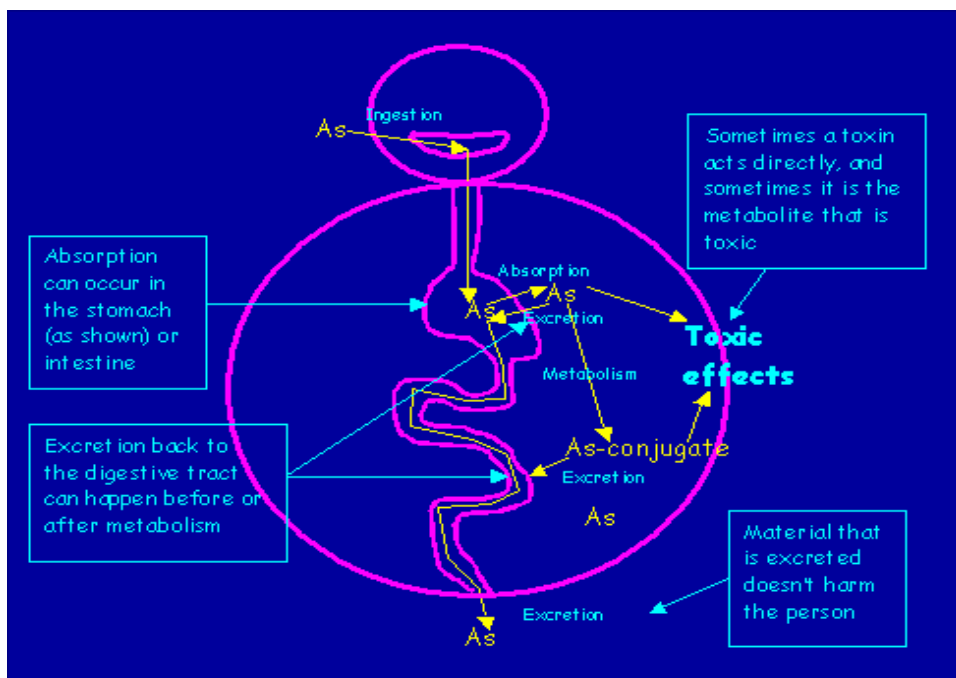
Οι παράγοντες όπως η γενετική, η ηλικία, ο μεταβολισμός, η διατροφή και η γενική υγεία μπορούν επίσης να έχουν αντίκτυπο στους κινδύνους υγείας που συνδέονται με την έκθεση αρσενικού. Τα άτομα με τη χρόνια μόλυνση ηπατίτιδας β, την

πρωτεϊνική ανεπάρκεια ή τον υποσιτισμό μπορούν να είναι πιο ευαίσθητα στα αποτελέσματα του αρσενικού.

Κάποια έρευνα δείχνει ότι το κάπνισμα τσιγάρων και η υπερβολική έκθεση στο άμεσο φως του ήλιου μπορούν να επιδεινώσουν τα αποτελέσματα της έκθεσης αρσενικού.

Οι δραματικές αυξήσεις στη θνησιμότητα από τους εσωτερικούς καρκίνους έχουν αναφερθεί στην Ταϊβάν και τη Χιλή. Στην Ταϊβάν, οι πληθυσμοί που εκτέθηκαν στις υψηλές συγκεντρώσεις του αρσενικού στο πόσιμο νερό τους, μέσο όρο 800 μg/l, είχαν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση του καρκίνου της ουροδόχου κύστης ( World health organization). Στην περιοχή της βόρειας Χιλής, 5–10% όλων των θανάτων που εμφανίζονται μεταξύ εκείνων μετά την ηλικία των 30 αποδόθηκαν στους προκαλούμενους από αρσενικό εσωτερικούς καρκίνους, ειδικότερα καρκίνος της ουροδόχου κύστης και καρκίνος πνευμόνων όπου οι μέσες εκθέσεις ήταν της τάξεως 500 μg/l ( World health organization). Στην Αργεντινή, μια μελέτη θνησιμότητας σε μια περιοχή εκτεθειμένη με αρσενικό βρήκε τους αυξανόμενους κινδύνους καρκίνου αθροιστών και πνευμόνων μεταξύ των ανδρών και των γυναικών από το 1986 ως το 1991, αν και οι συγκεντρώσεις ήταν χαμηλότερες (μέσος όρος 178 μ g/l) απ'ότι στην Ταϊβάν και τη Χιλή ( World health organization).

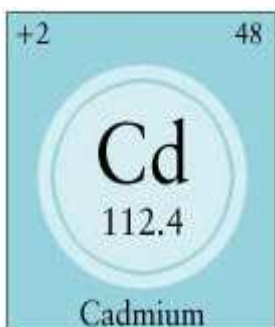
Είκοσι ή τριάντα έτη μετά από την έκθεση του αρσενικού, οι εσωτερικοί καρκίνοι (πνεύμονας, νεφρό, συκώτι και κύστη) εμφανίζονται μεταξύ 10% ( World health organization).



**Εικόνα 22** Τοξικά αποτελέσματα του αρσενικού στην ανθρώπινη υγεία ([www.umeciv.maine.edu](http://www.umeciv.maine.edu))

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΚΑΔΜΙΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

### 3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ ΤΟΥ ΚΑΔΜΙΟΥ



Το κάδμιο είναι ένα στοιχείο που εμφανίζεται φυσικά και έχει ατομικό αριθμό 48 και ατομική μάζα  $112.41 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Είναι ένα σχετικά σπάνιο μέταλλο, που ταξινομείται ως το 67ο στην αφθονία μεταξύ των 90 φυσικά εμφανιζόμενων στοιχείων στη γη. Στην καθαρή του μορφή, το κάδμιο είναι ένα αργυροειδές άσπρο, ελατό μέταλλο με ένα γαλαζωπό χρώμα. Είναι μαλακό και όλκιμο και έχει μια σχετικά υψηλή πίεση ατμού. Είναι ελαφρώς σκληρότερο από τον κασσίτερο, αλλά είναι μαλακότερο από τον ψευδάργυρο και όπως ο κασσίτερος, εκπέμπει έναν ήχο τριξίματος όταν κάμπτεται. Είναι ελατό και

παρουσιάζει ευδιάκριτο ινώδες σπάσιμο.

Το σημείο τήξης του είναι  $321^\circ \text{ C}$  ( $610^\circ \text{ F}$ ) και το σημείο βρασμού του είναι  $765^\circ \text{ C}$  ( $1,410^\circ \text{ F}$ ), διαμορφώνοντας έναν βαθύ κίτρινο ατμό. Η πυκνότητα του καδμίου είναι  $8,65 \text{ g}/\text{cm}^3$ . Το μόριο καδμίου, όπως παρουσιάζεται από τους προσδιορισμούς της πυκνότητας του ατμού του, είναι μονατομικό. Το μέταλλο ενώνεται με την πλειοψηφία των βαρέων μετάλλων για να διαμορφώσει τα κράματα που βρίσκουν χρήσιμη εφαρμογή εξαιτίας του γεγονότος ότι κατέχουν ένα χαμηλό σημείο τήξης. Διαμορφώνει επίσης τα αμαλγάματα μαζί με τον υδράργυρο.

Τα πιο αξιοπρόσεκτα χαρακτηριστικά του καδμίου είναι η μεγάλη αντίστασή του στη διάβρωση, το χαμηλό σημείο τήξης και η άριστη ηλεκτρική αγωγιμότητά του. Το κάδμιο επειδή δεν έχει καθορισμένη μυρωδιά και γεύση, απαιτείται χημική ανάλυση για να ανιχνευτεί η παρουσία του. Το μέταλλο είναι διαλυτό στα οξέα αλλά αδιάλυτο στο νερό. Το κάδμιο θεωρείται ως ένα από τα πιο δηλητηριώδη μέταλλα. Έχουν υπάρξει τεκμηριωμένες περιπτώσεις της οξείας και της χρόνιας δηλητηρίασης λόγω της έκθεσης με το περιβάλλον. Τα μόρια καδμίου στον αέρα μπορούν να ταξιδέψουν μεγάλες αποστάσεις πριν πέσουν στο έδαφος ή στο νερό.

Η ημιζωή του καδμίου στο σώμα δεν είναι γνωστή αλλά εκτιμάται από 20 - 40 έτη. Το κάδμιο ομαδοποιείται μεταξύ των γνωστών στοιχείων ως μέταλλα μετάβασης. Ορισμένα μέταλλα μετάβασης μπορούν να ενεργήσουν και ως ηλεκτρικοί αγωγοί και μονωτές, ανάλογα με τις μικρές αλλαγές στη χημική δομή τους. Υπάρχουν οκτώ ισότοπα φυσικά εμφανείς του καδμίου. Είναι κάδμιο- 106, κάδμιο- 108, κάδμιο- 110, κάδμιο- 111, κάδμιο- 112, κάδμιο- 113, κάδμιο- 114, και κάδμιο- 116. Τα ισότοπα είναι δύο ή περισσότερες μορφές ενός στοιχείου. Τα ισότοπα διαφέρουν το ένα από το άλλο σύμφωνα με το μαζικό αριθμό τους. Περίπου 20 ραδιενεργά ισότοπα του καδμίου είναι γνωστά. Ένα ισότοπο του καδμίου, κάδμιο- 109, χρησιμοποιείται μερικές φορές για να αναλύσει τα κράματα μετάλλων. Το κάδμιο βρίσκεται συχνά ως τμήμα των μικρών μορίων παρών στον αέρα.

Επειδή αντιδρά εύκολα με άλλα στοιχεία, το κάδμιο βρίσκεται σπάνια στην καθαρή ή στοιχειώδη μορφή του αλλά συνδέεται με άλλα στοιχεία σε ποικίλες ενώσεις, συμπεριλαμβανομένων μερικών που είναι εξαιρετικά τοξικές. Βρίσκεται συνήθως ως μεταλλευμα που συνδυάζεται με άλλα στοιχεία όπως το οξυγόνο (οξειδίο καδμίου), το χλώριο (χλωρίδιο καδμίου) ή το θείο (θειικό άλας καδμίου, σουλφίδιο καδμίου). Αυτό

αναμιγνύεται με το μικρό άνθρακα και τον ψευδάργυρο και δίνει μια εμπλουτισμένη σκόνη, που είναι εύφλεκτη και εκρηκτική όταν εκτίθεται στη θερμότητα, στη φλόγα ή στους φορείς οξειδωσης. Οι τοξικοί καπνοί εκπέμπονται όταν θερμαίνεται το μέταλλο καδμίου στις υψηλές θερμοκρασίες. Η σκόνη καδμίου περιλαμβάνει τις διάφορες ενώσεις καδμίου όπως:

**Το οξείδιο καδμίου**, εμφανίζεται ως άχρωμη άμορφη σκόνη ή ως καφετιά-κόκκινα κυβικά κρύσταλλα. Είναι διαλυτό στα οξέα, τα άλατα αμμωνίου, και τα αλκάλια, αλλά είναι αδιάλυτο στο κρύο και καυτό νερό. Όταν θερμαίνεται στην αποσύνθεση, εκπέμπει τους τοξικούς καπνούς του καδμίου. Το κάδμιο αντιδρά αργά με το οξυγόνο στον υγρό αέρα και στις θερμοκρασίες δωματίου, που διαμορφώνουν το οξείδιο καδμίου.



Εικόνα 23 Η μορφή του καδμίου ως οξείδιο του καδμίου. ([www.unirex-jp.com](http://www.unirex-jp.com))

**Το υδροξείδιο καδμίου**, λαμβάνεται ως άσπρο ίζημα με την προσθήκη του υδροξειδίου καλίου σε ένα διάλυμα οποιουδήποτε διαλυτού άλατος καδμίου. Αποσυντίθεται από τη θερμότητα στο οξείδιο και στο νερό, και είναι διαλυτό στην αμμωνία αλλά όχι παραπάνω από το αραιό υδροξείδιο καλίου, αυτή η τελευταία ιδιοκτησία χρησιμεύει για να το διακρίνει από το υδροξείδιο ψευδάργυρου.

**Το σουλφίδιο καδμίου**, είναι μια κίτρινο-πορτοκάλι ή καφετιά σκόνη. Διαμορφώνει ένα κολλοειδές στο καυτό ύδωρ είναι διαλυτό στα οξέα και την αμμωνία και αδιάλυτο στο κρύο νερό. Όταν θερμαίνεται στην αποσύνθεση, το θειικό άλας καδμίου και το σουλφίδιο καδμίου εκπέμπουν τους τοξικούς καπνούς των οξειδίων καδμίου και θείου.



Εικόνα 24 Η μορφή του καδμίου ως σουλφίδιο καδμίου([www.asarco.com](http://www.asarco.com))

**Το χλωρίδιο καδμίου**, εμφανίζεται ως μικρά, άσπρα, εξαγωνικά κρύσταλλα. Είναι διαλυτό στο νερό και στην ακετόνη και αδιάλυτο στην αιθανόλη. Όταν θερμαίνεται στην αποσύνθεση, εκπέμπει τους τοξικούς καπνούς του καδμίου, του υδροφθορικού οξέος και άλλων φθοριωμένων ενώσεων.



**Εικόνα 25** Η μορφή του καδμίου ως χλωρίδιο του καδμίου ([www.fabreminerals.com](http://www.fabreminerals.com))

**Τα κανονικά ανθρακικά άλατα καδμίου**, είναι ένα άσπρο ίζημα της μεταβλητής σύνθεσης στην προσθήκη των αλκαλικών ανθρακικών αλάτων στα διαλυτά άλατα καδμίου.

**Το νιτρικό άλας καδμίου**, είναι ένα υγροποιημένο άλας, το οποίο μπορεί να ληφθεί από τη διάλυση είτε του μετάλλου είτε του οξειδίου είτε του ανθρακικού άλατος στο αραιό νιτρικό οξύ. Είναι πολύ διαλυτό στα οξέα, στην αιθανόλη, στην ακετόνη, στο νερό και στην αμμωνία.

**Το ανθρακικό άλας καδμίου**, εμφανίζεται ως άσπρη άμορφη σκόνη που είναι διαλυτή στα οξέα, στο κυανικό άλας καλίου, στα άλατα αμμωνίου και αδιάλυτο στην αμμωνία και στο νερό.



**Εικόνα 26** Η μορφή του καδμίου ως ανθρακικό άλας καδμίου. ([www.fabreminerals.com](http://www.fabreminerals.com))

**Το θειικό άλας καδμίου**, εμφανίζεται ως άσπρα ρομβικά κρύσταλλα. Είναι διαλυτό στο νερό αλλά αδιάλυτο στο οινόπνευμα, στην ακετόνη και στην αμμωνία.

Αυτές οι ενώσεις είναι στερεά που μπορούν να διαλυθούν στο νερό αλλά δεν εξατμίζονται ή δεν εξαφανίζονται από το περιβάλλον. Δύο μορφές ενώσεων καδμίου, τα θειικά άλατα καδμίου και τα χλωρίδια καδμίου, διαλύονται τόσο εύκολα στο νερό που οι άνθρωποι τις βρίσκουν σπάνια στη φύση στη στερεά μορφή τους. Οι ενώσεις καδμίου εκθέτουν την άριστη αντίσταση στις χημικές ουσίες και στις υψηλές θερμοκρασίες. Οι περισσότερες ενώσεις καδμίου είναι αντιδραστικές με τους φορείς οξειδωσης, ισχυρά οξέα και βάσεις, κάλιο και μαγνήσιο.

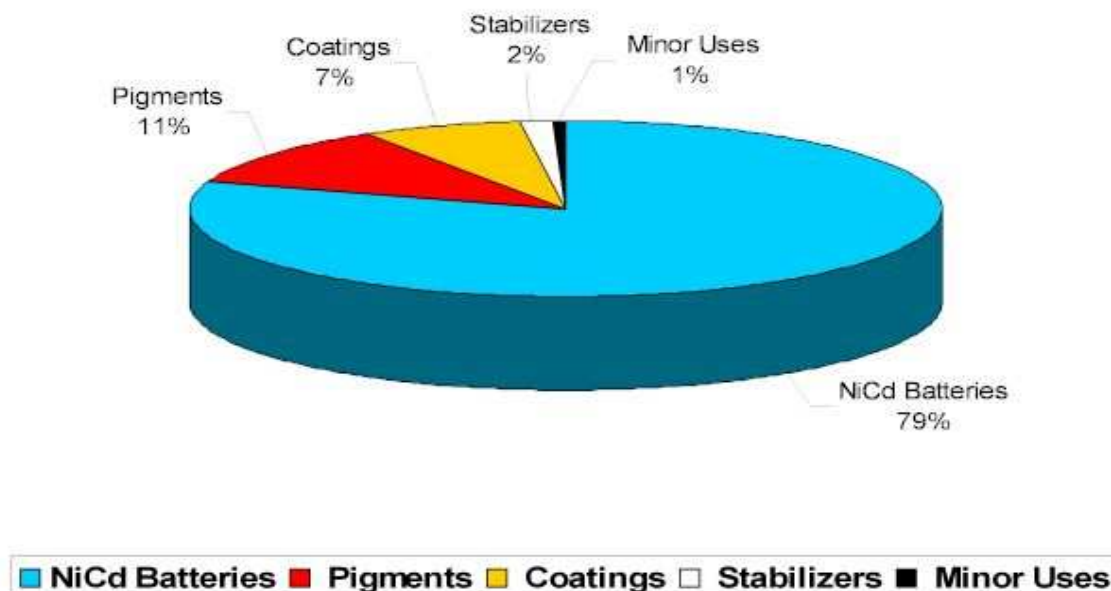
### 3.2 ΠΗΓΕΣ ΚΑΔΜΙΟΥ

Οι εκπομπές καδμίου προκύπτουν από δύο σημαντικές κατηγορίες πηγών, τις φυσικές πηγές και τις προκαλούμενες από τον άνθρωπο ή ανθρωπογενείς πηγές. Οι

εκπομπές εμφανίζονται στα τρία σημαντικά διαμερίσματα του περιβάλλοντος, αέρα, νερό και χώμα, αλλά μπορεί να υπάρξει ιδιαίτερη μεταφορά μεταξύ των τριών διαμερισμάτων μετά από την αρχική απόθεση. Οι εκπομπές στον αέρα θεωρούνται πιο κινητές από εκείνες στο νερό που στη συνέχεια θεωρούνται πιο κινητές από εκείνες στα χώματα.

Τα κύρια είδη στον αέρα είναι το οξείδιο καδμίου και μερικά άλατα καδμίου, τα οποία εμφανίζονται ως σταθερές μορφές στο περιβάλλον. Οι ενώσεις καδμίου στις ατμοσφαιρικές εκπομπές διασκορπίζονται από τους ανέμους και κατατίθενται με τις υγρές ή ξηρές διαδικασίες. Οι συγκεντρώσεις καδμίου στον περιβαλλοντικό αέρα είναι γενικά λιγότερο από  $0,005 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , αλλά οι συγκεντρώσεις μέχρι  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  έχουν ανιχνευθεί στον αέρα που εκπέμπεται πλησίον στις εγκαταστάσεις (Environment Protection Agency). Οι περιβαλλοντικές συγκεντρώσεις αέρα στις αγροτικές περιοχές είναι συνήθως λιγότερο από  $1 \text{ ng}/\text{m}^3$  και στις αστικές περιοχές κυμαίνεται από  $3-40 \text{ ng}/\text{m}^3$  (Environment Protection Agency). Η εισαγωγή καδμίου από τον περιβαλλοντικό αέρα είναι λιγότερο από  $0,8 \mu\text{g}/\text{ημέρα}$  στις μη βιομηχανικές περιοχές (Environment Protection Agency). Η ατμοσφαιρική απόθεση εμφανίζεται μετά από την απελευθέρωση του καδμίου στην ατμόσφαιρα μέσω του καψίματος των απολιθωμένων καυσίμων και του καπνού τσιγάρου.

Οι περισσότερες από τις μελέτες δείχνουν ότι η μεγάλη πλειοψηφία των εκπομπών καδμίου, περίπου 80% - 90%, είναι στα χώματα (Environment Protection Agency). Ενώ η φυσική εμφάνιση του καδμίου στο χώμα είναι σε χαμηλά επίπεδα, εξαιτίας του αέρα και της βροχής, μεταφέρονται επιπλέον μόρια καδμίου στο χώμα. Στα χώματα, το κάδμιο είναι κατά ένα μεγάλο μέρος συνδεδεμένο στο μη-ανταλλάξιμο μέρος, π.χ. στους αργίλους, στα οξείδια μαγγανίου και σιδήρου.



**Εικόνα 27** Ποσοστά χρήσεων του καδμίου, 79% στις μπαταρίες, 11% στα χρώματα, 7% στις επιστρώσεις, 2% στους σταθεροποιητές, 1% σε άλλες χρήσεις ([www.cadmium.org](http://www.cadmium.org))

Για αυτόν τον λόγο, η κινητικότητα και η μεταφορά του στη ζωική και ανθρώπινη τροφική αλυσίδα είναι περιορισμένες. Οι πιο κοινές διαβάσεις που το κάδμιο βρίσκει στα χώματα είναι μέσω των διαδικασιών όπως η ατμοσφαιρική απόθεση, το νερό άρδευσης και η λίπανση λιπάσματος. Το νερό άρδευσης είναι μια σημαντική πηγή

μόλυνσης καδμίου για τα χώματα, αυτό δεν είναι μέσω της έλλειψης επεξεργασίας, αλλά λόγω των υλικών που ντύνουν τις σωληνώσεις μέσω των οποίων ρέει το νερό. Πολλοί παράγοντες έχουν επιπτώσεις στη διαθεσιμότητα του εδαφολογικού καδμίου στις εγκαταστάσεις, συμπεριλαμβανομένου του pH, της εδαφολογικής αλατότητας, του περιεχομένου εδαφολογικής οργανικής ουσίας, της εδαφολογικής σύστασης, της θέσης εδαφολογικών μικροτροφικών, κ.λπ. Η απορρόφηση καδμίου από τις εγκαταστάσεις αυξάνεται με ένα μειωμένο pH του χώματος. Τα υπόλοιπα 10% - 20% των εκπομπών καδμίου μεταξύ του αέρα και του νερού εξαρτώνται κατά ένα μεγάλο μέρος από τον τύπο πηγής.

Παραδείγματος χάριν, η ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση καδμίου δεν οδηγεί σε καμία εκπομπή αερίων αλλά, στο παρελθόν, οδήγησε σε μερικές εκπομπές ύδατος. Σήμερα, οι κανονισμοί αποβλήτων αποχέτευσης ύδατος εξασφαλίζουν ότι ακόμη και οι εκπομπές ύδατος ηλεκτρολυτικής επιμετάλλωσης καδμίου είναι αμελητέες. Οποιαδήποτε απόβλητα καδμίου από την ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση καδμίου είναι τώρα παρόν στην επιμεταλλώνοντας ηλεκτρολυτική λάσπη, μπορούν να ανακυκλωθούν για να ανακτηθούν τα πολύτιμα μέταλλα.

Η μέση καθημερινή εισαγωγή για τους ανθρώπους υπολογίζεται ως 2-3 μg από το νερό, 50 μg από τις τροφές και με το καπνισμα 2-4 μg για ένα πακέτο τσιγάρα (Θ.Κουιμτζή, Κ.Σαμαρά – Κωνσταντίνου, Θεσσαλονίκη 1998). Οι άνθρωποι καταναλώνουν, κατά προσέγγιση το ένα τρίτο του καδμίου στο οποίο εκτίθενται, στα ζωικά τρόφιμα και τα δύο τρίτα, στα φυτικά τρόφιμα. Οι εκπομπές καδμίου στο περιβάλλον ως αποτέλεσμα της χρήσης της έχουν μειωθεί συνεχώς από τη δεκαετία του '60. Σήμερα αυτοί είναι ασήμαντοι και θα πλησιάσουν στο μηδέν στο χρόνο μιας δεκαετίας, όταν θα ανακυκλωθούν συνολικά τα προϊόντα καδμίου σχεδόν με αυτόν τον τρόπο αποβάλλοντας οποιαδήποτε αντιληπτά προβλήματα.

### 3.2.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Ακόμα κι αν η μέση συγκέντρωση καδμίου στη γήινη κρούστα τοποθετείται γενικά μεταξύ 0,1 και 0,5 ppm, τα πολύ πιο υψηλά επίπεδα μπορούν να συσσωρευτούν στους ιζηματώδεις βράχους και στα θαλάσσια φωσφορικά άλατα που περιέχουν υψηλά επίπεδα όπως 500 ppm (Natural Resources Defense Council). Η διάβρωση των βράχων και των χωμάτων οδηγούν στις μεταφορές μεγάλων ποσοτήτων καδμίου, από τους ποταμούς στους παγκόσμιους ωκεανούς, με αποτέλεσμα το κάδμιο να εισαχθεί στα υδρόβια συστήματα. Όταν οι ενώσεις καδμίου δεσμευτούν στα ιζήματα των ποταμών, μπορούν εύκολα να διαλυθούν κατά τη διάρκεια της πλημμύρας. Επίσης μερικές ενώσεις καδμίου μπορεί να εισαχθούν μέσω των χωμάτων στο υπόγειο νερό.

Φυσικά, το κάδμιο είναι παρόν στις πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις μέσω των πετρωμάτων και της ορυκτής παραγωγής, των οργανικών ουσιών και του δευτεροβάθμιου υλικού. Το κάδμιο έχει ανιχνευθεί στους ανθρακούχους σχιστόλιθους και στο φωσφορικό πέτρωμα. Όλα τα χώματα και τα πετρώματα, συμπεριλαμβανομένου του άνθρακα και των ορυκτών αποθεμάτων, έχουν κάποια ποσότητα καδμίου. Το κάδμιο εμφανίζεται φυσικά στο μετάλλευμα σουλφιδίου (greenockite) που περιέχει το σουλφίδιο ψευδάργυρου, με το μόλυβδο, με τα μεταλλεύματα χαλκού που περιέχουν τον ψευδάργυρο και άλλα μεταλλεύματα που μπορούν να χρησιμεύσουν ως πηγές μόλυνσης στα ύδατα επιφάνειας, ειδικά όταν έρχονται σε επαφή με μαλακά και όξινα ύδατα.



**Εικόνα 28** Παρουσία καδμίου σε βράχο, το γαλαζωπό χρώμα που φαίνεται στον βράχο δείχνει ότι υπάρχει κάποια ποσότητα χαλκού. ([www.mii.org](http://www.mii.org))

Άλλα μέταλλα, συμπεριλαμβανομένου του καδμίου, είναι αρκετά κινητά στο χώμα και γίνονται ακόμα πιο κινητά με τα μειωμένα επίπεδα pH. Το όξινο έδαφος επομένως περιλαμβάνει έναν κίνδυνο αυξανόμενης συγκέντρωσης καδμίου στα κοντινά ύδατα. Το κάδμιο στο χώμα μπορεί να υπάρξει με διαλυτή μορφή στο εδαφολογικό νερό ή στα αδιάλυτα συκροτήματα με τα συστατικά ανόργανου και οργανικού χώματος. Οι συγκεντρώσεις καδμίου στο χώμα τείνουν να είναι μεγαλύτερες όταν το pH του χώματος είναι χαμηλό. Οι αυξήσεις στα εδαφολογικά επίπεδα καδμίου έχουν προκύψει από τη λίπανση των δημοτικών λιπασμάτων ιλύος καθαρισμού λυμάτων και φωσφορικού άλατος, τα οποία αυξάνουν τις ανθρώπινες εκθέσεις στο κάδμιο από την συσσώρευση τροφικών αλυσίδων στα φυτά και στα ζώα.

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα είναι επίσης μια σημαντική φυσική πηγή απελευθέρωσης καδμίου στην ατμόσφαιρα, από τα αερολύματα που περιέχουν μόρια καδμίου. Τα αερομεταφερόμενα μόρια του καδμίου εγκαθίστανται πάνω στο έδαφος και στο νερό ως σκόνη. Αν και τα ύδατα επιφάνειας μπορούν να περιέχουν κάποιο διαλυμένο κάδμιο, οι συγκεντρώσεις τείνουν να είναι χαμηλές δεδομένου ότι το μέταλλο απορροφάται εύκολα από τους οργανισμούς που ζουν στα υδάτινα οικοσυστήματα. Η ηφαιστειακή δράση μεταφέρει το κάδμιο επάνω από τις χαμηλότερες περιοχές του γήινου φλοιού της γης στην επιφάνεια εδάφους και στην ατμόσφαιρα. Αυτή η περιεκτικότητα σε εδαφολογικό κάδμιο, εντούτοις, έχει μια πολύ περιορισμένη διαθεσιμότητα και δεν είναι σημαντική σε σύγκριση με άλλες πιο τεχνητές παροχές καδμίου. Οι δασικές πυρκαγιές έχουν επισημανθεί επίσης ως φυσική πηγή εκπομπών αερίων καδμίου.

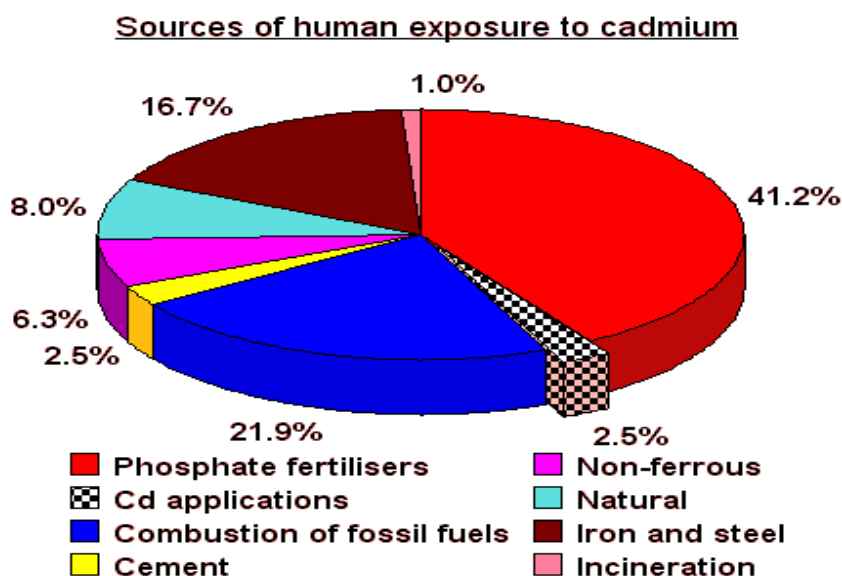
### 3.2.2 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ

Οι προκαλούμενες από τον άνθρωπο εκπομπές καδμίου προκύπτουν είτε από την κατασκευή, τη χρήση και τη διάθεση των προϊόντων που χρησιμοποιούν σκόπιμα το κάδμιο, είτε από την παρουσία καδμίου, ως φυσική αλλά μη λειτουργική ακαθαρσία στα προϊόντα. Στην προηγούμενη κατηγορία από την κατασκευή, τη χρήση και τη διάθεση καδμίου στα προϊόντα συμπεριλαμβάνεται:

- **Μπαταρίες νικελίου-καδμίου** .Οι ενώσεις καδμίου χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία μπαταριών.



- **Πλαστικά, κεραμική, γυαλιά, χρώματα και σμάλτα χρωματισμένα με κάδμιο.** Το οξικό άλας καδμίου χρησιμοποιείται στην κεραμική, στο κλωστοϋφαντουργικό προϊόν που βάφει, που τυπώνει και που επιμεταλλώνει με ηλεκτρόλυση. Το οξείδιο καδμίου χρησιμοποιείται στην ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση, στην κατασκευή των ηλεκτροδίων καδμίου, στους ημιαγωγούς και στο γυαλί . Το σουλφίδιο καδμίου είναι η ευρύτερα χρησιμοποιημένη ένωση καδμίου και χρησιμοποιείται πρώτιστα ως χρωστική ουσία όπως και το θειικό άλας. Τέλος, οι χρωστικές ουσίες καδμίου παράγουν τους έντονους χρωματισμούς όπως κίτρινο, πορτοκαλί, κόκκινο και είναι ευρέως γνωστές στα χρώματα, στα πλαστικά, στα γυαλιά, στην κεραμική και στα σμάλτα των καλλιτεχνών.

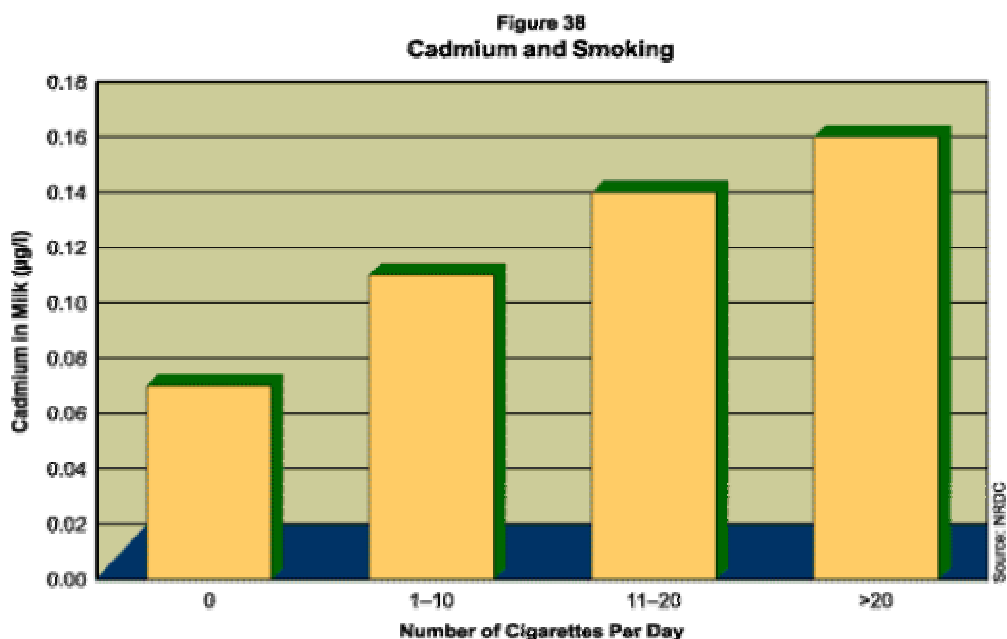


**Εικόνα 29** Το διάγραμμα παρουσιάζει την ανάλογη σημασία των διάφορων πηγών καδμίου στην ανθρώπινη έκθεση. Σαφώς δείχνει ότι το σύνολο όλων των εφαρμογών καδμίου αντιπροσωπεύει μια πολύ χαμηλή αναλογία, λιγότερο από 3%, των συνολικών πηγών καδμίου στην ανθρώπινη έκθεση. ([www.jamesmbrown.co.uk](http://www.jamesmbrown.co.uk))

- **Προϊόντα πολυβινυλικού χλωριδίου (PVC).** Οι ενώσεις καδμίου χρησιμοποιούνται ως σταθεροποιητές σε πολλά προϊόντα πολυβινυλικού χλωριδίου. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται το σουλφίδιο καδμίου (CdS) και το σουλφίδιο σεληνίου-καδμίου (CdSeS) .
- **Το κάδμιο έντυσε τα σιδηρούχα και μη σιδηρούχα προϊόντα.** Η κύρια χρήση του μετάλλου καδμίου είναι το επίστρωμα και η ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση των μετάλλων για να αποτρέψει τη διάβρωση. Το μεταλλικό κάδμιο χρησιμοποιείται για να ντύσει τον σίδηρο προκειμένου να βελτιωθεί η αντίσταση διάβρωσης του.
- **Κράματα καδμίου** στην αυτοκινητική βιομηχανία. Χρησιμοποιείται επίσης στα ελαστικά αυτοκινήτου. Το μέταλλο καδμίου που αναμιγνύεται με το χαλκό χρησιμοποιείται στην παραγωγή των αυτοκινητικών θερμαντικών σωμάτων.
- **Ηλεκτρονικές ενώσεις καδμίου.** Το χλωρίδιο καδμίου χρησιμοποιείται στην κατασκευή τμημάτων ηλεκτρονικής και στη φωτογραφία. Το βρωμίδιο καδμίου χρησιμοποιείται στη φωτογραφία, στη χάραξη και στη λιθογραφία. Το

σουλφίδιο καδμίου χρησιμοποιείται στη βιομηχανία ηλεκτρονικής για τα φωτοκύτταρα και στις διόδους φωτός.

- **Βενζίνη.** Η καύση των καυσίμων στις μηχανές (βενζίνη) των αυτοκινήτων, των φορτηγών και των αεροπλάνων οδηγούν στις εκπομπές καδμίου στον αέρα, στο έδαφος και στο νερό. Το κάδμιο είναι ένα συστατικό των καυσίμων diesel, της βενζίνης και του πετρελαίου.
- **Τρόφιμα.** Τα τρόφιμα που είναι πλούσια σε κάδμιο μπορούν πολύ να αυξήσουν τη συγκέντρωση καδμίου στους ανθρώπινους οργανισμούς. Τα παραδείγματα είναι συκώτι, μανιτάρια, οστρακόδερμα, μύδια, σκόνη κακάου και ξηρό φύκι. Η υψηλότερη συγκέντρωση του καδμίου μπορεί να εμφανιστεί στα ψάρια, στα οστρακόδερμα και στα όργανα όπως το συκώτι και τα νεφρά. Μόνο ένα μικρό ποσοστό του καδμίου, περίπου 6%, που λαμβάνεται με την εισαγωγή τροφίμων απορροφάται.
- **Ο καπνός τσιγάρων** περιέχει ένα μεγάλο ποσό καδμίου, ως εκ τούτου το κάπνισμα μπορεί να διπλασιάσει το ποσό που κερδίζεται ανά ημέρα. Στους ανθρώπους που καπνίζουν, τα τσιγάρα είναι η μέγιστη πηγή καδμίου. Το κάπνισμα ενός πακέτου 20 τσιγάρων μπορεί να οδηγήσει στην εισπνοή περίπου 2- 4  $\mu\text{g}$  του καδμίου, αλλά τα επίπεδα μπορούν να ποικίλουν ευρέως. Κάθε τσιγάρο που καπνίζεται συμβάλλει περίπου ένα έως δύο μικρογραμμάρια του καδμίου στο φορτίο σωμάτων και περίπου 10% του καδμίου σε ένα τσιγάρο που εισπνέετε. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, ο γενικός πληθυσμός εκτίθεται στο κάδμιο από την αναπνοή του καπνού τσιγάρων. Παγκοσμίως γίνεται αποδεκτό ότι το κάπνισμα κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης οδηγεί σε γέννηση νηπίων με μειωμένο βάρος και γενικά με ατέλειες γέννησης. Το κάδμιο είναι ακριβώς ένα από τα πολλά επιβλαβή στοιχεία που βρίσκονται στον καπνό τσιγάρων και προκαλεί τέτοια ζημία. Επίσης έχει αναφερθεί όμως ότι το κάδμιο στον καπνό τσιγάρων μπορεί να μειώσει τη μεταφορά του ψευδάργυρου στον ανθρώπινο πλακούντα.

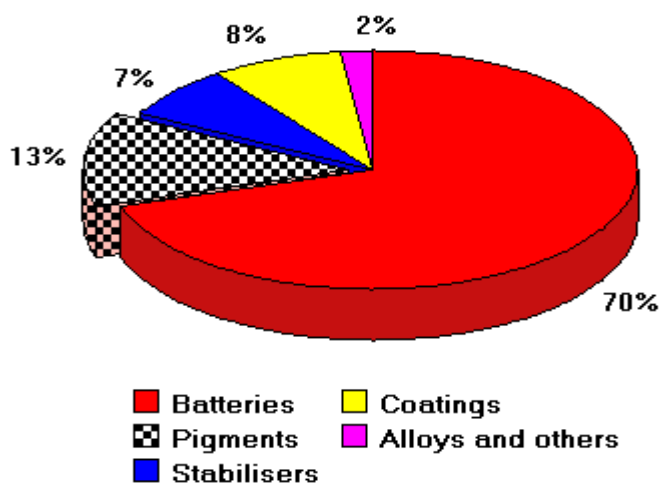


**Εικόνα 30** Συγκέντρωση καδμίου στα τσιγάρα ([www.corrosion-doctors.org](http://www.corrosion-doctors.org))

Στην τελευταία κατηγορία, το κάδμιο από τη φυσική αλλά μη λειτουργική ακαθαρσία που περιέχουν τα προϊόντα, συμπεριλαμβάνεται :

- **Μη - σιδηρούχα μέταλλα και κράματα του ψευδαργύρου, του μολύβδου και του χαλκού.** Το κάδμιο λαμβάνεται ως υποπροϊόν από την επεξεργασία του ψευδαργύρου, του χαλκού, του μολύβδου και των μεταλλευμάτων σιδήρου. Φυσικά, υπάρχει κυρίως ως σουλφίδιο ψευδαργύρου περιορισμένο στα ορυκτά αποθέματα. Ανακτάται ως υποπροϊόν από τις διαδικασίες οσμηνών των μετάλλων. Επομένως οι εγκαταστάσεις που μεταχειρίζονται αυτά τα μεταλλεύματα μπορεί να εκπέμπουν τις ενώσεις καδμίου στο περιβάλλον (κυρίως στο νερό).
- **Απολιθωμένα καύσιμα** (άνθρακας, πετρέλαιο, αέριο, τύρφη και ξύλο). Το κάψιμο των απολιθωμένων καυσίμων, όπως ο άνθρακας ή το πετρέλαιο, για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και η αποτέφρωση των δημοτικών αποβλήτων συμβάλλουν στην εκπομπή καδμίου στον αέρα. Οι πρόσφατες μελέτες έχουν καθορίσει ότι η αποτέφρωση αποτελεί περίπου μόνο το 1% των συνολικών πηγών ανθρώπινης έκθεσης καδμίου. Η ανθρώπινη έκθεση ως αποτέλεσμα της διάθεσης προϊόντων που περιέχουν κάδμιο από την αποτέφρωση, είναι ακόμα μικρότερη και θεωρείται γενικά ασήμαντη.

Western world cadmium consumption



**Εικόνα 31** Κατανάλωση καδμίου στον δυτικό κόσμο, 70% στις μπαταρίες, 13% στα χρώματα, 7% στους σταθεροποιητές, 8% ως επίστρωμα και 2% στα κράματα και άλλα. ([www.who.int](http://www.who.int))

- Ειδικότερα, το κάδμιο μπορεί να απελευθερωθεί στο πόσιμο νερό από τη διάβρωση μερικών **γαλβανισμένων υλικών σωλήνων υδραυλικών εγκαταστάσεων** νερού.
- **Καθαρισμός μετάλλων.** Το κάδμιο παράγεται ως αναπόφευκτο υποπροϊόν του καθαρισμού ψευδαργύρου (ή περιστασιακά μολύβδου), δεδομένου ότι αυτά τα μέταλλα εμφανίζονται φυσικά μέσα στο ακατέργαστο μέταλλο. Εντούτοις, μόλις συλλεχθεί το κάδμιο είναι σχετικά εύκολο να ανακυκλωθεί.
- **Λιπάσματα και φυτοφάρμακα.** Η λίπανση λιπάσματος παρέχει ένα μεγάλο ποσοστό του καδμίου στα χώματα. Είναι ιλύς καθαρισμού λυμάτων που είναι

ένας από τους πιο επικρατούντες τύπους λιπασμάτων στην μεταφορά καδμίου. Το ανθρακικό άλας καδμίου και το χλωρίδιο καδμίου έχουν χρησιμοποιηθεί ως μυκητοκτόνα και το φωσφορικό άλας στα λιπάσματα.

Η σχετική χρήση καδμίου το **1991** υπολογίστηκε ως 45% για τις μπαταρίες, 20% για το επίστρωμα και την επένδυση, 16% για τις χρωστικές ουσίες, 12% για τα πλαστικά και συνθετικά προϊόντα, και 7% για τα κράματα και άλλα προϊόντα μετάλλων. Από το **1988 ως το 1991**, η σχετική κατανάλωση καδμίου αύξησε περίπου 5% ετησίως για τις μπαταρίες, που μειώθηκε περίπου 10% για το επίστρωμα και την επένδυση, παρέμεινε σε περίπου 15% για τις χρωστικές ουσίες, παρέμεινε σε έναν μέσο όρο 12% για τα πλαστικά και συνθετικά προϊόντα, και παρέμεινε σε έναν μέσο όρο 9% για τα κράματα. Μέχρι το **1997**, όλα τα φυτοφάρμακα καδμίου είχαν υποβληθεί στην εθελοντική ακύρωση (Natural Resources Defense Council).

### 3.3 ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΑΣΘΕΝΕΙΑΣ

Οι ενώσεις καδμίου είναι ταξινομημένες ως τοξικές με έναν πιθανό κίνδυνο αμετάκλητων αποτελεσμάτων στην ανθρώπινη υγεία. Λόγω της μακροχρόνιας ημιζωής (30 έτη), το κάδμιο μπορεί εύκολα να συσσωρευτεί στο ανθρώπινο σώμα στα ποσά που προκαλούν τα συμπτώματα της δηλητηρίασης.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα δηλητηρίασεως από το κάδμιο συνέβη στην Ιαπωνία το 1961. Τότε παρουσιάστηκε η ασθένεια γνωστή ως "itai-itai" συνέπεια της οποίας τα κόκαλα συστέλλονται και συντρίβονται. Αιτία ήταν ένα ορυχείο εκμετάλλευσης Zn (το cd συνοδεύει σχεδόν πάντα τον zn στα ορυκτά του), το οποίο βρισκόταν κοντά στον ποταμό Jintsu τα νερά του οποίου οι κάτοικοι τα χρησιμοποιούσαν για την άρδευση φυτειών ρυζιού. Τούτο είχε σαν αποτέλεσμα το θάνατο 100 περίπου ανθρώπων μέχρι το τέλος του 1965 στην περιοχή. Το κάδμιο αποτελεί και ισχυρό μεταλλαξιογόνο παράγοντα. Μελέτες που έγιναν στην Ιαπωνία στα χρωμοσώματα ασθενών από τη νόσο "itai-itai" έδειξαν ότι περισσότερο από το 30% των κυττάρων είχαν χρωμοσωμικές μεταλλάξεις ενώ συνήθως τέτοιες ανωμαλίες παρατηρούνται σε λιγότερο του 0,5% των κυττάρων σε υγιείς άτομα.

Το κάδμιο μεταφέρεται στο αίμα από την αιμογλοβίνη, καθώς επίσης και από τη λευκωματίνη και άλλες μεγάλες πρωτεΐνες μοριακού βάρους. Η χαμηλή έκθεση καδμίου, λόγω των μέτριων επαγγελματικών παραγόντων, έχει επιπτώσεις κυρίως στο αίμα στους τελευταίους δύο έως τρεις μήνες μετά από την έκθεση καδμίου. Οι συγκεντρώσεις καδμίου σε ολόκληρο το αίμα επηρεάζονται και από την πρόσφατη έκθεση και από το φορτίο σωμάτων. Τα νεογνά έχουν μια πολύ χαμηλότερη περιεκτικότητα καδμίου συνήθως λιγότερο από 1mg στο σώμα. Τα επίπεδα καδμίου στο αίμα υπολογίζονται κατά μέσο όρο 0,4 έως 1 μg/l στους μη καπνιστές και μη εκτεθειμένους ενηλίκους. Τα επίπεδα του στους καπνιστές είναι πιο υψηλά 1,4 έως 4,5 μg/l (World health organization).

Το εισπνεόμενο κάδμιο απορροφάται αρκετά καλά μέσω της αναπνευστικής οδού (> 40%) και περίπου 15% του εισπνεόμενου καδμίου απορροφώνται από το σώμα, ενώ 5 έως 8% απορροφώνται από το γαστροεντερικό κομμάτι μετά από την κατάποση καδμίου. Η ημιζωή για το κάδμιο στο σώμα είναι περίπου τριάντα ημέρες, με το μεγαλύτερο μέρος της υπερβολικής συσσώρευσης καδμίου 50% στο συκώτι και στα νεφρά. Το κάδμιο εκκρίνεται πρώτιστα στα ούρα (Mc Graw-Hill).

Το κάδμιο μπορεί επίσης να έχει τα δυσμενή αποτελέσματα επειδή ανταγωνίζεται με τον ψευδάργυρο για ορισμένες ενζυματικές διαβάσεις. Αυτό επιδεινώνεται από το γεγονός ότι περισσότερα από 70 ανθρώπινα ενζυμικά συστήματα εξαρτώνται από τον ψευδάργυρο για τις λειτουργίες τους. Η βιολογική ημιζωή του καδμίου στο ανθρώπινο σώμα είναι μεταξύ 15 και 25 ετών. Το κάδμιο παρουσιάζει έναν κίνδυνο στο περιβάλλον λόγω της οξείας και χρόνιας δηλητηρίασης του.

**Η οξεία δηλητηρίαση** μπορεί να προκύψει από την κατάποση ή από την εισπνοή υψηλού επιπέδου της σκόνης καδμίου και των καπνών, ειδικά οξειδίου καδμίου, για σχετικά μικρές χρονικές περιόδους. Τέτοιες δηλητηριάσεις είναι σχετικά σπάνιες αλλά επικίνδυνες. Τα συμπτώματά του αναπτύσσονται συνήθως μέσα σε 4 έως 12 ώρες μετά από την έκθεση και χαρακτηρίζονται από:

- **Πυρετό.** Οι εκθέσεις στον καπνό καδμίου μπορούν να προκαλέσουν έναν τύπο πυρετού - καπνών μετάλλων.
- **Οξέα αναπνευστικά αποτελέσματα.** Η έκθεση στις υψηλές συγκεντρώσεις του καδμίου από την εισπνοή θα προκαλέσει την αυστηρή ζημία στους πνεύμονες και στη συνέχεια, μπορεί να οδηγήσει στο θάνατο. Η παρατεταμένη εισπνοή του οξειδίου καδμίου μπορεί να οδηγήσει στη δυσλειτουργία και το εμφύσημα πνευμόνων. Η υπερέκθεση στον καπνό καδμίου μπορεί να προκαλέσει την βρογχίτιδα (ανάφλεξη στην τραχεία και τους βρογχικούς σωλήνες), την πνευμονίτιδα (ανάφλεξη των πνευμόνων) και το πνευμονικό οίδημα (συσσώρευση του ρευστού στους πνεύμονες).
- **Γαστροεντερικά αποτελέσματα.** Η κατάποση του καδμίου στα τρόφιμα και το πόσιμο νερό μπορεί να συνδεθεί με τους κοιλιακούς πόνους και την ενόχληση στομάχου, που οδηγούν στον εμετό και στην διάρροια.
- Άλλα σημάδια και συμπτώματα περιλαμβάνουν την απώλεια βάρους, την απομακρυσμένη νευροπάθεια, την ανοσμία και τον κίτρινο αποχρωματισμό του σμάλτου.

**Η χρόνια δηλητηρίαση** μπορεί να προκύψει από την έκθεση στο κάδμιο κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης περιόδου σε μικρά ποσά καδμίου μέσω των τροφίμων, του νερού ή του αέρα και μπορεί να προκαλέσει:

- **Τα χρόνια πνευμονικά αποτελέσματα:**
  1. Χρόνια παρεμποδιστική πάθηση πνευμόνων (εμφύσημα και χρόνια βρογχίτιδα).
  2. Πνευμονική ίωση.
  3. Οσφρητική εξασθένιση (απώλεια μιας αίσθησης της μυρωδιάς).
- **Αποτελέσματα νεφρών.** Περίπου η μισή ποσότητα του καδμίου που απορροφάται από το σώμα αποθηκεύεται στα νεφρά όπου παράγει τις δομικές και λειτουργικές αλλαγές. Η μακροπρόθεσμη έκθεση στο κάδμιο μπορεί επίσης να βλάψει τη μεμβράνη του νεφρού(χρόνια νεφρική αποτυχία, πέτρες νεφρών).
- **Osteomalacia.** Είναι ένας όρος της ελαττωματικής μεταλλοποίησης του κόκαλου, που χαρακτηρίζεται από τους πόνους, τη χαλάρωση και την κάμψη του κόκαλου με συνέπεια τις σκελετικές παραμορφώσεις, τα αυθόρμητα σπασίματα και το χαμηλό ασβέστιο.

- **Οστεοπόρωση.** Η οστεοπόρωση περιλαμβάνει τη μείωση της μάζας κοκάλων που υπερβαίνει αυτήν που εμφανίζεται φυσικά με τη γήρανση. Μπορεί να οδηγήσει στα σπασίματα κοκάλων.
- **Καρκίνος.** Το κάδμιο προκαλεί την καρκινογένεση στους ανθρώπους. Τα στοιχεία είναι ισχυρότερα για τον καρκίνο πνευμόνων. Σε διάφορες μελέτες ομάδων των εργαζομένων που εκτίθενται στις διάφορες ενώσεις καδμίου, παρατηρήθηκε ο αυξανόμενος κίνδυνος θνησιμότητας από:
  1. Πνευμονικό καρκίνο.
  2. Καρκίνο του προστάτη.
  3. Καρκίνο της ουροδόχου κύστης.
  4. Άλλοι καρκίνοι. Οι όγκοι του νεφρού έχουν συνδεθεί με την έκθεση καδμίου σε μια μελέτη. Το κάδμιο επίσης πρόσφατα έχει συνδεθεί με τον καρκίνο στομάχου. Στις μέρες μας, μια σημαντική δημόσια ανησυχία είναι η ένωση μεταξύ της εξαιρετικά υψηλής περιβαλλοντικής έκθεσης στο κάδμιο και του καρκίνου πνευμόνων. Οι πρώτες και πρόσφατες μελέτες παρέχουν τα συνεπή στοιχεία ότι ο κίνδυνος καρκίνου πνευμόνων αυξάνεται μεταξύ των εργαζομένων που εκτίθενται στο κάδμιο.
- **Ψυχολογικές αναταραχές.** Το κάδμιο συνδέεται ιδιαίτερα με τις διαταραχές συμπεριφοράς συμπεριλαμβανομένης της υπερκινητικής συμπεριφοράς, της αντικοινωνικής συμπεριφοράς και της βίας.
- **Ζημιά στο DNA.** Οι αυξήσεις στις χρωμοσωματικές μεταλλάξεις έχουν παρατηρηθεί στα λεμφοκύτταρα. Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι οι ενώσεις καδμίου βλάπτουν το γενετικό υλικό. Τα σπασίματα σκελών DNA, οι μεταλλαγές, η χρωμοσωμική ζημιά, οι μετασχηματισμοί κυττάρων, και η αναστατωμένη επισκευή DNA.
- **Ζημιά αίματος.** Ήπια αναιμία και πίεση του αίματος.
- **Ζημιά στο αναπαραγωγικό σύστημα.** Στις ωοθήκες και στην ορχική ατροφία, που οδηγούν στη στειρότητα. Επίσης μπορεί να προκαλέσει την εμβρυϊκή αναιμία, την καθυστέρηση αύξησης, την τερατογένεση και τον εμβρυϊκό θάνατο.
- **Ζημιά στο ανοσοποιητικό σύστημα,** στις καρδιαγγειακές παθήσεις, στο συκώτι, αρθρίτιδα, διαβήτη, πάγκρεας και στο θυρεοειδή των ανθρώπων.

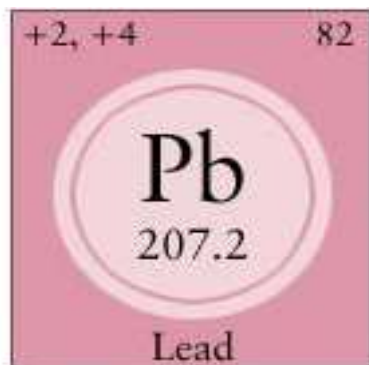
### 3.3.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΘΝΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ ΚΑΔΜΙΟΥ

Μετά από την έκθεση σε οποιαδήποτε επικίνδυνη χημική ουσία, οι δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία που μπορεί να αντιμετωπίσετε εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του ποσού στο οποίο εκτίθεστε (δόση), στη διάρκεια της έκθεσης, στον τρόπο που εκτίθεστε, στη μορφή καδμίου και εάν εκτεθήκατε σε οποιοσδήποτε χημικές ουσίες.

Τα παιδιά είναι ο πιο ευαίσθητος πληθυσμός για τη μόλυνση βαρέων μετάλλων, επειδή τα στομάχια τους είναι περισσότερο όξινα από των ενηλίκων (που απορροφούν έτσι περισσότερο βαρύ μέταλλο, αναλογικά), και οι αυξανόμενοι οργανισμοί και τα νευρικά τους συστήματα είναι πιο ευαίσθητα στα μέταλλα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΜΟΛΥΒΔΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

### 4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΜΟΛΥΒΔΟΥ



Ο μόλυβδος είναι ένα στοιχείο, μια από τις βασικές χημικές δομικές μονάδες που βρίσκονται στη φύση, με ατομικό αριθμό 82 και ατομική μάζα  $207,2 \text{ g.mol}^{-1}$ . Ο μόλυβδος είναι από τα πρώτα μέταλλα που ανακαλύφθηκε από την ανθρώπινη φυλή και χρησιμοποιήθηκε από το 3000 Π.Χ από τους αρχαίους Ρωμαίους για πολλούς χρήσιμους λόγους. Ο μόλυβδος είναι ένα γαλαζωπό-άσπρο λαμπερό μέταλλο. Είναι πολύ μαλακό, ιδιαίτερα ελατό, όλκιμο, βαρύ, πυκνό, ανόργανο μέταλλο και ένας σχετικά φτωχός αγωγός της ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι πολύ ανθεκτικό στη διάβρωση αλλά αμαυρώνεται και

οξειδώνεται στην έκθεση του αέρα. Ο μόλυβδος, ένα ιδιαίτερα τοξικό μέταλλο, μπορεί να είναι παρών στο πόσιμο νερό. Ο μόλυβδος είναι το βαρύτερο και το μαλακότερο από τα κοινά μέταλλα. Η μαλακότητα τον καθιστά εύκολο στην διαμόρφωση σε διάφορες μορφές.

Ο μόλυβδος λιώνει επίσης σε χαμηλότερη θερμοκρασία, 327 βαθμούς Κελσίου ή 621 βαθμούς Φαρενάιτ, από τα περισσότερα κοινά μέταλλα. Το σημείο βρασμού του μολύβδου είναι 1.620 βαθμούς Κελσίου με μια συγκεκριμένη πυκνότητα,  $11.34 \text{ g/cm}^3$ . Ο μόλυβδος υπάρχει ως τέσσερα σταθερά ισότοπα, και τουλάχιστον 26 ασταθή ισότοπα. Ο συνηθισμένος μόλυβδος είναι ένα μίγμα τεσσάρων σταθερών ισωτόπων ή μορφές μολύβδου που έχουν τους μαζικούς αριθμούς 204 ..206 ..207 και 208. Περισσότερα από 20 άλλα ισότοπα, με τους μαζικούς αριθμούς επάνω από 194, είναι ραδιενεργά. Διαμορφώνονται κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης των στοιχείων όπως το ουράνιο, το θόριο και το ακτίνιο.



Εικόνα 32 Ο μόλυβδος σε μορφή μετάλλου([www.galleries.com](http://www.galleries.com))

Η αρχική φυσική πηγή μολύβδου είναι το ορυκτό γαλένα (σουλφίδιο μολύβδου). Στη φύση, ο μόλυβδος συνδέεται συνήθως με άλλα μέταλλα όπως το θείο, τον ψευδάργυρο, το ασήμι, τον χαλκό και μερικές φορές με τον χρυσό για να διαμορφώσει τα κράματα και άλλες ουσίες και να δημιουργήσει ποικίλες ενώσεις. Σε διάφορους συνδυασμούς, αυτά τα στοιχεία διαμορφώνουν τα μεταλλεύματα όπως ο

πυρίτης, ο χαλαζίας και η βαρυτίνη. Η διαλυτότητα αυτών των μεταλλευμάτων και επίσης των οξειδίων μολύβδου και άλλων ανόργανων αλάτων είναι χαμηλή.

Εμφανίζεται επίσης ως ανθρακικό άλας, ως θειικό άλας και με διάφορες άλλες μορφές. Το βασικό ανθρακικό άλας μολύβδου (άσπρο) και το χρωμικό άλας μολύβδου (κίτρινο) είναι χρωστικές ουσίες στα χρώματα. Οι χρήσιμες ενώσεις μολύβδου περιλαμβάνουν το μονοξείδιο μολύβδου. Αυτή η ουσία αποτελεί ένα μεγάλο μέρος του λαμπιρού γυαλιού αποκαλούμενου τσακμακόπετρα ή του κρυστάλλου, με τα οποία διαμορφώνονται τα βάζα, τα κύπελλα, τα γυαλιά, και οι φακοί. Ένα άλλο οξείδιο του μολύβδου, το μίνιο ή ο κόκκινος μολύβδος, χρησιμοποιείται στα χρώματα που προστατεύουν το σίδηρο και το χάλυβα από την οξείδωση. Το οξείδιο μολύβδου, που εκρήγνυται εύκολα από ένα ηλεκτρικά θερμασμένο καλώδιο, χρησιμοποιείται στην ανατίναξη.



**Εικόνα 18** Η μορφή του μολύβδου ως ανθρακικό άλας μολύβδου.([www.galleries.com](http://www.galleries.com))



**Εικόνα 19** Η μορφή του μολύβδου ως χρωμικό άλας μολύβδου.([www.galleries.com](http://www.galleries.com))

Ο μόλυβδος είναι ένα από τα τέσσερα μέταλλα που έχουν τα πιο καταστρεπτικά αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία. Ακόμη και οι μικρές δόσεις θα συσσωρεύσουν στο σώμα και θα προκαλέσουν τελικά την ασθένεια νεφρών, την παράλυση, την αναιμία, και τη ζημία εγκεφάλου. Εάν το ποσό μολύβδου στο σώμα γίνεται αρκετά μεγάλο, η δηλητηρίαση θα είναι μοιραία. Όλες οι ενώσεις μολύβδου είναι δηλητηριώδεις.

Μπορεί να εισαχθεί στο ανθρώπινο σώμα μέσω της λήψης των τροφίμων (65%), του νερού(20%) και του αέρα (15%) (Environment Protection Agency). Επειδή ο μόλυβδος στο νερό είναι άγευστος και άχρωμος ο μόνος τρόπος να καθοριστεί το ποσό μολύβδου στο νερό είναι μέσω της χημικής ανάλυσης. Το επίπεδο που θεωρείται προστατευτικό για την υδρόβια ζωή είναι λιγότερο από 0,003 mg/L, το πόσιμο νερό πρέπει να περιέχει λιγότερο από 0,015 mg/L (McGraw-Hill0. Ένα γνωστό παράδειγμα μιας υδροδιαλυτής ένωσης μολύβδου είναι η ζάχαρη μολύβδου (lead acetate), η οποία άντλησε το όνομά της από τη γλυκιά φύση της. Ο μόλυβδος δεσμεύει συχνά στο θείο με μορφή σουλφιδίου ή στο φώσφορο με μορφή φωσφορικού άλατος. Με αυτές τις μορφές ο μόλυβδος είναι εξαιρετικά αδιάλυτος και ακίνητος στο περιβάλλον. Το ποσό μολύβδου που διαλύεται στο νερό εξαρτάται από τους παράγοντες όπως:η θερμοκρασία, το pH του ύδατος, το ποσό και το μήκος των



σωλήνων μολύβδου στο σύστημα και πόσο καιρό το νερό έχει μείνει στους σωλήνες. Οι ενώσεις μολύβδου είναι γενικά διαλυτές, στο μαλακό ελαφρώς όξινο νερό απ' ότι σκληρό νερό και στο θερμό νερό απ' ότι στο κρύο νερό.

## 4.2 ΠΗΓΕΣ ΜΟΛΥΒΔΟΥ

Ο μόλυβδος διανέμεται στο περιβάλλον μέσω των φυσικών και ανθρωπογενών πηγών. Σήμερα, οι μέγιστες συνεισφορές του μολύβδου στο περιβάλλον προέρχονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Ο μόλυβδος μπορεί να είναι στον αέρα, στο χώμα και στο νερό. Ορισμένες δραστηριότητες μπορούν να προκαλέσουν τη σοβαρή μόλυνση του περιβάλλοντος. Ο μόλυβδος είναι μια ιδιαίτερα επικίνδυνη χημική ουσία, δεδομένου ότι μπορεί να συσσωρευτεί στους μεμονωμένους οργανισμούς, αλλά και στις τροφικές αλυσίδες. Οι συγκεντρώσεις του μολύβδου στο περιβάλλον αυξήθηκαν σημαντικά μετά από τη βιομηχανική επανάσταση, μετά από την εισαγωγή των πρόσθετων ουσιών μολύβδου στην αυτοκινητική βενζίνη.

Οι πηγές έκθεσης μολύβδου περιλαμβάνουν: μόλυβδο-βασισμένο στο χρώμα, μόλυβδο στον αέρα, μόλυβδο στο χώμα, βιομηχανία μολύβδου, μόλυβδο στα καταναλωτικά προϊόντα και τα τρόφιμα και μόλυβδο στο νερό. Ο μόλυβδος μπορεί να εισαχθεί στο πόσιμο νερό με δύο τρόπους:

1) Από την ύπαρξη μολύβδου στην πηγή νερού, όπως η προέλευση από τη μολυσμένη απορροή ή τη ρύπανση των υδάτων.

2) Μέσω μιας αλληλεπίδρασης μεταξύ των ουσιών ύδατος και των υλικών στις υδραυλικές εγκαταστάσεις που περιέχουν τον μόλυβδο, μέσω της διάβρωσης.

Οι σημαντικές πηγές έκθεσης μολύβδου περιλαμβάνουν: τον αέρα, το χώμα, τη σκόνη (και μέσα και έξω από το σπίτι), τα τρόφιμα (που μπορούν να μολυνθούν από το μόλυβδο στον αέρα ή στα εμπορευματοκιβώτια τροφίμων), και το νερό (από τη διάβρωση της υδραυλικής εγκατάστασης).

Ο μόλυβδος εκκρίνεται από το σώμα μέσω των ούρων, του ιδρώτα, της τρίχας και των νυχιών των δαχτύλων. Δεδομένου ότι ο μόλυβδος είναι βαρύτερος από το σίδηρο ή τον ορείχαλκο, χρησιμοποιείται για την παραγωγή των βαριών προϊόντων που δεν πρέπει να είναι πάρα πολύ ογκώδη.

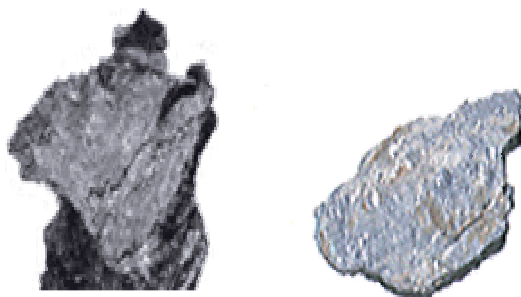
Σήμερα, σχεδόν 100% όλων των σπιτιών χτίζονται με τα υλικά ορείχαλκου, τα οποία περιέχουν ένα ποσό μολύβδου. Το περιεχόμενο μολύβδου όλων των τμημάτων ορείχαλκου έχει περιοριστεί σε 8% (Natural Resources Defense Council). Ακόμα, ακόμα κι αν τα επίπεδα μπορούν να περιοριστούν, ο μόλυβδος μπορεί να διαρρεύσει από το νερό, δημιουργώντας κίνδυνο για τους καταναλωτές.

Οι οθόνες για να προστατεύσουν τους ανθρώπους από τις ακτίνες χ, τις ακτίνες γ και τα ραδιενεργά υλικά γίνονται από το μόλυβδο επειδή απορροφά την ακτινοβολία. Για αυτόν τον λόγο ο μόλυβδος χρησιμοποιείται ως προστατευτική ασπίδα γύρω από τους πυρηνικούς αντιδραστήρες και τους επιταχυντές μορίων.

### 4.2.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Ο μόλυβδος εμφανίζεται φυσικά στο περιβάλλον και εξάγεται από τους βράχους και το χώμα. Η αφθονότερη πηγή, μολύβδου είναι το ορυκτό γαλένα, ή σουλφίδιο μολύβδου που βρίσκεται συνήθως στις φλέβες μαζί με άλλα μεταλλεύματα όπως ο χαλαζίας, η βαρυτίνη και περιστασιακά το ασήμι και από έναν συνδυασμό μολύβδου

και θείου που βρίσκεται μερικές φορές στον ασβεστόλιθο. Ο μόλυβδος λαμβάνεται με τη συντριβή του ορυκτού πετρώματος σε μικρά κομμάτια για να επιλεχτεί το γαλένα.



**Εικόνα 20** Η μορφή του μολύβδου ως ορυκτό γαλένα. ([www.geology.neab.net](http://www.geology.neab.net))

Τα περισσότερα μεταλλεύματα μολύβδου περιέχουν τον ψευδάργυρο, τον χρυσό, το ασήμι ή άλλα μέταλλα. Το μέταλλευμα κονιοποιείται αρχικά και το μέταλλο (μόλυβδος) χωρίζεται από το πέτρωμα με τη διαδικασία επίπλευσης, δηλαδή, αναμιγνύεται με το νερό και με ορισμένα έλαια και χημικές ουσίες. Τα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα προέρχονται συχνά από τους ψαμμίτες και από τους σχιστόλιθους βράχους που παράγουν φυσικά το σχετικά όξινο και μαλακό νερό. Οι κοινές εξαιρέσεις είναι παροχές νερού στις κοιλάδες ασβεστόλιθων. Εδώ η αλληλεπίδραση με τον ασβεστόλιθο παράγει το λιγότερο όξινο νερό που είναι υψηλότερο στο ανθρακικό άλας ασβεστίου.

Ο μόλυβδος στο χώμα μπορεί να προέλθει από τον αέρα ή από τη διάβρωση των βράχων που περιέχουν μόλυβδο και μπορεί να μεταφερθεί στο εσωτερικό ως σκόνη. Η σκόνη και το χώμα είναι σημαντικές πηγές έκθεσης μολύβδου, ειδικά για τα μικρά παιδιά.

#### **4.2.2 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ**

Ο μόλυβδος εμφανίζεται από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες στο περιβάλλον εξαιτίας της βιομηχανικής χρήσης και των βιομηχανικών εκπομπών.

Ο μόλυβδος εισάγεται στο πόσιμο νερό πρώτιστα ως αποτέλεσμα της διάβρωσης ή φθοράς των υλικών που περιέχουν το μόλυβδο στην **υδραυλική εγκατάσταση** συστημάτων διανομής ύδατος. Αυτά τα υλικά περιλαμβάνουν τον μόλυβδο ως ύλη συγκολλησεως που χρησιμοποιείται για να ενώσει το σωλήνα χαλκού, τον ορείχαλκο και τις χρώμιο-καλυμμένες στρόφιγγες ορείχαλκου και σε μερικές περιπτώσεις, σωλήνες φτιαγμένοι από μόλυβδο που συνδέονται με τον κεντρικό αγωγό ύδατος. Οι στρόφιγγες και οι συναρμολογήσεις υδραυλικών εγκαταστάσεων μπορεί νόμιμα να περιέχουν μέχρι 8%.

Όταν το νερό είναι αρκετά όξινο ή είναι ιδιαίτερα μαλακό και μένει στους σωλήνες μολύβδου ή στα συστήματα υδραυλικών εγκαταστάσεων που περιέχουν το μόλυβδο για αρκετές ώρες ο μόλυβδος αντιδρά με το νερό και διαλύεται. Ο μόλυβδος στο νερό απορροφάται πληρέστερα από το ανθρώπινο σώμα απ' ότι στην διατροφή. Σε μερικές περιοχές της Αγγλίας και της Αμερικής, που έχουν μαλακό νερό και δίκτυα με παλιές σωληνώσεις μολύβδου, προσθέτουν φωσφορικά στις παροχές νερού με σκοπό το σχηματισμό ενός παρόμοιου προστατευτικού στρώματος στο εσωτερικό των σωληνών για την μείωση των επιπέδων μολύβδου.

**Βενζίνη.** Ως γνωστό από τις αρχές τις δεκαετίας του 20 προστίθενται στην βενζίνη ενώσεις μολύβδου (κυρίως τετρααιθυλούχος μόλυβδος) ως αντικροτικό. Τα καυσαέρια ενός επιβατικού αυτοκινήτου, όταν είναι σταματημένο, περιέχουν  $10 \text{ mg/m}^3$ , ενώ όταν κινείται με  $48 \text{ km/h}$  περιέχουν  $10 \text{ mg/m}^3$ , ενώ όταν κινείται με  $80 \text{ km/h}$  περιέχουν  $3,9 \text{ mg/m}^3$  μόλυβδο και με ταχύτητα  $80 \text{ km/h}$  περιέχουν  $6.8 \text{ mg/m}^3$  (Ιωάννα Ηλιοπούλου-Γεωργουδάκη, Πανεπιστήμιο Πάτρας). Λόγω της εφαρμογής του μολύβδου στη βενζίνη ένας αφύσικος κύκλος μολύβδου έχει αποτελεστεί. Στις μηχανές αυτοκινήτων ο μόλυβδος καίγεται και δημιουργούνται άλατα μολύβδου. Αυτά τα άλατα μολύβδου εισέρχονται στο περιβάλλον μέσω των εξατμίσεων των αυτοκινήτων. Τα μεγαλύτερα μόρια θα διαλυθούν στο έδαφος αμέσως και θα μολύνουν τα χώματα ή τα ύδατα επιφάνειας, τα μικρότερα μόρια θα ταξιδέψουν σε μεγάλες αποστάσεις μέσω του αέρα και θα παραμείνουν στην ατμόσφαιρα. Μέρος αυτού του μολύβδου θα μεταφερθεί στο έδαφος με την βροχή. Το ποσό μολύβδου στο περιβάλλον αυξήθηκε κατά τη διάρκεια της βιομηχανικής επανάστασης και πάλι σημαντικά στη δεκαετία του '20 με την εισαγωγή της μολυβδούχου βενζίνης. Η μολυβδούχος βενζίνη, που αντικαθίσταται κατά ένα μεγάλο μέρος από τα αμόλυβδα μίγματα από τη δεκαετία του '70, έχει προκαλέσει τη μόλυνση μολύβδου.

**Κονσερβοποιημένα τρόφιμα.** Ο μόλυβδος δεν αντιδρά από μόνος του με αραιά οξέα. Μια ποσότητα όμως μολύβδου σε κράμα συγκόλλησης που χρησιμοποιείται στην κατασκευή των δοχείων (κονσερβοποιημένα τρόφιμα) διαλυτοποιείται στο αραιό οξύ των φρουτοχυμών και άλλων όξινων τροφίμων. Αν υπάρχει παρουσία αέρα, δηλαδή από τη στιγμή που θα ανοιχθεί η κονσέρβα, ο μόλυβδος οξειδώνεται από το οξυγόνο σε όξινες συνθήκες. Ο παραγόμενος μόλυβδος ρυπαίνει το περιεχόμενο της κονσέρβας.

**Μεταλλεία.** Η μόλυνση της πηγής ύδατος είναι σπάνια, αλλά μπορεί να εμφανιστεί στις περιοχές όπου ο μόλυβδος εξάγεται ή χρησιμοποιείται για να τήξει άλλα μέταλλα. Η διαδικασία τήξης ήταν γνωστή ως οσμηρός. Με τις αερομεταφερόμενες εκπομπές, όπως οι αποτεφρωτήρες, οι χύτες και άλλες βιομηχανίες είναι μια κοινή αιτία της διάβρωσης.

**Καύση στερεών αποβλήτων.** Μόρια μολύβδου απελευθερώνονται όταν καίγονται τα πετρελαιοειδή απόβλητα.

**Χρώμα.** Διάφορα άλατα του μολύβδου έχουν χρησιμοποιηθεί ως χρωστικές ουσίες για πάρα πολλά χρόνια γιατί δίνουν σταθερά, λαμπερά χρώματα. Ο μόλυβδος εμφανίζεται φυσικά στο περιβάλλον και έχει πολλές βιομηχανικές χρήσεις.

**Άλλες πηγές έκθεσης μολύβδου.** Μολυβδούχα καλύμματα μπουκαλιών κρασιού, ορισμένα μελάνια, αυτόματα περιβλήματα αποθήκευσης μπαταριών, τα κεριά περιέχουν μόλυβδο στα φυτίλια και με την καύση αυτός απελευθερώνεται, μέρη οχημάτων όπως οι μπαταρίες και τα θερμαντικά σώματα, τύλιγμα καλωδίων τηλεφώνων και τηλεόρασης, πυρομαχικά, τα λιπάσματα, εντομοκτόνα, φυτοφάρμακα, καπνός τσιγάρου.

Ο οργανικός μόλυβδος εφαρμόζεται στην παραγωγή πετρελαίου και στην παραγωγή μπαταριών και χρωμάτων.

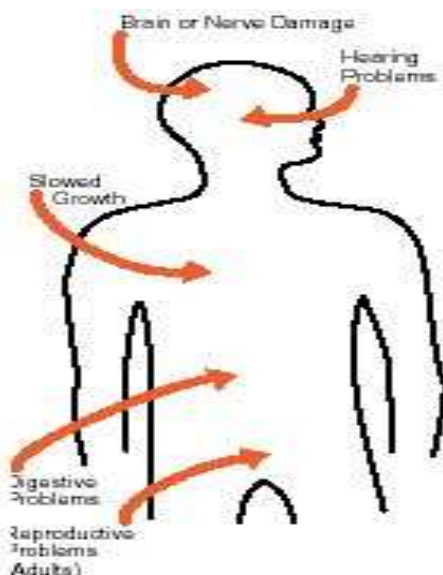
Έχουν παρουσιαστεί, επίσης, περιστατικά σοβαρής δηλητηρίασης από μόλυβδο ανάμεσα σε ανθρώπους που καταναλώνουν ουίσκι που παράγεται παράνομα το οποίο συχνά υφίσταται επεξεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες σε συσκευές που περιέχουν κράμα μολύβδου. Μια άλλη παλαιότερη πηγή μολύβδου ήταν η χρήση των εντομοκτόνων που κατασκευάζονταν από μόλυβδο.

### 4.3 ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΑΣΘΕΝΕΙΑΣ

Ο μόλυβδος μπορεί να θέσει έναν σημαντικό κίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου εάν συσσωρευτεί στο σώμα του. Πρώτιστα απορροφείται μέσω των πνευμόνων και του στομαχίου. Τα μόρια μολύβδου περνούν μέσω της αναπνευστικής οδού και τέλος επάνω στους πνεύμονες, όπου υποβάλλονται σε επεξεργασία μαζί με το οξυγόνο, επιτρέποντας να εισαχθεί εύκολα με την κυκλοφορία του αίματος.

Αυτό το τοξικό υλικό εισάγεται με την κυκλοφορία του αίματος σ' όλο το σώμα, στα ζωτικής σημασίας κύτταρα (όπως εκείνοι στο μυελό των οστών, τα νεφρά, και τον εγκέφαλο) όπου παρεμποδίζει το ένζυμο που είναι απαραίτητο για την κανονική λειτουργία των οργάνων. Η τοξικότητα του μολύβδου είναι ανάλογη με την ποσότητα του στους μαλακούς ιστούς και όχι μ' αυτή στο αίμα ή στα κόκαλα. Ο μόλυβδος παραμένει στο ανθρώπινο σώμα για πολλά έτη και έτσι μπορεί να συσσωρευτεί στο σώμα. Όταν ο μόλυβδος συσσωρευτεί στο σώμα σε μεγάλη ποσότητα προκαλεί την δηλητηρίαση, οξεία και χρόνια. Ο μόλυβδος έχει επιπτώσεις πρώτιστα στα απομακρυσμένα και κεντρικά νευρικά συστήματα, στη νεφρική λειτουργία, στα κύτταρα αίματος και στο μεταβολισμό της βιταμίνης D και του ασβεστίου. Ο μόλυβδος μπορεί επίσης να προκαλέσει την υπέρταση, την αναπαραγωγική τοξικότητα και τα αναπτυξιακά αποτελέσματα.

Ο μόλυβδος δεν εξυπηρετεί κανέναν χρήσιμο σκοπό στο ανθρώπινο σώμα και η παρουσία του στο σώμα μπορεί να οδηγήσει στα τοξικά αποτελέσματα, ανεξάρτητα από τη διάβαση έκθεσης. Η τοξικότητα μολύβδου μπορεί να έχει επιπτώσεις σε κάθε σύστημα οργάνων. Σε ένα μοριακό επίπεδο, οι προτεινόμενοι μηχανισμοί για την τοξικότητα περιλαμβάνουν τις θεμελιώδεις βιοχημικές διαδικασίες. Τα γνωστά αποτελέσματα της έκθεσης στο μόλυβδο κυμαίνονται από τις λεπτές βιοχημικές αλλαγές σε χαμηλά επίπεδα έκθεσης, στα αυστηρό νευρολογικό και τοξικό αποτελέσματα ή ακόμα και στο θάνατο σε εξαιρετικά υψηλά επίπεδα.



**Εικόνα 21** Επιπτώσεις του μολύβδου στο ανθρώπινο σώμα, εγκεφαλικές ή νευρικές ζημιές, προβλήματα ακοής, καθυστέρηση ανάπτυξης, προβλήματα χώνευσης και αναπαραγωγικά προβλήματα κυρίως στους ενήλικες. ([www.trfenv.com](http://www.trfenv.com))

Τα αποτελέσματα της έκθεσης μολύβδου ποικίλλουν σύμφωνα με το συγχρονισμό, τα επίπεδα έκθεσης και άλλους παράγοντες. Το ανθρώπινο σώμα περιέχει περίπου 120 mg του μολύβδου (World health organization). Περίπου 10-20% του μολύβδου απορροφάται από τα έντερα (World health organization). Γενικά, τα αποτελέσματα της δηλητηρίασης από μόλυβδο είναι νευρολογικά ή τερατογενής. Ο οργανικός μόλυβδος προκαλεί τη νέκρωση των νευρώνων. Ο ανόργανος μόλυβδος προκαλεί τον εκφυλισμό. Και τα δύο είδη μολύβδου μπορούν να προκαλέσουν το εγκεφαλικό οίδημα και τη συμφόρηση. Οι οργανικές ενώσεις μολύβδου απορροφώνται πιο γρήγορα και επομένως θέτουν έναν μεγαλύτερο κίνδυνο. Ο οργανικός μόλυβδος μπορεί να είναι καρκινογενής. Υπάρχει ένα μεγάλος αριθμός στοιχείων που συνδέει τη μείωση του δείκτη νοημοσύνης (IQ) και άλλες νευροφυσιολογικές ατέλειες με την έκθεση μολύβδου. Υπάρχουν επίσης στοιχεία ότι η έκθεση μολύβδου αυξάνει την πιθανότητα της εξασθένησης ακρόασης στα παιδιά και μπορεί να αναστατώσει την ισορροπία και να εξασθενίσει την απομακρυσμένη λειτουργία νεύρων. Μερικά από τα νευρολογικά αποτελέσματα του μολύβδου στα παιδιά μπορούν να εμμείνουν στην ενηλικίωση.

**Η οξεία δηλητηρίαση** από μόλυβδο συνδέεται γενικά με τις μεγάλες ποσότητες του μολύβδου σε μικρό χρονικό διάστημα. Τα συμπτώματα από την οξεία δηλητηρίαση περιλαμβάνουν την απώλεια μνήμης και την δυσκολία στη συγκέντρωση, αυτό είναι συχνά το πρώτο σύμπτωμα που φαίνεται, τον εμετό, τους κοιλιακούς πόνους, την οξυθυμία, το μούδιασμα, τον πονοκέφαλο, τον ίλιγγο, την υψηλή πίεση αίματος, τα προβλήματα ύπνου, την μειωμένη όρεξη, τις μπλε αποχρώσεις στο δέρμα κάτω από τα νύχια, την αδυναμία, την κατάθλιψη, την εξασθενημένη ακοή, την δυσκοιλιότητα, την κούραση, την απώλεια βάρους, την αδυναμία των άκρων, χλομάδα από τα χαμηλά επίπεδα αιμογλοβίνης, την επιθετικότητα, τον ασταθή βηματισμό, την διάρροια, τον μυϊκό και τον κοινό πόνο ιδιαίτερα στις ενώσεις των μακριών κοκάλων όπως τους καρπούς, τα προβλήματα πέψης, την απώλεια σεξουαλικού ενδιαφέροντος, ανικανότητα, νευρολογικά συμπτώματα όπως η σύσπαση χεριών.

Στα παιδιά, η οξεία έκθεση στα πολύ υψηλά επίπεδα μολύβδου μπορεί να παράγει την εγκεφαλοπάθεια και τα συνοδευτικά σημάδια της (π.χ.αταξία, υπερδραστηριότητα, σπασμοί, κατάπληξη, κώμα ή θάνατος). Οι ενήλικοι δεν διατρέχουν τον κίνδυνο για τις αναπτυξιακές αναταραχές αλλά η εγκεφαλοπάθεια και η εξασθενημένη λειτουργία νεύρων μπορούν να προκύψουν από τα εξαιρετικά υψηλά επίπεδα μολύβδου στο αίμα.

Αυτοί οι όροι προκύπτουν από την δηλητηρίαση μολύβδου και από τα τραύματα εγκεφάλου αποκαλούμενα παρεγκεφαλιδικές αποπιτανώσεις. Η εγκεφαλοπάθεια είναι ο ιατρικός όρος για σημαντική δυσλειτουργία εγκεφάλου. Αυτό μπορεί να φανερωθεί ως απώλεια λειτουργίας ή παράλυσης σε ένα άκρο, τη σύγχυση, τον αποπροσανατολισμό, την απώλεια συντονισμού ή τα συμπτώματα διάφορων μορφών παραφροσύνης.

Η οξεία έκθεση μολύβδου έχει συνδεθεί με την αιμολυτική αναιμία. Η οξεία υψηλή έκθεση μολύβδου μπορεί να προκαλέσει τα σοβαρά φυσιολογικά αποτελέσματα συμπεριλαμβανομένου του θανάτου ή τη ζημία στα συστήματα λειτουργίας και οργάνων του εγκεφάλου.

Η οξεία δηλητηρίαση από μόλυβδο είναι λιγότερο κοινή από τη χρόνια δηλητηρίαση από μόλυβδο. Οι άνθρωποι που εργάζονται γύρω από το μόλυβδο στις εργασίες τους παραδείγματος χάριν, διατρέχουν τον κίνδυνο για την έκθεση μολύβδου σε μεγάλα ποσά σε μια μικρή χρονική περίοδο.

**Η χρόνια δηλητηρίαση** από μόλυβδο εμφανίζεται αργά ως αποτέλεσμα της βαθμιαίας συσσώρευσης του μολύβδου στα κόκαλα και στον ιστό μετά από την επαναλαμβανόμενη έκθεση. Ο μόλυβδος στο ανθρώπινο σώμα μπορεί να είναι τοξικός και να προκαλέσει τη σοβαρά αποτελέσματα σε πολλές περιοχές του σώματος συμπεριλαμβανομένου:

**Νευρολογικά αποτελέσματα:** Το νευρικό σύστημα είναι ο πιο ευαίσθητος στόχος της έκθεσης μολύβδου. Ο αυστηρότερος τύπος δηλητηρίασης από μόλυβδο προκαλεί την εγκεφαλοπάθεια. Ο μόλυβδος έχει επιπτώσεις στη λειτουργία εγκεφάλου με την παρεμπόδιση λειτουργίας στα μιτοχόνδρια. Επειδή τα μιτοχόνδρια είναι σημαντικά για την ενεργειακή παραγωγή μέσα σε έναν νευρώνα, μια αλλαγή στη λειτουργία τους μπορεί να βλάψει το κύτταρο. Ο μόλυβδος έχει επιπτώσεις σε πολλές διαφορετικές περιοχές του εγκεφάλου συμπεριλαμβανομένου του εγκεφαλικού φλοιού και της παρεγκεφαλίδας. Η αλλαγή δομής του αίματος στον εγκέφαλο μπορεί να οδηγήσει στην αιμορραγία και στην διόγκωση του εγκεφάλου.



Μια μελέτη, συσχέτισε την έκθεση μολύβδου με τη χαμηλότερη απόδοση εργασίας, τη μεγαλύτερη συστηματική αποχή από την εργασία, περισσότερες δυσκολίες στις λεπτές δεξιότητες μηχανών, το μειωμένο χρόνο αντίδρασης, την επιδεξιότητα χεριών, την οπτική απόδοση μηχανών και τη γνωστική απόδοση. Επίσης προκαλεί τα προβλήματα μνήμης και συγκέντρωσης, τους πονοκέφαλους, τον χαμηλό δείκτη νοημοσύνης, τον ίλιγγο, τη νωθρότητα, την οξυθυμία, τη μυϊκή δόνηση, τη παραίσθηση, τη δυσφορία, αλλαγές διάθεσης(κατάθλιψη), αυξανόμενη νευρική κούραση, ανικανότητα, αδυναμία και τα προβλήματα μυών με την αίσθηση της αφής.

**Καρδιαγγειακά αποτελέσματα (υπέρτασης).** Η έκθεση μολύβδου μπορεί να οδηγήσει στον αυξανόμενο κίνδυνο για τις υπερτασικές καρδιακές παθήσεις.

**Αναπαραγωγικά αποτελέσματα** . Μερικές μελέτες έχουν ερευνήσει την πιθανή επίδραση του μολύβδου στην αρσενική και θηλυκή γονιμότητα με αποτέλεσμα τον κίνδυνο στειρότητας. Η έκθεση μολύβδου επιδρά στην αυξανόμενη συχνότητα των αποβολών και των θνησιγενειών ή στην γέννηση ενός υπανάπτυκτου μωρού και προκαλεί την εμμηνορροϊκή αναταραχή.

**Αναπτυξιακά αποτελέσματα.** Τα αναπτυξιακά αποτελέσματα περιλαμβάνουν τα ζητήματα εγκυμοσύνης όπου μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο γέννησης μωρού με μειωμένο βάρος και πρόωρης γέννησης, τις σύμφυτες ανωμαλίες και τα αποτελέσματα στην αύξηση ή στη νευρολογική εξέλιξη. Τα αυξανόμενα στοιχεία δείχνουν ότι ο μόλυβδος, που διασχίζει εύκολα τον πλακούντα, έχει επιπτώσεις στη βιωσιμότητα εμβρύων καθώς επίσης και την εμβρυϊκή και πρόωρη ανάπτυξη παιδικής ηλικίας. Μπορεί να έχει επιπτώσεις στην αύξηση καθυστέρησης, στις μαθησιακές δυσκολίες και σε άλλα αναπτυξιακά προβλήματα.

**Καρκινογόνα αποτελέσματα.** Ο μόλυβδος θεωρείται πιθανή ανθρώπινη καρκινογόνος ουσία. Το εθνικό πρόγραμμα τοξικολογίας ταξινομεί το στοιχειώδη μόλυβδο και τις ανόργανες ενώσεις μολύβδου όπως το οξικό άλας μολύβδου και το φωσφορικό άλας μολύβδου, πιθανές ανθρώπινες καρκινογόνες ουσίες.

**Ενδοκρινή αποτελέσματα.** Ο μόλυβδος παρεμποδίζει μια ορμονική μορφή βιταμίνης D, η οποία έχει επιπτώσεις στην λειτουργία του οργανισμού

συμπεριλαμβανομένης της ωρίμανσης κυττάρων και της σκελετικής αύξησης. Η χρόνια έκθεση μολύβδου επηρεάζει επίσης τη λειτουργία θυρεοειδή.

**Αιματολογικά αποτελέσματα.** Βιοχημικά, ο μόλυβδος εμποδίζει διάφορα ένζυμα προκαλώντας μια μείωση στην αιμογλοβίνη αίματος. Η μείωση στη δραστηριότητα αυτού του ενζύμου οδηγεί μια αύξηση στα κόκκινα κύτταρα αίματος. Ο μόλυβδος μπορεί να προκαλέσει δύο τύπους αναιμιών. Στη χρόνια έκθεση μολύβδου, ο μόλυβδος προκαλεί την αναιμία με τη μείωση της επιβίωσης κόκκινων κυττάρων αίματος. Η τοξικότητα μολύβδου προκαλείται από τα ιόντα μολύβδου που αντιδρούν με τις ελεύθερες ομάδες πρωτεϊνών, όπως τα ένζυμα.

**Νεφρικά αποτελέσματα.** Η έκθεση μολύβδου μπορεί να οδηγήσει στα νεφρικά αποτελέσματα όπως την χρόνια νεφροπάθεια και την αρχή του "μελαγχολικού gout". Οι συνεχείς ή επαναλαμβανόμενες εκθέσεις μπορούν να προκαλέσουν μια τοξική πίεση στο νεφρό που έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη της χρόνιας νεφροπάθειας μολύβδου. Η έκθεση μολύβδου θεωρείται επίσης ότι συμβάλλει στην αρχή του "μελαγχολικού gout," που μπορεί να αναπτυχθεί λόγω της μειωμένης νεφρικής έκκρισης του ουρικού οξέος.

#### **4.3.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΘΝΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ ΜΟΛΥΒΔΟΥ**

Ο μόλυβδος μπορεί να έχει επιπτώσεις σε όλους, αλλά τα παιδιά και τα έμβρυα διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο επειδή οι εγκεφαλοι τους και τα νευρικά συστήματά τους αναπτύσσονται ακόμα και έτσι διευκολύνεται η βιοσυσσώρευση του μολύβδου. Λόγω της δυνατότητας της μόνιμης εξασθένησης, η δηλητηρίαση από μόλυβδο είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη κατά τη διάρκεια των κρίσιμων περιόδων ανάπτυξης νηπίων και μικρών παιδιών κάτω από την ηλικία 7 ετών. Παιδιά που είναι αναιμικά και που ζουν κοντά στις περιβαλλοντικές πηγές μολύβδου διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο.

Τα παιδιά εμφανίζουν νευρολογικά αποτελέσματα σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα έκθεσης απ' ό,τι στους ενήλικους. Τα παιδιά μπορούν να απορροφήσουν ένα μεγαλύτερο ποσό μολύβδου ανά βάρος σωμάτων μονάδων από τους ενήλικους (μέχρι 40%). Συνεπώς, τα παιδιά είναι γενικά πιο ευαίσθητα στη δηλητηρίαση από μόλυβδο από τους ενήλικους. Εντούτοις, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα μικρά παιδιά απορροφούν 50% μιας κατάποσης μολύβδου ενώ οι ενήλικοι απορροφούν μόνο το 10% (World health organization). Οι γυναίκες είναι γενικά πιο ευαίσθητες στη δηλητηρίαση από μόλυβδο από τους άνδρες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

### 5.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ



Ο υδράργυρος είναι μια χημική ουσία (στοιχείο) με ατομικό αριθμό 80 και ατομική μάζα 200.59 g.mol<sup>-1</sup> που εμφανίζεται στο περιβάλλον με διάφορες μορφές. Η στοιχειώδη μορφή ή καθαρή μορφή του υδραργύρου (δηλ. δεν συνδυάζεται με άλλα στοιχεία) είναι ο μεταλλικός υδράργυρος, ένα βαρύ, ασημένιο –άσπρο υγρό που χρησιμοποιείται στα θερμόμετρα και στα βαρόμετρα. Είναι φτωχός αγωγός της θερμότητας, σε σύγκριση με άλλα μέταλλα και ένας άριστος αγωγός της ηλεκτρικής ενέργειας. Εάν θερμανθεί, γίνεται ένα αόρατο, τοξικό, άχρωμο, αέριο. Ο υδράργυρος δεν είναι εύφλεκτος και δεν έχει καμία μυρωδιά. Ο στοιχειώδης υδράργυρος εξατμίζεται στη θερμοκρασία δωματίου και αντιδρά με πολλά στοιχεία. Ο υδράργυρος είναι το πυκνότερο γνωστό υγρό στοιχείο. Ο λόγος για τον οποίο ο υδράργυρος είναι ένα υγρό, είναι η μεγάλη πυκνότητα ηλεκτρονίων, δεδομένου ότι δύο ηλεκτρόνια είναι διαθέσιμα για κάθε άτομο υδραργύρου.

Το σημείο τήξης του είναι -39° C και το σημείο βρασμού του είναι 375° C. Η πυκνότητα του υδραργύρου είναι 13,6 g/cm<sup>3</sup>. Διαμορφώνει εύκολα τα κράματα με πολλά μέταλλα, όπως ο χρυσός, το ασήμι και ο κασσίτερος, τα οποία καλούνται αμαλγάματα.

Εκτός από το να υποβληθεί στις αλλαγές στην ατμόσφαιρα, ο υδράργυρος μπορεί επίσης να υποβληθεί στους χημικούς μετασχηματισμούς μόλις κατατεθεί στο τοπίο. Ο υδράργυρος είναι το μόνο μέταλλο που βρίσκεται σε θερμοκρασία δωματίου σε υγρή μορφή και επειδή διαστέλλεται ομοιόμορφα με την αύξηση της θερμοκρασίας παρέχει την αξιοπιστία και την ακρίβεια των θερμομέτρων. Τα αρχικά πρότυπα πόσιμου νερού για τον υδράργυρο είναι 0,002 χιλιοστόγραμμα ανά λίτρο. Ο καθαρός υδράργυρος είναι σταθερός και δεν αμαυρώνει στις συνηθισμένες θερμοκρασίες. Δεν είναι διαλυτό στο νερό αλλά διαλύεται στα λιπίδια (λίπη και έλαια). Ο υδράργυρος καλείται μερικές φορές quicksilver.

Ο στοιχειώδης υδράργυρος, που περιλαμβάνει 95%-99% του υδραργύρου στην ατμόσφαιρα, μπορεί να κυκλοφορήσει στον αέρα μέχρι και ένα έτος πριν κατατεθεί στο έδαφος ή στο νερό (Environment Protection Agency). Ο στοιχειώδης υδράργυρος θεωρείται "σφαιρικός ρύπος." Ο μεταλλικός υδράργυρος απαντάται υπό μορφή μονοσθενές ή δισθενές ιόντος. Ο μονοσθενές υδράργυρος σχηματίζει άλατα λιγότερο διαλυτά και επομένως λιγότερο τοξικά από τον δισθενές. Ο δισθενές υδράργυρος σχηματίζει και τις λεγόμενες οργανομεταλλικές ενώσεις με τον πολύ σταθερό δεσμό C-Hg.

Εντούτοις, ο υδράργυρος μπορεί επίσης να υπάρξει με άλλες μορφές που κατατίθενται τοπικά και μπορεί να μετατραπεί σε έναν "τοπικό ρύπο." Ο υδράργυρος είναι παρών και με οργανικές και με ανόργανες μορφές. Η τοξικότητα του υδραργύρου ποικίλλει ανάλογα με τη χημική μορφή που βρίσκεται στο περιβάλλον. Ο υδράργυρος που συνδυάζεται με τον άνθρακα καλείται **οργανικός υδράργυρος**, ο μεθυλικός υδράργυρος είναι ένα κοινό παράδειγμα ενός οργανικού υδραργύρου ο οποίος προκύπτει από τις βιολογικές διαδικασίες.



Ο μεθυλικός υδράργυρος βρίσκεται σε δύο μορφές, τον μονομεθυλικό και τον διμεθυλικό υδράργυρο, είναι η τοξικότερη και πιο δηλητηριώδης μορφή και είναι ένα άχρωμο υγρό. Ο μεθυλικός υδράργυρος είναι διαλυτή ουσία στους περισσότερους οργανικούς διαλύτες και αδιάλυτη στο νερό. Οι οργανικές μορφές θεωρούνται πραγματική απειλή για τους οργανισμούς ιδίως τους ζωικούς γιατί έχουν την ιδιότητα να συγκεντρώνονται στον εγκέφαλο. Επίσης παρουσιάζουν μεγάλη εμμογή μέσα στο σώμα. Έχει βρεθεί ότι χρειάζονται 70 ημέρες περίπου για να απαλλαγεί ένας οργανισμός από τη μισή ποσότητα οργανικού υδραργύρου που μπήκε στο σώμα του.



Εικόνα 22 Ο υδράργυρος σε υγρή και στερεά μορφή. ([www.galleries.com](http://www.galleries.com))

Μερικές οργανικές ενώσεις υδραργύρου παρόλο που δεν βιοσυγκεντρώνονται μπορεί να προκαλέσουν μεγάλη τοξικότητα. Για παράδειγμα, τα αλκυλοπαράγωγα του υδραργύρου όταν βρεθούν στο νερό μπορούν να μετατραπούν σε μεθυλικά παράγωγα που είναι κατά πολύ τοξικότερα από τα αρχικά αλκυλοπαράγωγα. Οι μεθυλοενώσεις του υδραργύρου λόγω της λιποφιλικής τους ιδιότητας διέρχονται από τις μεμβράνες των κυττάρων και έτσι συσσωρεύονται στον εγκέφαλο των ενήλικων ή των αγέννητων παιδιών (εμβρύων) με ανυπολόγιστες συνέπειες.

Οι ενώσεις υδραργύρου που περιέχουν τις ουσίες μη-άνθρακα όπως το χλώριο, το οξυγόνο ή το θείο καλούνται "**ανόργανος υδράργυρος**" ή "άλατα υδραργύρου." Σχηματίζει επίσης τις μονοσθενές και τις δισθενές ενώσεις. Οι ανόργανες ενώσεις υδραργύρου λαμβάνουν τη μορφή αλάτων υδραργύρου και είναι γενικά άσπρες σκόνες ή κρύσταλλα με εξαίρεση το σουλφίδιο υδραργύρου (cinnabar) που είναι κόκκινο. Το μεγαλύτερο μέρος του υδραργύρου που βρίσκεται στο περιβάλλον είναι ανόργανος. Οι ανόργανες ενώσεις υδραργύρου είναι γνωστές ως "άλατα υδραργύρου" που είναι ιδιαίτερα τοξικά και διαβρωτικά. Μερικά από τα άλατα υδραργύρου είναι: χλωρίδιο υδραργύρου  $HgCl_2$  (η καυστική ουσία μετουσιώνει - ένα βίαιο δηλητήριο) διαλυτή ουσία στους περισσότερους οργανικούς διαλύτες και στο νερό, νιτρικό άλας υδραργύρου, σουλφίδιο υδραργύρου ( $HgS$ , vermilion, μια αρίστης ποιότητας χρωστική ουσία χρωμάτων), κίτρινο οξειδίο υδραργύρου, κόκκινο οξειδίο υδραργύρου, αμμωνιακός υδράργυρος, mercurous χλωρίδιο  $Hg_2Cl_2$  (calomel, περιστασιακά που χρησιμοποιείται ακόμα στην ιατρική), fulminate υδραργύρου **Hg (ONC)**<sub>2</sub>, ένας εκτυρσοκροτήρας που χρησιμοποιούνται ευρέως στις εκρηκτικές ύλες.

Οι ανόργανες μορφές υδραργύρου δεν είναι πολύ επικίνδυνες γιατί δεν βιοσυγκεντρώνονται. Όλες όμως οι μορφές υδραργύρου θεωρούνται δηλητηριώδης. Επίσης, τα μικρόβια μπορούν να μετατρέψουν τις ανόργανες μορφές υδραργύρου σε οργανικές μορφές που μπορούν να συσσωρευτούν μέχρι την υδρόβια ζωή. Η παγκόσμια ετήσια παραγωγή του υδράργυρου υπολογίζεται στους 9000 τόνους. Από

αυτό υπολογίζετε ότι το 50% αποβάλλεται στο περιβάλλον (World health organization).



**Εικόνα 23** Η μορφή του υδραργύρου ως άλατα υδραργύρου, το σουλφίδιο υδραργύρου (cinnabar) είναι κόκκινο. ([www.galleries.com](http://www.galleries.com))

## 5.2 ΠΗΓΕΣ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ

Ο υδράργυρος είναι ένα φυσικά εμφανιζόμενο στοιχείο που μπορεί να βρεθεί σε όλο το περιβάλλον και να καταλήξει τελικά στα χώματα ή στα ύδατα επιφάνειας, είτε μέσω της ξηράς είτε μέσω της υγρής απόθεσης (βροχή ή χιόνι). Τα όξινα ύδατα επιφάνειας μπορούν να περιέχουν σημαντικά ποσά υδραργύρου. Όταν οι τιμές pH είναι μεταξύ πέντε και επτά, οι συγκεντρώσεις υδραργύρου στο νερό θα αυξηθούν λόγω της κινητοποίησης του υδραργύρου στο έδαφος. Ο υδράργυρος μπορεί να εισαχθεί και να συσσωρευτεί στην τροφική αλυσίδα. Ο ακριβής μηχανισμός με τον οποίο ο υδράργυρος εισάγεται στην τροφική αλυσίδα παραμένει κατά ένα μεγάλο μέρος άγνωστος, και ποικίλλει μεταξύ των οικοσυστημάτων. Ξέρουμε εντούτοις, ότι ορισμένα βακτηρίδια διαδραματίζουν έναν σημαντικό πρόωρο ρόλο. Μόλις φτάσει ο υδράργυρος στους υδάτινους μικροοργανισμούς ή στα επιφανειακά χώματα μπορούν να τον μετατρέψουν σε μεθυλικό υδράργυρο, μια ουσία που μπορεί να απορροφηθεί γρήγορα από τους περισσότερους οργανισμούς.

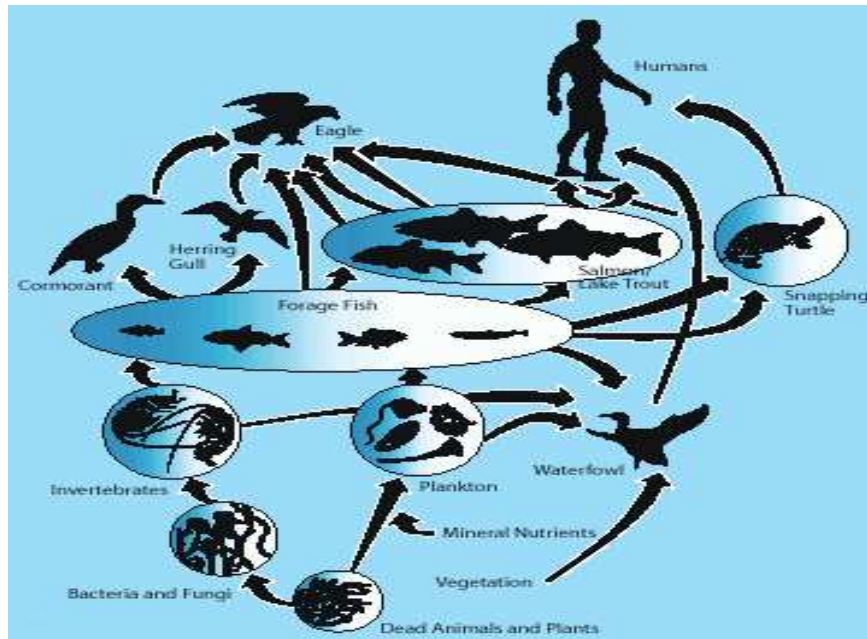
Η μορφή υδραργύρου που συσσωρεύεται στην τροφική αλυσίδα είναι μεθυλικός. Ο ανόργανος υδράργυρος δεν συσσωρεύεται στην τροφική αλυσίδα σε οποιαδήποτε έκταση. Τα ψάρια είναι οργανισμοί που απορροφούν τα μεγάλα ποσά μεθυλικού υδραργύρου από τα ύδατα επιφάνειας κάθε μέρα. Κατά συνέπεια, ο μεθυλικός υδράργυρος μπορεί να συσσωρευτεί στα ψάρια και στις τροφικές αλυσίδες. Περισσότερα από 95% όλου του υδραργύρου στα ψάρια είναι μεθυλικός και αυτή η μορφή υδραργύρου στις υψηλές συγκεντρώσεις φτάνει στην κορυφή των τροφικών αλυσίδων.

Τα επίπεδα υδραργύρου στα ψάρια καθορίζονται από:

- 1) Τις πηγές υδραργύρου, όπως οι ατμοσφαιρικές εκπομπές από το κάψιμο του άνθρακα.
- 2) Την αποδοτικότητα μεθυλίωσης, η οποία ελέγχεται από ορισμένα βιολογικά, χημικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά.

Όταν τα μικρά ψάρια τρώνε τρόφιμα που περιέχουν μεθυλικό υδράργυρο, συσσωρεύεται στους ιστούς τους. Όταν τα μεγαλύτερα ψάρια τρώνε τα μικρότερα ψάρια ή άλλους οργανισμούς που περιέχουν μεθυλικό υδράργυρο, το μεγαλύτερο μέρος του μεθυλικού υδραργύρου θα αποθηκευτεί έπειτα στους οργανισμούς των

μεγαλύτερων ψαριών.

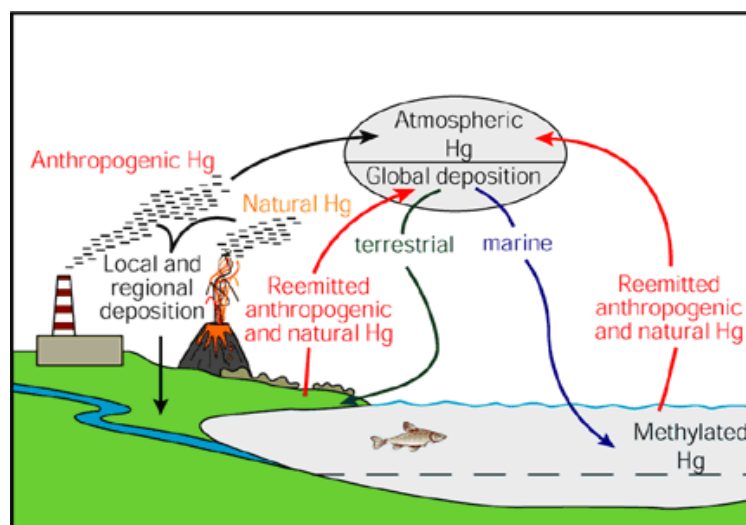


**Εικόνα 24** Συσσώρευση του υδραργύρου στην τροφική αλυσίδα. ([www.ci.superior.wi.us](http://www.ci.superior.wi.us))

Κατά συνέπεια, τα μεγαλύτερα και παλαιότερα ψάρια που ζουν στα μολυσμένα ύδατα ενισχύονται από υψηλότερα ποσά μεθυλικού υδραργύρου στους οργανισμούς τους.

Ο υδράργυρος διαδίδεται ευρέως στην ατμόσφαιρα και μπορεί να κυκλοφορήσει για χρόνια με αποτέλεσμα να διασκορπιστεί παντού. Η προέλευση της ατμοσφαιρικής απόθεσης υδραργύρου είναι τοπική και περιφερειακή καθώς επίσης και ημισφαιρική ή σφαιρική.

Ο υδράργυρος συσσωρεύει περισσότερο στον υδρόβιο ιστό τροφίμων. Οι αρπακτικοί οργανισμοί στην κορυφή του ιστού τροφίμων έχουν γενικά τις υψηλότερες συγκεντρώσεις υδραργύρου.



**Εικόνα 25** Απλουστευμένος βιογεωχημικός κύκλος του υδραργύρου στο περιβάλλον. ([www.epa.gov](http://www.epa.gov))

Ο υδράργυρος απελευθερώνεται στο περιβάλλον από διάφορες πηγές, φυσικές και ανθρωπογενείς. Είναι αδύνατον να χωριστούν τα τρέχοντα επίπεδα υδραργύρου στο περιβάλλον, είτε από ανθρωπογενείς είτε από φυσικές πηγές, αλλά διάφοροι εμπειρογνώμονες έχουν υπολογίσει ότι οι άνθρωποι έχουν διπλασιάσει ή έχουν τριπλασιάσει το ποσό υδραργύρου που απελευθερώνεται στο περιβάλλον. Συνολικά, περίπου 6.500 τόνοι του υδραργύρου εκπέμπονται κάθε έτος (Natural Resources Defense Council). Από εκείνο το ποσό, το ένα τρίτο εκπέμπεται με τις φυσικές διαδικασίες, όπως οι ηφαιστειακές εκρήξεις. Τα άλλα δύο τρίτα προέρχονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, από τη βιομηχανική ρύπανση. Μια σημαντική αβεβαιότητα σε αυτές τις εκτιμήσεις είναι το ποσό υδραργύρου που αποδεσμεύεται από το νερό και τα χώματα που μολύνθηκαν προηγουμένως από τις ανθρώπινες δραστηριότητες σε αντιδιαστολή με τις νέες φυσικές απελευθερώσεις.

Πριν από τη βιομηχανική επανάσταση, ο υδράργυρος εκπέμφθηκε φυσικά στο περιβάλλον σε επίπεδα που θεωρήθηκαν ακίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία. Μια ανάλυση των ιστορικών ποσοστών συσσώρευσης υδραργύρου στα ιζήματα λιμνών παρουσιάζει ότι η συσσώρευση υδραργύρου ήταν αργή πριν από 1850, από την αρχή της εκβιομηχάνισης το ποσό υδραργύρου που κινητοποιείται και που αποδεσμεύεται στη βιόσφαιρα έχει αυξηθεί. Συγκεκριμένα, ο υδράργυρος συσσωρεύεται αυτήν την περίοδο στα ιζήματα λιμνών σε ένα ποσοστό 2-5 χρόνους γρηγορότερα από τα προβιομηχανικά ποσοστά.

Οι κοινοί τρόποι με τους οποίους οι άνθρωποι εκτίθενται στον υδράργυρο περιλαμβάνουν την αναπνοή μολυσμένου αέρα, τρώγοντας τα μολυσμένα ψάρια και μέσω της χρήσης βασισμένων στον υδράργυρο αμαλγαμάτων (γαρνιτούρες) στις οδοντικές επεξεργασίες. Ο υδράργυρος μπορεί επίσης να εισαχθεί στο σώμα μέσω της άμεσης επαφής δερμάτων και από την επαφή με τα σπασμένα οικιακά στοιχεία όπως τα θερμόμετρα.

### 5.2.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ



Οι φυσικές πηγές απελευθέρωσης λόγω της φυσικής κινητοποίησης του στοιχειώδους υδραργύρου περιλαμβάνουν την φυσική εμφάνιση από τα πετρώματα, την ηφαιστειακή δραστηριότητα, την αεριοποίηση από τον ωκεανό, τα αποθέματα υδραργύρου και τις γεωλογικές καταθέσεις. Ο υδράργυρος βρίσκεται στους μεγάλους κυρτούς απότομους, πύρινους και ιζηματώδεις βράχους, στα ιζήματα και στα χώματα. Με την διάβρωση των μεταλλευμάτων ο υδράργυρος κινείται προς το υπόγειο νερό. Εάν ο υδράργυρος εισαχθεί στο νερό με οποιαδήποτε μορφή, είναι πιθανό να εγκατασταθεί στο κατώτερο σημείο, όπου μπορεί να παραμείνει για πολύ. Εκτός από την άμεση απόθεση ο υδράργυρος μπορεί επίσης να φθάσει στο νερό από την εδαφολογική απορροή αν και το ποσό που χωρίζει στην απορροή αναμένεται να είναι μικρό δεδομένου ότι ο υδράργυρος δεσμεύεται στο χώμα και η απορροή είναι πιθανώς υπό μορφή ιζημάτων. Ο υδράργυρος από τα χώματα μπορεί επίσης να συσσωρευτεί στα μανιάρια.

Οι φυσικές πηγές μόλυνσης υδραργύρου περιλαμβάνουν και την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Ο υδράργυρος που απελευθερώνεται στον αέρα μπορεί να ταξιδέψει μεγάλες αποστάσεις και να κατατεθεί έπειτα στις λίμνες μέσω της ατμοσφαιρικής απόθεσης (ραδιενεργός τέφρα), καθιστώντας σχεδόν αδύνατο να επισημανθούν οι

πηγές μόλυνσης. Οι δασικές πυρκαγιές συμβάλλουν επίσης στον προϋπολογισμό παγκόσμιου υδραργύρου. Αυτές οι φυσικές "εκπομπές" συμβάλλουν περίπου 61 τοις εκατό των ετήσιων εκπομπών που αποτελούν τον προϋπολογισμό παγκόσμιου υδραργύρου (Environment Protection Agency).



**Εικόνα 26** Απελευθέρωση υδραργύρου από την ηφαιστειακή δραστηριότητα ([www.biomercury.de](http://www.biomercury.de))

## 5.2.2 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ

Οι ανθρωπογενείς πηγές υδραργύρου μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις ευρείες κατηγορίες.

1. Η πρώτη κατηγορία είναι "**πηγές περιοχής**". Οι οδοντικές προμήθειες (π.χ. οδοντικές γαρνιτούρες αμαλαμάτων), ο ιατρικός εξοπλισμός (θερμόμετρα, όργανα ελέγχου πίεσης αίματος) και η εργαστηριακή χρήση (εργαστηριακές χημικές ουσίες, στερεωτικά, λεκέδες, αντιδραστήρια, συντηρητικά) ορίζονται ως πηγές περιοχής. Τα οδοντικά αμαλλάματα περιέχουν υδράργυρο περίπου 50%, 25% ασημένιους και το υπόλοιπο είναι χαλκός, κασσίτερος και ένα ίχνος ψευδαργύρου. Εντούτοις, ο υδράργυρος στα αμαλλάματα είναι πολύ σταθερός. Το οδοντικό αμάλαμα, περιέχει το στοιχειώδη υδράργυρο που εκπέμπεται σε μικρά ποσά ως ατμός. Επειδή ο ατμός που εκπέμπεται από τις αποκαταστάσεις αμαλαμάτων μπορεί να απορροφηθεί από τον ασθενή μέσω της εισπνοής, της κατάποσης ή από άλλα μέσα, έχουν αυξηθεί οι ανησυχίες για την πιθανή τοξικότητα.
2. Η δεύτερη κατηγορία είναι οι **διαδικασίες καύσης**. Αυτές περιλαμβάνουν τη ηλεκτρική παραγωγή ενέργειας με κάρβουνο που είναι η υψηλότερη εκπομπή κατά περίπου 34% του συνολικού υδραργύρου, τους ιατρικούς αποτεφρωτήρες αποβλήτων, την αποτέφρωση αστικών αποβλήτων, τις βιομηχανίες χαρτιού και την καύση άνθρακα και πετρελαίου από τις αεροπορικές μεταφορές. Ο άνθρακας που καίγεται αυξάνει το ποσό αερομεταφερόμενου υδραργύρου ο οποίος περιέρχεται τελικά πίσω στα ύδατα, στους οργανισμούς του ύδατος. Αυτή η πηγή υδραργύρου έχει αυξηθεί σημαντικά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα και τώρα συναγωνίζεται την εκπομπή από τα ηφαίστεια. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας παράγουν επίσης 33 τόνους του υδραργύρου ως απόβλητα άνθρακα.



**Εικόνα 27** Απελευθέρωση υδραργύρου από τις βιομηχανικές διαδικασίες. ([www.biomercury.de](http://www.biomercury.de))

3. Η τρίτη κατηγορία είναι η **κατασκευή των μετάλλων**. Ο μεταλλικός υδράργυρος εξάγεται και είναι επίσης ένα προϊόν αποβλήτων της χρυσής μεταλλείας.
4. Άλλες **βιομηχανικές διαδικασίες** και η **χρήση βιομηχανικών προϊόντων** εμπίπτουν στην τέταρτη κατηγορία συμπεριλαμβανομένης της κατασκευής χλωρίου και καυστικού νατρίου, συσκευές καλωδίωσης και διακόπτες, μπαταρίες, θερμομέτρα, λαμπτήρες Φθορισμού και μεγάλης έντασης, μη-ηλεκτρονικοί θερμοστάτες, βαρόμετρα, τα υδραυλικά κοιτάσματα-χρυσά ορυχεία απελευθέρωσαν αρκετές χιλιάδες τόνους του υδραργύρου στο περιβάλλον. Ο υδράργυρος βρίσκει πολυάριθμες εφαρμογές όπως στη βιομηχανία παραγωγής χλωρίου –αλκάλεως. Έχει υπολογιστή ότι αποβάλλονται 4000-8000 kg υδράργυρου το χρόνο από ένα εργοστάσιο που παράγει 100 τόνους  $Cl_2$  την ημέρα στο περιβάλλον. Επίσης χρησιμοποιείται ως καταλύτης στη βιομηχανία παραγωγής βινυλοχλωριδίου (πλαστικών) και ακεταλδεύδης. Χρησιμοποιείται σε βιομηχανίες γεωργικών φαρμάκων, ηλεκτρικών ειδών, χαρτιού και βαφών. Τα στερεά, υγρά και αέρια απόβλητα των παραπάνω βιομηχανιών ρυπαίνουν τους αντίστοιχους αποδεκτές με υδράργυρο. Οι οργανικές ενώσεις του υδραργύρου μπορούν να απελευθερωθούν στο χώμα μέσω της χρήσης μυκητοκτόνων που περιέχουν υδράργυρο. Οι ανόργανες ενώσεις υδραργύρου χρησιμοποιούνται στα προϊόντα όπως τα αντισηπτικά ή τα απολυμαντικά. Μερικές κρέμες δερμάτων, καθώς επίσης και μερικά παραδοσιακά φάρμακα μπορούν να περιέχουν τις ενώσεις υδραργύρου. Οι ανόργανες ενώσεις υδραργύρου χρησιμοποιούνται συνήθως στον ηλεκτρικό εξοπλισμό, παραδείγματος χάριν, μπαταρίες, λαμπτήρες και τα ιατρικά προϊόντα. Η απρόσεκτη διάθεση των μπαταριών υδραργύρου αντιπροσωπεύει 68% της ρύπανσης υδραργύρου.

### 5.3 ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΑΣΘΕΝΕΙΑΣ

Σχεδόν όλοι οι άνθρωποι έχουν τουλάχιστον τα ποσά ιχνών υδραργύρου στους ιστούς τους που απεικονίζουν τη διαδεδομένη παρουσία του υδραργύρου στο περιβάλλον. Όλες οι μορφές υδραργύρου είναι τοξικές στους ανθρώπους, αλλά οι διάφορες μορφές οργανικού και ανόργανου υδραργύρου έχουν διαφορετική

τοξικότητα. Τα σοβαρά τοξικά αποτελέσματα περιλαμβάνουν την ζημία ιστού εγκεφάλου και νεύρων και την ζημία νεφρών.

Γενικά, οι οργανικές μορφές είναι τοξικότερες από τις ανόργανες μορφές.

Οι οργανικές μορφές είναι ιδιαίτερης ανησυχίας επειδή οι οργανισμοί μας έχουν έναν λιγότερο καλά αναπτυγμένο αμυντικό μηχανισμό ενάντια σε αυτήν την τοξίνη και μπορούν να βλάψουν τον εγκέφαλο και το νευρικό σύστημα. Ο αναπτυσσόμενος εγκέφαλος ενός εμβρύου ή ενός παιδιού είναι ιδιαίτερα τρωτός στην οργανική έκθεση υδραργύρου.

Οι ανόργανες μορφές υδραργύρου έχουν επιπτώσεις πρώτιστα στο νεφρό αλλά και στο νευρικό σύστημα. Τα συμπτώματα της ζημίας περιλαμβάνουν ακόμη τον θάνατο και την παράλυση. Όταν ο υδράργυρος λαμβάνεται, περίπου 95% απορροφάται μέσω του γαστροεντερικού κομματιού στην κυκλοφορία του αίματος και μεταφέρεται γρήγορα και σε άλλα μέρη του σώματος. Η ημιζωή για το υδράργυρο στο σώμα είναι περίπου 70 ημέρες (Θ.Κουιμτζή, Κ.Σαμαρά – Κωνσταντίνου, 1998). Εκκρίνεται αργά από το σώμα κατά τη διάρκεια αρκετών μηνών, κυρίως στα περιττώματα.

Ο κοινός όρος "δηλητηρίαση υδραργύρου" αναφέρεται με την έννοια της υπερέκθεσης στο ανθρώπινο νευρικό σύστημα, στα όργανα και σε άλλες σωματικές λειτουργίες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα δηλητηρίασης από τον υδράργυρο είναι η περίπτωση των κατοίκων του κόλπου Μιναμάτα της Ιαπωνίας όπου το 1953 παρατηρήθηκαν 111 περιπτώσεις νευρολογικών διαταραχών ενώ σημειώθηκαν και 43 θάνατοι σε ψαράδες τις περιοχής που είχαν βασική τροφή ψάρια και θαλασσινά από τον κόλπο αυτό. Το 1959 διαπιστώθηκε μεγάλη συγκέντρωση υδραργύρου στους θαλάσσιους οργανισμούς του κόλπου με πηγή τα λύματα βιομηχανίας πλαστικών που χρησιμοποιούσαν ως καταλύτη υδράργυρο και ρίχνονταν ανεπεξέργαστα στον κόλπο. Οι συγκεντρώσεις υδραργύρου που βρέθηκαν στα θαλασσινά τρόφιμα κυμαίνονταν από 5-20 ppm (Νικολάου Ε. Κωτσοβίνου 1969). Τα συμπτώματα που προκλήθηκαν από τη δηλητηρίαση υδραργύρου αναφέρθηκαν ως ασθένεια Μιναμάτα.

Ο στοιχειώδης υδράργυρος, ως ατμός, διαπερνά το κεντρικό νευρικό σύστημα όπου ιονίζεται και παγιδεύεται, αποδίδοντας τα ακραία τοξικά αποτελέσματά του. Η ασθένεια του αλτσχάϊμερ είναι μια κοινή νευροεκφυλιστική αναταραχή που οδηγεί στην άνοια και το θάνατο. Ο στοιχειώδης υδράργυρος δεν απορροφάται καλά από το γαστροεντερικό κομμάτι. Ο διμεθυλικός υδράργυρος διαπερνά γρήγορα το άθικτο δέρμα. Ανάλογα με τον τύπο υδραργύρου και τη δόση τα συμπτώματα μπορούν να εμφανιστούν σχετικά γρήγορα ή να εμφανιστούν μετά από χρόνια.

Στις αρκετά μεγάλες δόσεις, ο υδράργυρος είναι τοξικός στα θηλαστικά, στα πουλιά, και στα ψάρια. Ο υδράργυρος μπορεί να προκαλέσει την αυστηρή ζημία των νεύρων και του εγκεφάλου, την απώλεια ακοής και τις ατέλειες γέννησης. Τα επίπεδα που προκαλούν τη σοβαρή ασθένεια έχουν εμφανιστεί μόνο σε τυχαίες δηλητηριάσεις. Οι υψηλότερες εκθέσεις υδραργύρου μπορούν να προκαλέσουν επιπτώσεις στην υγεία όπως: ανικανότητα να περπατήσουν, σπασμοί ακόμη και τον θάνατο. Οι χαμηλότερες εκθέσεις υδραργύρου μπορούν να προκαλέσουν τη λεπτότερη ζημία στις αισθήσεις και στον εγκέφαλο. Η έκθεση υδραργύρου έχει συνδεθεί επίσης με ποικίλες ανωμαλίες στην ανάπτυξη των εμβρύων όπως η καθυστερημένη αρχή του περπατήματος και της ομιλίας, οι καθυστερήσεις και τα ελλείμματα στην εκμάθηση των δυνατοτήτων και τα μειωμένα νευρολογικά αποτελέσματα.

Μια πρωταρχική δύναμη είναι η πραγματοποίηση γνώσης της αιτίας, λιγότερων από 25%, των νευροαναπτυξιακών ανικανότητων. Αυτές οι ανικανότητες συμπεριλαμβανομένης, της δυσλεξίας, της αναταραχής, της υπερδραστηριότητας, της διάσπασης προσοχής, της διανοητικής καθυστέρησης και του αυτισμού, έχουν επιπτώσεις σε κατ' εκτίμηση 38% των 4 εκατομμυρίων μωρών γεννημένων κάθε έτος στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Τα επιβλαβή αποτελέσματα του υδραργύρου που μπορούν να περάσουν από τη μητέρα στο έμβρυο περιλαμβάνουν τη ζημία εγκεφάλου, τη διανοητική καθυστέρηση, τον αποσυντονισμό, την τύφλωση, τις συλλήψεις και την ανικανότητα να μιλήσουν. Τα παιδιά που δηλητηριάζονται από τον υδράργυρο μπορούν να αναπτύξουν τα προβλήματα των νευρικών και χωνευτικών συστημάτων τους και τη ζημία νεφρών. Ο μεθυλικός υδράργυρος διασχίζει εύκολα τον πλακούντα και συγκεντρώνει κατά 30% υψηλότερα τα εμβρυϊκά κόκκινα κύτταρα αίματος απ' ό,τι σε εκείνα της μητέρας του.

**Οξεία δηλητηρίαση.** Περιλαμβάνει την έκθεση του υδραργύρου στις υψηλές δόσεις κατά τη διάρκεια μιας μικρής χρονικής περιόδου από την κατανάλωση ιδιαίτερα μολυσμένου νερού. Τα συμπτώματα μπορούν να αναπτυχθούν μέσα σε μερικές ώρες και περιλαμβάνουν τις στοματικές πληγές, τη ναυτία, τον εμετό, τον κοιλιακό πόνο, τα εγκαύματα ιστού στο λαιμό και στο στομάχι, τη διάρροια, τον πονοκέφαλο, την αδυναμία, την απώλεια όρεξης, τη σύγχυση, τη συντομία της αναπνοής, το βήχα, τη θωρακική συμπίεση, τη βρογχίτιδα, την καρδιαγγειακή κατάρρευση, την πνευμονία και τη ζημία νεφρών.

Η οξεία δηλητηρίαση υδραργύρου προκύπτει από την κατάποση των διαλυτών αλάτων υδραργύρου τα οποία διαβρώνουν βίαια το δέρμα και προκαλούν τις αναφυλαξίες δερμάτων, δερματίτιδα και τις βλεννώδεις μεμβράνες. Αν και οι περιπτώσεις που έχουν εμφανιστεί σε κάποια πρόσωπα από την λήψη στοιχειώδη υδράργυρο δεν έχουν υποστεί τη μόνιμη ζημία, ο ατμός υδραργύρου που απορροφάται στους πνεύμονες μπορεί να προκαλέσει τη απώλεια αναπνευστικής λειτουργίας ως αποτέλεσμα της βαριάς μορφής πνευμονίας και το θάνατο. Τα συμπτώματα της δηλητηρίασης υδραργύρου αρχίζουν συνήθως με το μούδιασμα και το τσούξιμο στα δάχτυλα.

Η έκθεση στα υψηλά επίπεδα οποιονδήποτε τύπων υδραργύρου μπορεί μόνιμα να βλάψει τον εγκέφαλο, το νευρολογικό σύστημα, τα νεφρά και την ανάπτυξη του εμβρύου. Τα αποτελέσματα στις λειτουργίες εγκεφάλου μπορούν να οδηγήσουν στην οξυθυμία, στη συστολή, στις αλλαγές στα προβλήματα όρασης ή ακρόασης, στην ταλάντευση διάθεσης, στην απώλεια μνήμης, στις διανοητικές διαταραχές και στην αδυναμία μύων. Οι υψηλές εκθέσεις του ατμού υδραργύρου μπορούν να προκαλέσουν τον θωρακικό πόνο, τη συντομία της αναπνοής και μια συγκέντρωση των ρευστών στους πνεύμονες (πνευμονικό οίδημα). Αυτό μπορεί να προκαλέσει το θάνατο. Τα υψηλά επίπεδα υδραργύρου στην κυκλοφορία του αίματος των αγέννητων μωρών και των μικρών παιδιών μπορούν να βλάψουν το αναπτυσσόμενο νευρικό σύστημα.

**Χρόνια δηλητηρίαση.** Αυτή η μορφή δηλητηρίασης συμβαίνει όταν η έκθεση στη μόλυνση εμφανίζεται επανειλημμένα ή κατά τη διάρκεια μιας εκτεταμένης περιόδου. Η κατανάλωση μεγάλης ποσότητας μολυσμένου ψαριού ή η επανειλημμένη κατανάλωση νερού από μια μολυσμένη παροχή μπορεί να οδηγήσει στη χρόνια δηλητηρίαση υδραργύρου. Η χρόνια δηλητηρίαση υδραργύρου εμφανίζεται μέσω της κανονικής απορρόφησης των μικρών ποσών υδραργύρου. Μετά από τη μακροπρόθεσμη έκθεση εισπνοής, το νευρικό σύστημα είναι ο κύριος στόχος της



τοξικότητας. Τα συμπτώματα μπορούν να εμφανιστούν εντός μιας εβδομάδας αλλά συνήθως αναπτύσσονται ύπουλα για μία περίοδο χρόνων. Η μακροπρόθεσμη έκθεση στα υψηλά επίπεδα ανόργανου υδραργύρου μπορεί να προκαλέσει τα αποτελέσματα νεφρών στους ανθρώπους. Εντούτοις, η αποκατάσταση είναι πιθανή μόλις καθαριστεί το σώμα από την ποσότητες υδραργύρου.

Οι ακόλουθες επιπτώσεις στην υγεία μπορούν να εμφανιστούν μετά από αρκετά έτη έκθεσης στον υδράργυρο:

**Αναπαραγωγικές επιπτώσεις:** Τα συμπτώματα μπορούν να περιλάβουν τα εμμηνορροϊκά προβλήματα, τις πιθανές αποβολές, τη ζημία σπέρματος, τη ζημία στα αγέννητα μωρά, την ζημία DNA, την ζημία των κυττάρων, τις ατέλειες γέννησης, την καθυστέρηση στο περπάτημα και την χρωμοσωμική ζημία που είναι γνωστή για να προκαλεί το μογγολισμό. Μερικοί εμπειρογνώμονες θεωρούν ότι παρεμποδίζουν την παραγωγή οιστρογόνου και μπορούν να προκαλέσουν τη στειρότητα στα αρσενικά φύλα.

**Τις νευρολογικές επιπτώσεις:** Περιλαμβάνουν τις δυσλειτουργίες εγκεφάλου που μπορεί να προκαλέσουν την υποβάθμιση της εκμάθησης των δυνατοτήτων, την ανικανότητα να συγκεντρωθούν, τις διανοητικές αλλαγές, τις αλλαγές προσωπικότητας, τις αλλαγές όρασης, την κώφωση, την απώλεια μνήμης, τους πονοκέφαλους, την αδυναμία, την απώλεια όρεξης, την αλλαγή των αισθήσεων γεύσης και οσμής, την αϋπνία και τον υπερβολικό ιδρώτα. Τα αποτελέσματα στον εγκέφαλο που λειτουργεί μπορούν να οδηγήσουν στην οξυθυμία, στη συστολή, στις δονήσεις, στις αλλαγές στην όραση ή στην ακρόαση και στα προβλήματα μνήμης.

**Επιπτώσεις στα όργανα:** Στα νεφρά των ανθρώπων, το αίμα στα ούρα, το μούδιασμα και το τσούξιμο στα χέρια και στα πόδια, τη διόγκωση των μάγουλων, τη μύτη, τα χέρια και τα πόδια, την ελαφρύ ευαισθησία στα μάτια, οδοντικά προβλήματα και αλλεργικές αντιδράσεις που προκαλεί την ερυθρότητα δερμάτων και το λέκιασμα του δέρματος από το ξεφλούδισμα στρωμάτων δέρματος στις παλάμες των χεριών και στα πελμάτα των ποδιών.

**Τα ψυχιατρικά αποτελέσματα:** Τα συμπτώματα περιλαμβάνουν την οξυθυμία, τις διαταραχές ύπνου και τις αϋπνίες, την ταλάντευση διάθεσης, τις παραισθήσεις και την ψύχωση.

### **5.3.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΘΗΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ**

Εάν μια έκθεση υδραργύρου βλάψει την υγεία ενός προσώπου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Οι άνθρωποι μπορούν να εκτεθούν στον υδράργυρο από οποιοδήποτε μορφές του, κάτω από διάφορες καταστάσεις. Οι παράγοντες που καθορίζουν πόσο αυστηρές θα είναι οι επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση υδραργύρου περιλαμβάνουν: την δόση, την χημική μορφή (στοιχειώδες μεταλλικός, ανόργανες ενώσεις υδραργύρου, ή οργανικές ενώσεις), την διάρκεια έκθεσης (πόσο καιρό), την διαδρομή έκθεσης (κατανάλωση, αναπνοή, έγχυση, αφή), άλλες χημικές εκθέσεις και από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του προσώπου (ηλικία, υγεία).

Τα μικρά παιδιά είναι πληθυσμός υψηλότερου κινδύνου επειδή ο μεθυλικός υδράργυρος στο σώμα της μητέρας μπορεί να εισαχθεί στο παιδί θηλάζοντας το. Τα μικρά παιδιά διατρέχουν τον κίνδυνο επειδή τα νευρικά συστήματά τους αναπτύσσονται ακόμα και λόγω του χαμηλότερου βάρους σωμάτων τους σε

σύγκριση με τους ενήλικους. Οι κίνδυνοι έκθεσης και υγείας μπορούν να καθοριστούν με τη μέτρηση των ποσών υδραργύρου στο αίμα, στα ούρα, στο γάλα στηθών και στην τρίχα. Κατά τη διάρκεια του χρόνου, το σώμα σας μπορεί να απελευθερώσει κάποια ποσότητα μόλυνσης.

Από μια ανάλυση υπολογίστηκε ότι η πιθανότητα επηρεασμού του εμβρύου από την ύπαρξη υδραργύρου στις μητέρες σε συγκέντρωση 10-20 ppm υδραργύρου είναι 5% ( World health organization). Για να καθορίσουν τα αποτελέσματα της εισαγωγής υδραργύρου από τις έγκυες γυναίκες, τα παιδιά ηλικίας 7 χρονών εξετάστηκαν για τη λειτουργία εγκεφάλου με τη μέτρηση της έκτασης προσοχής, της μνήμης και της δυνατότητας ομιλίας τους.

Οι επιπτώσεις στην υγεία εξαρτάται από το ποσό μεθυλικού υδραργύρου στα ψάρια και από την ποσότητα που καταναλώνεται από το πρόσωπο για μια χρονική περίοδο. Η ανάπτυξη των εμβρύων μπορεί να διατρέξει μέγιστο κίνδυνο λόγω της δυνατότητας του μεθυλικού υδραργύρου να περάσει μέσω του πλακούντα.

Γενικά, οι χημικές ουσίες έχουν επιπτώσεις στα ίδια συστήματα οργάνων σε όλους τους ανθρώπους που εκτίθενται. Η αντίδραση ενός προσώπου εξαρτάται από διάφορα πράγματα, συμπεριλαμβανομένης της μεμονωμένης υγείας, στην προηγούμενη έκθεση σε χημικές ουσίες και στις προσωπικές συνήθειες όπως το κάπνισμα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

### 6.1 ΑΠΟΦΥΓΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗΣ

Πάνω από 2100 διάφορα στοιχεία μόλυνσης έχουν διαπιστωθεί σε μετρήσεις που έχουν γίνει στο πόσιμο νερό σε πολλές περιοχές της γης. Στον πίνακα στοιχείων μόλυνσης περιλαμβάνονται επικίνδυνες χημικές ουσίες, βαρέα μέταλλα, εντομοκτόνα, λιπάσματα, ζιζανιοκτόνα, βιομηχανικοί διαλύτες κτλ. Βακτηρίδια, ιοί και παράσιτα όπως το δονάκιο της χολέρας, τα μικρόβια ηπατίτιδας, που μπορεί να περιέχονται σε νερό που κατευφημισμένο ονομάζεται πόσιμο, αποτελούν αληθινή απειλή σε πολλά μέρη του κόσμου. Το χειρότερο από όλα είναι ότι πολλές από αυτές τις επιβλαβείς μολύνσεις είναι αόρατες με γυμνό οφθαλμό, το νερό εξακολουθεί να είναι άοσμο και χωρίς άσχημη γεύση παρόλα αυτά τα μικρόβια που περιέχει μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ασθένειες ακόμη και το θάνατο.

Μέτρα προστασίας εναντίον της ρυπάνσεως με υδράργυρο είναι:

- Περιορισμός χρήσεως ουσιών που περιέχουν υδράργυρο(π.χ τα μυκητοκτόνα. Στην Ελλάδα απαγορεύτηκε η χρήση τους το 1974).
- Καθαρισμός των αποβλήτων.
- Η απομάκρυνση του πυθμενικού υδραργύρου με μηχανικά μέσα (δηλ. ξύσιμο του πυθμένα) ή η κάλυψη της επιφάνειας του πυθμένα με στερεά υλικά που να εμποδίζουν την άμεση επαφή του νερού με τις υδραργυρικές ενώσεις.

Τα παραπάνω μέτρα δεν μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματικά εξαιτίας ορισμένων ιδιοτήτων του υδραργύρου και πολλών ενώσεων του. Οι ιδιότητες αυτές είναι οι εξής:πτητικότητα, δυνατότητα μετατροπής σε άλλες επικίνδυνες ουσίες μέσα στους ζωικούς και φυτικούς οργανισμούς, βιομεγένθυση.

Η μείωση ή η εξάλειψη των ανθρωπογενών απελευθερώσεων υδραργύρου θα απαιτήσει τις απελευθερώσεις μολυσμένες πρώτες ύλες από υδράργυρο και τα αέρια πετροχημικής βιομηχανίας καθώς επίσης και τη χρήση του υδραργύρου στα προϊόντα και στις διαδικασίες.

Οι συγκεκριμένες μέθοδοι για αυτές τις απελευθερώσεις υδραργύρου ποικίλλουν ευρέως, ανάλογα με τις τοπικές περιστάσεις, αλλά εμπίπτουν γενικά σε τέσσερις ομάδες:

- 1) Μειώνοντας τη μεταλλεία υδραργύρου και την κατανάλωση πρώτων υλών και προϊόντων που παράγουν τις απελευθερώσεις.
- 2) Αντικατάσταση των προϊόντων και των διαδικασιών που περιέχουν ή που χρησιμοποιούν τον υδράργυρο.
- 3) Ελέγχοντας τις απελευθερώσεις υδραργύρου μέσω των end-of-ripe ελέγχων.
- 4) Διαχείριση των αποβλήτων υδραργύρου.

Οι δυο πρώτες από αυτές είναι "προληπτικά" μέτρα που αποτρέπουν μερικές χρήσεις ή απελευθερώσεις του υδραργύρου. Οι τελευταίες δύο είναι μέτρα "ελέγχου", τα οποία μειώνουν ή καθυστερούν μερικές απελευθερώσεις. Τα προληπτικά μέτρα για την κατανάλωση πρώτων υλών και προϊόντων που παράγουν τις απελευθερώσεις υδραργύρου είναι γενικά οικονομικώς αποδοτικά και μεταξύ των πιο βιώσιμων μέσων της απελευθέρωσης υδραργύρου. Επίσης, η αντικατάσταση των προϊόντων και των διαδικασιών χωρίς υδράργυρο είναι μια σημαντική προληπτική δράση.

Η προσπάθεια προστασίας από τη ρύπανση με μόλυβδο στηρίζεται στην κατά δυνατό αποφυγή επαφής ενώσεων μολύβδου με τις τροφές. Επίσης στην αποφυγή χρήσης στη βενζίνη προσθετικών ουσιών που περιέχουν μόλυβδο.

Υπάρχουν διάφορες αλλαγές που μπορούμε να κάνουμε για να περιορίσουμε την έκθεσή μας και να αφαιρέσουμε την τοξική υπερφόρτωση.

## 6.2 ANTIMETΩΠΙΣΗ

Οι μέθοδοι για την αφαίρεση των ποσών ιχνών τοξικών μετάλλων περιλαμβάνουν την απόσταξη, την ιονική ανταλλαγή, την αντίστροφη όσμωση και την ενεργοποιημένη διήθηση άνθρακα. Όλα τα συστήματα είναι αρκετά ακριβά και εγκαθίστανται συνήθως μόνο στις γραμμές πόσιμου νερού.

Μερικά προϊόντα που μπορούν να μειώσουν ή να αφαιρέσουν τα βαρέα μέταλλα είναι:

1) Φυσικό υγρό zeolite έχει γίνει ένα δημοφιλές προϊόν για την αφαίρεση των βαρέων μετάλλων, των ζιζανιοκτόνων, των πλαστικών και άλλων τοξινών.

2) Ορυκτός εδώδιμος άργιλος Detox Terramin. Το Terramin είναι ένας άριστος, υψηλής ποιότητας εδώδιμος άργιλος που χρησιμοποιείται για την εσωτερική αποτοξίνωση των βαρέων μετάλλων, των χημικών ουσιών και άλλων τοξινών καθώς επίσης και για την ορυκτή συμπλήρωση και για την υποστήριξη ασβεστίου στη μάζα κοκάλων.

Το pH του terramin είναι 8,3 που είναι πολύ αλκαλικό στο σώμα. Οι τοξίνες δημιουργούν έναν όξινο όρο. Οι περισσότερες τοξίνες δηλαδή, τα βαριά μέταλλα, τα παθογόνα, τα φυτοφάρμακα, τα μη φιλικά βακτηρίδια, αφαιρούνται καλύτερα σ' αυτούς που έχουν μεγαλύτερο αλκαλικό όρο στο σώμα.

Ο άργιλος Terramin έχει μια άμεση επίδραση στην αφαίρεση των ανώμαλων βακτηριδίων που τα δεσμεύουν και τα αφαιρούν από το σώμα μέσω της διαδικασίας αποβολών.

Σε περιοχές που χρησιμοποιούν νερό λιμνών ή ποταμών η διαδικασία καθαρισμού περιλαμβάνει: προχλωρίωση, πρώτο πέρασμα από φίλτρα, πιθανή προσθήκη αντιδραστηρίων για τη ρύθμιση του pH ή άλλων στοιχείων, ακολουθεί διήθηση από διαστρωματικά φίλτρα και τέλος χλωρίωση με αέριο χλώριο. Τα διαστρωματικά φίλτρα περιλαμβάνουν στρώματα άμμου και σειρά από λεπτά σκύρα διαφόρων κοκκομετρικών συστάσεων που κυμαίνονται από 0.7 ως 6 χιλιοστά. Πολλές φορές ως πρώτο στρώμα χρησιμοποιούνται κόκκοι ορυκτού άνθρακα που εξασφαλίζουν την αφαίρεση σιδήρου και μαγγανίου, την αφαίρεση αιωρούμενων στερεών και την καθαρότητά του νερού. Οι κόκκοι άνθρακα που χρησιμοποιούνται έχουν κοκκομετρική σύσταση από 0.8 ως 7 χιλιοστά. Η χλωρίωση του νερού είναι αναγκαία για την τέλεια απολύμανσή του.

Για τη χλωρίωση εφαρμόζονται γενικά οι ακόλουθοι τρόποι: με αέριο χλώριο, με υποχλωριώδες ασβέστιο ή με υποχλωριώδες νάτριο. Κάθε μια από τις διαδικασίες αυτές έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της που σχετίζονται από την ευκολία ή μη της εφαρμογής, από το κόστος ή από την απόδοσή τους. Στις πιο σύγχρονες εγκαταστάσεις χρησιμοποιείται κυρίως αέριο χλώριο που μερικές φορές παράγεται επιτόπια. Το αέριο χλώριο δε χάνει ποτέ την ικανότητά του ανεξάρτητα από το χρόνο που θα μείνει αποθηκευμένο. Το υποχλωριώδες ασβέστιο ή το υποχλωριώδες νάτριο διαθέτουν ένα ποσοστό 10-15% σε ενεργό χλώριο. Πρέπει να σημειωθεί ότι ενώ η απλή χλωρίωση του νερού είναι επαρκής και αποτελεσματική σε

νερό που προέρχεται από πηγές ή από φρεάτια, το νερό που προέρχεται από λίμνες ή ποταμούς χρειάζεται πιο σύνθετες μεθόδους διύλισης όπως προχλωρίωση, διέλευση από φίλτρα, συνδυασμό χλωρίου, αμμωνίας, υπερχλωρίωση κτλ. Για λόγους προληπτικής υγιεινής εφαρμόζεται πολλές φορές ιωδίωση και φθορίωση του νερού.

Οι νέες και οι υφιστάμενες εγκαταστάσεις μετά από επισκευές καθώς και οι κεντρικές σωληνώσεις διανομής πρέπει να χλωριώνονται ώστε το νερό που διαθέτουν να είναι πλήρως απολυμασμένο χωρίς βακτηρίδια, ιούς ή μικροοργανισμούς. Τα ιζήματα που σχηματίζονται σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις και προέρχονται από οργανικές ουσίες, οξειδία μετάλλων ή νεκρές άλγες αποτελούν ιδανική κλίμη ανάπτυξης βακτηριδίων ή μικροοργανισμών. Εκτός από τους κινδύνους για την υγεία που προϋποθέτει η ανάπτυξη βακτηριδίων παύει το νερό να είναι διαυγές και αποκτά διάφορες οσμές, κακή γεύση και γενικά γίνεται ακατάλληλο για τους ανθρώπους. Η χλωρίωση λύνει πολλά από τα προηγούμενα προβλήματα και ιδιαίτερα παρέχει καλό πόσιμο νερό με μόνο μειονέκτημα κάποια ιδιάζουσα οσμή.

Η βιομηχανία κατασκευής μέσω αποστείρωσης και φίλτρων αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές επιχειρήσεις με συνεχή και σταθερή ανάπτυξη. Πρέπει να σημειωθεί ότι η εφαρμογή αποστακτήρων παρά την απομάκρυνση των βιομηχανικών και αγροτικών ουσιών που μολύνουν το νερό και την αφαίρεση του πλείστου των μικροοργανισμών έχει πολύ αργή διαδικασία, απαιτεί ηλεκτρικό ρεύμα και είναι πολύ δαπανηρή ώστε να εφαρμόζεται σε ειδικές περιπτώσεις. Κάθε μια από τις επιχειρήσεις κατασκευής φίλτρων παράγει προϊόντα που καθαρίζουν το νερό συνήθως με συνδυασμό ορισμένων από τις γνωστές μεθόδους επεξεργασίας πόσιμου νερού. Το τελικό αποτέλεσμα πρέπει να είναι η παροχή εύγευστου και καθαρού νερού χωρίς μικροοργανισμούς, μικρόβια ή ιούς. Οι κυριότερες από αυτές τις συσκευές που γενικά είναι γνωστές με τον όρο φίλτρα, χαρακτηρίζονται ως: φίλτρα καθίζησης, φίλτρα ρητινών, φίλτρα ενεργού άνθρακα, φίλτρα διέλευσης από θαλάμους υπεριώδους ακτινοβολίας, βακτηριοστατικά φίλτρα με ενεργό άνθρακα εμβαπτισμένο σε άργυρο, συσκευές μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης, κεραμικά φίλτρα κτλ. Τα φίλτρα που κυκλοφορούν στο εμπόριο συνδυάζουν συνήθως δυο ή περισσότερες από τις πιο πάνω διαδικασίες διήθησης και αποστείρωσης. Κυκλοφορούν ακόμη και πολύ απλά φίλτρα που συγκρατούν μόνο τις αιωρούμενες ύλες όπως σωμάτια, ίνες, μόρια σκουριάς, διαλυμένη άργιλο και γενικά σχετικά ογκώδη σωμάτια που περιλαμβάνονται στο νερό. Πρέπει να σημειωθεί ότι αποτελούν συσκευές τελείως προκαταρκτικής επεξεργασίας και δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται ως επαρκείς και κατάλληλες συσκευές για παροχή υγιεινού πόσιμου νερού. Κατά την διαδικασία αποστείρωσης, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των κυριότερων τύπων φίλτρων αναφέρονται παρακάτω.

**Φίλτρα αποστείρωσης με ρητίνες.** Συνήθως συνδυάζουν τα φίλτρα ρητίνης με τον ενεργό άνθρακα. Αποτελούν φίλτρα με πολλά στάδια καθαρισμού. Χρησιμοποιούν θάλαμο καθίζησης για την αφαίρεση αιωρούμενων σωματιών. Οι ρητίνες καταστρέφουν τα βακτηρίδια του νερού, τους ιούς και τα παράσιτα. Ο ενεργός άνθρακας εξασφαλίζει εύγευστο και άοσμο νερό. Τα στερεά τεμάχια άνθρακα απορροφούν τις χημικές ουσίες, τα ζιζανιοκτόνα, τα εντομοκτόνα, τα λιπάσματα και τις άλλες ακαθαρσίες. Ακόμη μπορεί να περιλαμβάνουν και μέσα που απορροφούν το μόλυβδο, τα βαρέα μέταλλα τα νιτρικά άλατα και τον σίδηρο. Γενικά είναι απλές κατασκευές που έχουν εύκολη εγκατάσταση, δεν απαιτούν τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος. Εξασφαλίζουν πόσιμο νερό απαλλαγμένο από μικρόβια, ιούς και παράσιτα ενώ απορροφούν τις περισσότερες από τις επικίνδυνες βιομηχανικές χημικές ουσίες.

Αν η στάθμη σιδήρου που περιέχεται στο νερό ξεπερνά τα 5 ppm πρέπει να περιλαμβάνουν ειδικό φίλτρο συγκράτησης του σιδήρου.

**Φίλτρα αντίστροφης ώσμωσης.** Περιλαμβάνουν μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης, φυσίγγιο ενεργού άνθρακα και δοχείο ή δεξαμενή συλλογής καθαρού πόσιμου νερού. Το νερό συμπιέζεται και εξαναγκάζεται να περάσει υπό υψηλή πίεση από μια ημιδιαπερατή μεμβράνη. Η μεμβράνη εμποδίζει να περάσουν από αυτήν ορισμένα από τα στοιχεία που μολύνουν το νερό. Το νερό αφού περάσει στη συνέχεια από φίλτρο ενεργού άνθρακα συλλέγεται έτοιμο προς διανομή σε ένα τελικό δοχείο αποθήκευσης. Τα φίλτρα αντίστροφης ώσμωσης ενεργούν σε μολυντικές βιομηχανικές ουσίες και αφαιρούν τα άλατα του νερού. Στα μειονεκτήματα πρέπει να αναφερθεί ότι δεν αφαιρούν τους μικροοργανισμούς, απαιτούν ιδιαίτερη αντλία για τη συμπίεση του νερού με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, χρειάζονται δεξαμενή συλλογής του νερού στην οποία είναι δυνατό να αναπτυχθούν βακτηρίδια, έχουν υψηλό κόστος συντήρησης και τέλος αφαιρούν ορισμένες ωφέλιμες ορυκτές ουσίες από το νερό.

**Φίλτρα υπεριώδους ακτινοβολίας και ενεργού άνθρακα.** Χρησιμοποιούν φυσίγγια ενεργού άνθρακα και θάλαμο με φωτισμό υπέρυθρης ακτινοβολίας. Το νερό διέρχεται από το φίλτρο ενεργού άνθρακα που το κάνει εύγευστο και άοσμο. Στη συνέχεια εκτίθεται σε υπεριώδη ακτινοβολία που καταστρέφει τα περισσότερα από τα βακτηρίδια και τους ιούς. Στα μειονεκτήματά τους πρέπει να αναφερθεί ότι δεν περιορίζουν όλους τους μικροοργανισμούς, και ότι έχουν περιορισμένη ικανότητα απορρόφησης των βιομηχανικών και αγροτικών ουσιών μόλυνσης. Οι κλίνες του ενεργού άνθρακα μπορεί να διευκολύνουν την ανάπτυξη ορισμένων βακτηριδίων, ενώ απαιτούν ηλεκτρικό ρεύμα. Τέλος οι λυχνίες υπεριώδους ακτινοβολίας μπορεί να καλυφθούν με ρύπους που περιορίζουν την απόδοση της ακτινοβολίας χωρίς κάποιο είδος προειδοποίησης.

**Βακτηριοστατικά φίλτρα με ενεργό άνθρακα.** Το νερό περνά πρώτα από το φίλτρο ενεργού άνθρακα. Ο άνθρακας που είναι εμβαπτισμένος σε άργυρο σταματά την ανάπτυξη βακτηριδίων στις κλίνες άνθρακα. Απορροφά το χλώριο και εξασφαλίζει νερό εύγευστο και άοσμο. Στα μειονεκτήματα περιλαμβάνονται το γεγονός ότι δε σκοτώνει τα βακτηρίδια και τους άλλους μικροοργανισμούς, περιορίζει την ανάπτυξη των βακτηριδίων αλλά δεν εμποδίζει τη διέλευση βακτηριδίων, ιών και παρασίτων στο επεξεργασμένο νερό. Το νερό περιέχει ίχνη αργύρου που είναι δυνατό να έχουν δυσμενή επίδραση στην υγεία. Έχει περιορισμένη ικανότητα απορρόφησης των επικίνδυνων χημικών, βιομηχανικών ή αγροτικών ουσιών. Η κοκκώδης σύσταση του άνθρακα περιορίζει την αποτελεσματικότητά του. Οι έρευνες που έχουν γίνει δε δείχνουν σημαντική στατιστική διαφορά στον αριθμό των βακτηριδίων που εξουδετερώνονται σε σύγκριση με μονάδες φίλτρων που περιλαμβάνουν μόνο φίλτρο ενεργού άνθρακα.

**Κεραμικά φίλτρα.** Περιλαμβάνουν κεραμικό φίλτρο και ενεργό άνθρακα. Το νερό συμπιέζεται ώστε να περάσει από το κεραμικό φίλτρο που έχει πολύ λεπτούς πόρους. Με τον τρόπο αυτό ορισμένες μολυντικές ουσίες δεν περνούν από το σύστημα. Ο ενεργός άνθρακας κάνει το νερό εύγευστο και άοσμο. Αποτελεί φίλτρο που εμποδίζει τη διέλευση πολλών μικροοργανισμών. Στα μειονεκτήματα του πρέπει να σημειωθεί ότι δεν παγιδεύει όλους τους μικροοργανισμούς, έχει περιορισμένη ικανότητα απορρόφησης των χημικών ουσιών, των ζιζανιοκτόνων και των εντομοκτόνων ή άλλων ακαθαρσιών. Αναπτύσσονται βακτηρίδια γύρω από την

είσοδο του νερού στην επιφάνεια του κεραμικού φίλτρου που περιορίζουν τη ροή και επιβάλλουν το συχνό καθάρισμα της επιφάνειας αυτής του κεραμικού φίλτρου.

Για να μειώσουν περαιτέρω την τοξικότητα του πόσιμου νερού, ο συμβατικός ασβέστης και η επεξεργασία στυπτηριών του πόσιμου ύδατος μπορούν να παραγάγουν ένα προϊόν με λιγότερο από πενήντα μέρη ανά δεκάτομμυριο από συνολικό μέταλλο αρσενικού. Οι ευρωπαϊκοί ερευνητές και οι διεθνείς συνεργάτες στο ίδρυμα της ΟΥΝΕΣΚΟ για την εκπαίδευση ύδατος στην Ολλανδία έχουν τελειοποιήσει μια απλή, αποδοτική και σημαντικά χαμηλού κόστους συσκευή διήθησης ύδατος, που αφαιρεί το αρσενικό από το μολυσμένο πόσιμο νερό. Το φίλτρο χρησιμοποιεί άμμο με οξείδιο σιδήρου που απορροφά το αρσενικό από το νερό.

Η αφαίρεση αρσενικού οικιακών επιπέδων έχει αναπτυχθεί με διάφορες τεχνικές από το πόσιμο νερό σε οικιακό επίπεδο, δηλ. μικρής κλίμακας εγκαταστάσεις αφαίρεσης ή φίλτρα. Οι διαθέσιμες τεχνικές περιλαμβάνουν τη μέθοδο φίλτρου, την παθητική ιζηματογένεση, κ.λπ. Αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούνται σε οικιακό επίπεδο όπου το μολυσμένο νερό με αρσενικό περνάει μέσω μιας μονάδα φίλτρανσης για να αφαιρέσει το αρσενικό και να καταστήσει το νερό κατάλληλο για την κατανάλωση.

Το φίλτρο άμμου λιμνών αυτό είναι ένα αργό φίλτρο άμμου που χρησιμοποιείται στο νερό των λιμνών. Ένα φίλτρο άμμου κατασκευάζεται κοντά σε μια διατηρημένη λίμνη και αυτό μπορεί να παρέχει το αρσενικό και το ελεύθερο πόσιμο νερό βακτηριδίων. Εντούτοις, η συντήρηση είναι ένα σημαντικό πρόβλημα.

Οι υπάρχουσες τεχνολογίες ελέγχου που μειώνουν το διοξείδιο του θείου, οξείδια αζώτου και μοριακό θέμα για τους λέβητες με κάρβουνο και αποτεφρωτήρες, ενώ χρησιμοποιείται, όχι ευρέως, σε πολλές χώρες, παράγουν επίσης κάποιο επίπεδο ελέγχου υδραργύρου. Η τεχνολογία για τον πρόσθετο έλεγχο υδραργύρου είναι κάτω από την ανάπτυξη και την επίδειξη, αλλά ακόμα εμπορικά δεν επεκτείνεται. Μακροπρόθεσμα, οι πολυ-μολυσματικές τεχνολογίες ελέγχου μπορούν να είναι μια οικονομικώς αποδοτική προσέγγιση. Εντούτοις, οι end-of-ripe τεχνολογίες ελέγχου, μετριάζοντας το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης υδραργύρου, οδηγούν ακόμα στα απόβλητα υδραργύρου που είναι πιθανές πηγές μελλοντικών εκπομπών και πρέπει να ξεφορτωθούν ή να επαναχρησιμοποιηθούν κατά τρόπο περιβαλλοντικά αποδεκτό.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ανδρεαδάκης Α., Βάρφη Α., Γιαννακούρου Γ., Κοϊμτζόγλου Ι., Νικολάου Κ., Χρίστουλας Δ., 1999, Εισαγωγή στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, Τόμος Β2- Το ανθρωπογενές περιβάλλον, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Πατρών-Σχολή θετικών επιστημών και τεχνολογίας, Σελ.248.

Ηλιοπούλου-Γεωργουδάκη Ι., 2002, Ρύπανση περιβάλλοντος, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Πατρών -Τμήμα βιολογίας, Σελ.170.

Κουιμτζή Θ., Σαμαρά – Κωνσταντίνου Κ., Φυτιάνου Κ., 1998, Χημεία περιβάλλοντος, Εκδόσεις Επιστημονικών βιβλίων και περιοδικών (university studio press), Θεσσαλονίκη, Σελ.376.

Κουιμτζή Θ, Σαμαρά – Κωνσταντίνου Κ., 1994, Έλεγχος ρύπανσης περιβάλλοντος, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, Σελ.277.

Κωτσοβίνου Ν.Ε., 1969, Ρύπανση και προστασία περιβάλλοντος, Εκδοτικός οργανισμός Γρηγ. Φούντας, Σελ.256.

Μάλλιαρος Χ.Θ., 2000, Περιβάλλον - Ρύπανση- Τεχνικές αντιρρύπανσης, Εκδόσεις Μεταίχμιο, Σελ.116.

Τσιούρης Σ. 2001. Θέματα προστασίας περιβάλλοντος, Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη. Σελ 349.

Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Τεύχος Δεύτερο, Αρ. Φύλλου 892, Νόμος Υπ' αριθ. 3199, Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης – Εναρμόνιση με την Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 1998.

Mc Graw-Hill handbooks ,Water quality and treatment, a handbook of community water supplies, American water works association, fifth edition.

Jerry A. Nathanson, 1964, Basic environmental technology, Water supply-waste management and pollution control ,third edition by R. R. Donnelley & Sons Company, Pages 484.

E. Roberts Alley, 2001, Water quality control handbook, Edition by Companies McGraw-Hill, Pages 572.

### ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ INTERNET

[www.minerals.net](http://www.minerals.net)

[www.elements.com](http://www.elements.com)

[www.epa.gov](http://www.epa.gov) , Environment Protection Agency

[www.who.int](http://www.who.int) , World health organization

[www.nrdc.org](http://www.nrdc.org) , Natural Resources Defense Council

[www.mii.org](http://www.mii.org)

[www.copper-gate.com](http://www.copper-gate.com)

[www.galleries.com](http://www.galleries.com)

[www.montana.edu](http://www.montana.edu)

[www.asarco.com](http://www.asarco.com)



[www.vanderkrogt.net](http://www.vanderkrogt.net)  
[www.umeciv.maine.edu](http://www.umeciv.maine.edu)  
[www.yorkshiregrit.com](http://www.yorkshiregrit.com)  
[www.asia-arsenic.net](http://www.asia-arsenic.net)  
[www.bangladeshinfo.com](http://www.bangladeshinfo.com)  
[www.cimmyt.org](http://www.cimmyt.org)  
[www.ens-newswire.com](http://www.ens-newswire.com)  
[www.unirex-jp.com](http://www.unirex-jp.com)  
[www.fabreminerals.com](http://www.fabreminerals.com)  
[www.cadmium.org](http://www.cadmium.org)  
[www.jamesmbrown.co.uk](http://www.jamesmbrown.co.uk)  
[www.corrosion-doctors.org](http://www.corrosion-doctors.org)  
[www.geology.neab.net](http://www.geology.neab.net)  
[www.trfenv.com](http://www.trfenv.com)  
[www.ci.superior.wi.us](http://www.ci.superior.wi.us)  
[www.biomercury.de](http://www.biomercury.de)