



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΓΚΑΘΙΔΡΥΣΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ
ΑΠΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΙΝΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΤΣΙΝΑΡΙΔΟΥ ΕΥΘΥΜΙΑ – ΑΜ: 3020036

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΚΑΒΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΛΑΡΙΣΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2024

Περιεχόμενα

ABSTRACT	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΡΥΠΑΝΣΗ.....	8
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.2 ΔΙΑΦΟΡΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΜΟΛΥΝΣΗΣ.....	8
1.3 ΜΟΡΦΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	9
1.3.1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....	9
1.3.2 ΕΔΑΦΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	12
1.3.3 ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗ	15
1.3.4 ΦΩΤΟΡΥΠΑΝΣΗ	16
1.3.5 ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗ	18
1.3.6 ΥΔΑΤΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	21
1.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	22
1.4.1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....	22
1.4.2 ΕΔΑΦΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	24
1.4.3 ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗ	25
1.4.4 ΦΩΤΟΡΥΠΑΝΣΗ	26
1.4.5 ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗ	28
1.4.6 ΥΔΑΤΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	29
1.5 ΕΙΔΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	32
1.5.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΡΥΠΩΝ	32
1.5.2 ΣΥΝΕΧΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΠΤΟΜΕΝΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	32
1.6 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΡΥΠΟΥ	33
1.6.1.ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ ΡΥΠΩΝ.....	33
1.6.2 ΣΥΣΣΩΡΕΥΜΕΝΟΙ ΚΑΙ ΜΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΜΕΝΟΙ ΡΥΠΟΙ	34
1.6.3 ΑΝΟΡΓΑΝΟΙ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ	34
1.6.4 ΥΔΡΟΦΙΛΟΙ ΚΑΙ ΛΙΠΟΦΙΛΟΙ ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ	37
1.6.5 ΕΠΙΜΟΝΟΙ ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (POPs)	37
1.7 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΥΔΑΤΩΝ	44
1.7.1 1 ^η Οδηγία.....	44
1.7.2 2 ^η Οδηγία.....	45
1.7.3 3 ^η Οδηγία.....	46
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	49

2.2 ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΙΝΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	49
2.3 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΙΝΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	50
2.3.1 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ	50
2.3.2 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	50
2.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	51
2.4.1 ΑΜΕΣΗ ΚΑΙ ΕΜΜΕΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	51
2.4.2 ΣΗΜΕΙΑΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΣΗΜΕΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	52
2.4.3 ΦΘΑΛΙΚΟΙ ΕΣΤΕΡΕΣ	54
2.4.4 ΥΠΕΡΦΘΟΡΟΑΛΚΥΛΙΩΜΕΝΕΣ ΧΗΜΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ (PFAS)	61
2.5 ΝΕΑ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (2023)	70
2.5.1. Οδηγία ΕΕ 2020/2184.....	70
2.5.2. ΦΕΚ 3525/2023	71
3.1 ΕΚΧΥΛΙΣΗ.....	72
3.2 ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ.....	73
3.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ (CLEANUP).....	75
3.2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ (EXTRACTION).....	82
3.3 ΥΓΡΗ ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΜΑΖΑΣ (LC-MS-MS).....	93
4.1 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ	95
4.2 ΣΤΑΘΜΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	96
4.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	99
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	100
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	100

ΕΙΚΟΝΕΣ

Αριθμός	Τίτλος Εικόνας	Σελίδα
1	Υγειονομικές επιπτώσεις από τους αναδυόμενους ρύπους	30
2	Πηγές επίμονων οργανικών ρύπων	38
3	Οι χημικοί τύποι των έμμονων οργανικών ρύπων	41
4	Οι χημικοί τύποι των έμμονων οργανικών ρύπων	42

5	Οι χημικοί τύποι των έμμονων οργανικών ρύπων	42
6	1ος πίνακας όρια για τα εσωτερικά ύδατα και 2ος πίνακας παράκτια και μεταβατικά ύδατα	44
7	Όρια για τα ύδατα κολύμβησης	45
8	Όρια των μικροβιολογικών παραμέτρων	46
9	Όρια χημικών παραμέτρων	47
10	Κατάληξη των φθαικών εστερών στον ανθρώπινο οργανισμό	58
11	Χημική δομή από υπερφθοροαλκυλικη ουσία (αριστερά). Χημική δομή από πολυφθοροαλκυλικη ουσία (δεξιά)	62
12	Πίνακας κατηγοριοποίησης πολυμερών PFAS	62
13	Πίνακας κατηγοριοποίησης μη πολυμερών PFAS	63
14	1ος πίνακας πολυφθοροαλκυλικών ουσιών	63
15	2ος πίνακας πολυφθοροαλκυλικών ουσιών	64
16	Προϊόντα τα οποία περιέχουν PFAS	65
17	Liquid-liquid extraction	82
18	Διαδικασία liquid-liquid extraction	83
19	Συσκευή απόσταξης Soxhlet	85
20	Διάγραμμα φάσεων για μία καθαρή ουσία (CO ₂) σε ένα κλειστό σύστημα	86
21	Εκχύλιση στερεής φάσης	89
22	Διαβίβαση διαλύτη από φυσίγγια SPE με τη βοήθεια κενού σε ειδική συσκευή	90

23	Υγρή χρωματογραφία μάζας	94
24	Σταθμοί δειγματοληψίας	96
25	Σταθμοί δειγματοληψίας	97
26	Σταθμοί δειγματοληψίας	97

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσοι με στήριξαν και με βοήθησαν καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κακάβα Κωσταντίνο του τμήματος περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την πολύτιμη καθοδήγηση, την υποστήριξη και τις γνώσεις που μου πρόσφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας. Η εμπειρία και η υπομονή του υπήρξαν ανεκτίμητα για την επιτυχή ολοκλήρωση της πτυχιακής μου.

Επίσης, οφείλω θερμές ευχαριστίες στην οικογένειά μου, και ιδιαιτέρως στους γονείς μου, για την αδιάκοπη ενθάρρυνση, την κατανόηση και την υπομονή που έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Η υποστήριξή τους υπήρξε καθοριστική για την ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές μου για τη φιλία, τη συνεργασία και τη βοήθεια που μου πρόσφεραν, καθώς και για τις στιγμές χαράς και δημιουργικότητας που μοιραστήκαμε όλα αυτά τα χρόνια.

Σε όλους εσάς, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ρύπανση του περιβάλλοντος αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις της σύγχρονης εποχής, επηρεάζοντας αρνητικά τόσο το φυσικό όσο και το ανθρωπογενές περιβάλλον. Περιλαμβάνει τη διάχυση χημικών, βιολογικών ή ραδιενεργών ρυπαντών από διάφορες πηγές, όπως η βιομηχανία, τα οχήματα και οι γεωργικές πρακτικές. Οι επιπτώσεις της ρύπανσης είναι εκτεταμένες, περιλαμβάνοντας την υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα, των υδάτων και του εδάφους, με σοβαρές συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία, τη βιοποικιλότητα και την πολιτιστική κληρονομιά.

Ειδικότερα, τα υδάτινα οικοσυστήματα, τα οποία περιλαμβάνουν ζωντανούς οργανισμούς και το φυσικό τους περιβάλλον, επηρεάζονται σοβαρά από τη ρύπανση. Τα επιφανειακά οικοσυστήματα, όπως ποτάμια, λίμνες και ωκεανοί, είναι ζωτικά για

τη διατήρηση της βιοποικιλότητας και την παροχή πόσιμου νερού, ενώ τα υπόγεια ύδατα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στον υδρολογικό κύκλο. Η ρύπανση αυτών των οικοσυστημάτων, είτε άμεση είτε έμμεση, έχει σημαντικές επιπτώσεις για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία.

Η ρύπανση του νερού αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα, καθώς αφορά αλλαγές στις φυσικές, χημικές και βιολογικές παραμέτρους του νερού λόγω της παρουσίας επιβλαβών ουσιών. Αυτές οι ουσίες καθιστούν το νερό ακατάλληλο για χρήση και επικίνδυνο για τους οργανισμούς. Πηγές ρύπανσης περιλαμβάνουν τα αστικά λύματα, βιομηχανικά και γεωργικά απόβλητα, καθώς και τη διείσδυση θαλασσινού νερού. Οι φθαλικοί εστέρες, ως ανθεκτικοί οργανικοί ρύποι, είναι ιδιαίτερα επιβλαβείς λόγω της σταθερότητας και της ικανότητάς τους να συσσωρεύονται στους οργανισμούς και να διασπείρονται παγκοσμίως.

Μια άλλη σημαντική κατηγορία ρυπαντών είναι οι υπερφθοριωμένες και πολυφθοριωμένες αλκυλιωμένες ενώσεις (PFAS), οι οποίες είναι συνθετικές χημικές ουσίες με πλήρως ή μερικώς φθοριωμένη αλυσίδα άνθρακα. Οι ενώσεις αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για πάνω από 70 χρόνια σε διάφορα βιομηχανικά και καταναλωτικά προϊόντα, λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων τους, όπως η ανθεκτικότητα στο νερό, το λάδι και τη θερμότητα. Ωστόσο, οι PFAS είναι εξαιρετικά ανθεκτικές στη διάσπαση λόγω των ισχυρών δεσμών άνθρακα-φθορίου, γεγονός που οδηγεί στην παρατεταμένη παραμονή τους στο περιβάλλον και τη συσσώρευσή τους στους οργανισμούς, προκαλώντας ανησυχίες για τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Οι PFAS ταξινομούνται σε πολυμερή και μη πολυμερή, με τα πρώτα να αποικοδομούνται σε μονομερή PFAS, ενώ τα δεύτερα χωρίζονται σε υπερφθοροαλκυλικές και πολυφθοροαλκυλικές ουσίες.

Στο πλαίσιο της ανάλυσης και διαχείρισης τέτοιων ρυπαντών, η εκχύλιση αποτελεί μία σημαντική φυσικοχημική διεργασία. Χρησιμοποιείται για την απομόνωση ενός ή περισσότερων συστατικών από ένα στερεό ή υγρό μείγμα μέσω ενός κατάλληλου διαλύτη. Η επιλογή του διαλύτη είναι κρίσιμη, καθώς πρέπει να επιλέγεται με βάση την ικανότητά του να διαλύει επιλεκτικά το επιθυμητό συστατικό. Στη χημική ανάλυση, η διαδικασία της εκχύλισης συνοδεύεται από το στάδιο του καθαρισμού (cleanup), το οποίο αποσκοπεί στην απομάκρυνση ανεπιθύμητων συστατικών, όπως λιπίδια και πρωτεΐνες, βελτιώνοντας έτσι την ευαισθησία και την ακρίβεια της ανάλυσης. Τέλος, η τεχνική της υγρής χρωματογραφίας-φασματομετρίας μάζας (LC-MS/MS) χρησιμοποιείται ευρέως για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό διαφόρων δειγμάτων, όπως βιολογικά, φαρμακευτικά, περιβαλλοντικά και τροφικά.

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να παρουσιάσει την εκχύλιση των οργανικών ρύπων από τα υδάτινα επιφανειακά οικοσυστήματα. Συγκεκριμένα η έρευνα εστιάστηκε στην Θεσσαλία όπου πάρθηκε δείγμα από διάφορες περιοχές της σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα για να μελετηθεί με την βοήθεια υγρού χρωματογράφου η συγκέντρωση PFAS και φθαλικών εστέρων σε αυτά.

Λέξεις Κλειδιά: Ρύπανση, εμμονικοί οργανικοί ρύποι, υδάτινα οικοσυστήματα, μέθοδος εκχύλισης, φθαλικοί εστέρες, υπερφθοριωμένες αλκυλιωμένες ουσίες, υγρή χρωματογραφία .

ABSTRACT

Environmental pollution is one of the greatest challenges of modern times, negatively affecting both the natural and human-made environment. It involves the dispersion of chemical, biological, or radioactive pollutants from various sources such as industry, vehicles, and agricultural practices. The impacts of pollution are extensive, including the degradation of air, water, and soil quality, with serious consequences for human health, biodiversity, and cultural heritage. Pollution differs from contamination, which refers to the damage that has already been caused by pollutants.

In particular, aquatic ecosystems, which include living organisms and their natural environment, are severely affected by pollution. Surface ecosystems, such as rivers, lakes, and oceans, are vital for maintaining biodiversity and providing drinking water, while groundwater plays a crucial role in the hydrological cycle. Pollution of these ecosystems, whether direct or indirect, has significant environmental and public health consequences.

Water pollution is a serious problem, as it involves changes in the physical, chemical, and biological parameters of water due to the presence of harmful substances. These substances make water unsuitable for use and hazardous to organisms. Sources of pollution include urban wastewater, industrial and agricultural waste, as well as seawater intrusion. Phthalate esters, as persistent organic pollutants, are particularly harmful due to their stability and ability to accumulate in organisms and spread globally.

Another important category of pollutants is perfluorinated and polyfluorinated alkyl substances (PFAS), which are synthetic chemicals with fully or partially fluorinated carbon chains. These substances have been widely used for more than 70 years in various industrial and consumer products due to their unique properties, such as resistance to water, oil, and heat. However, PFAS are extremely resistant to degradation due to the strong carbon-fluorine bonds, which leads to their prolonged presence in the environment and their accumulation in organisms, raising concerns about their impact on human health. PFAS are classified into polymeric and non-polymeric substances, with the former breaking down into monomeric PFAS, while the latter are further divided into perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances.

In the context of analyzing and managing such pollutants, extraction is an important physicochemical process. It is used to isolate one or more components from a solid or liquid mixture using an appropriate solvent. The selection of the solvent is critical, as it must be chosen based on its ability to selectively dissolve the desired component. In chemical analysis, the extraction process is accompanied by the cleanup stage, which aims to remove unwanted components such as lipids and proteins, thus improving the sensitivity and accuracy of the analysis. Finally, the technique of liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS/MS) is widely used for the qualitative and quantitative determination of various samples, such as biological, pharmaceutical, environmental, and food samples.

The subject of this thesis is to present the extraction methods of organic pollutants in surface aquatic ecosystems. Specifically, the research focused on various sites in Thessaly.

Keywords: Pollution, persistent organic pollutants, aquatic ecosystems, extraction method, phthalate esters, perfluorinated alkyl substances, liquid chromatography.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΡΥΠΑΝΣΗ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ρύπανση του περιβάλλοντος αποτελεί μία από τις πλέον επιτακτικές προκλήσεις της σύγχρονης εποχής, με πολυδιάστατες και βαθιές επιπτώσεις στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον. Ως φαινόμενο, η ρύπανση περιλαμβάνει τη διάχυση διαφόρων ρυπαντών, οι οποίοι μπορεί να είναι χημικής, βιολογικής ή ραδιενεργής φύσης, και να προέρχονται από ποικίλες πηγές. Οι βιομηχανικές δραστηριότητες, οι εκπομπές καυσαερίων από τα οχήματα, οι γεωργικές πρακτικές και τα οικιακά απόβλητα συνεισφέρουν σημαντικά στη συγκέντρωση αυτών των ρυπαντών στο περιβάλλον.

Οι επιπτώσεις της ρύπανσης είναι εκτεταμένες και ποικίλες. Η υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα, των υδάτων και του εδάφους μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα υγείας στον ανθρώπινο πληθυσμό, καθώς και να οδηγήσει σε απώλειες παραγωγικότητας και οικονομική επιβάρυνση λόγω των αυξημένων ποσοστών νοσηρότητας και θνησιμότητας. Πέραν των άμεσων επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, η ρύπανση προκαλεί καταστροφή φυσικών οικοσυστημάτων, απειλώντας τη βιοποικιλότητα και διαταράσσοντας την οικολογική ισορροπία.

Η διάβρωση πολιτιστικών και ιστορικών μνημείων και η αποσταθεροποίηση των κοινοτήτων που εξαρτώνται από το φυσικό περιβάλλον για την επιβίωσή τους αποτελούν επίσης σημαντικές συνέπειες της ρύπανσης. Μακροπρόθεσμα, οι αλλαγές στο κλίμα και η ενίσχυση των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως οι πλημμύρες και οι πυρκαγιές, ενισχύουν την ανάγκη για άμεση και συντονισμένη δράση.

1.2 ΔΙΑΦΟΡΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΜΟΛΥΝΣΗΣ

Οι εννοιές ρύπανση και μόλυνση συχνά χρησιμοποιούνται ως συνώνυμες, όμως έχουν τελείως διαφορετική σημασιολογία.

- Ρύπανση

Η ρύπανση αναφέρεται στην εισαγωγή ουσιών στην ατμόσφαιρα, είτε πρόκειται για ουσίες που δεν θα έπρεπε να υπάρχουν καν σε φυσιολογικές συνθήκες, είτε για ουσίες

που υπάρχουν αλλά σε υψηλότερες συγκεντρώσεις από τις φυσιολογικές. Η κατάσταση αυτή επιφέρει μεταβολές στο περιβάλλον, που μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στη σωματική ευεξία των ανθρώπων, στην πανίδα ακόμα και στο ίδιο το οικοσύστημα. Η ρύπανση μπορεί να προέλθει από ποικίλες πηγές, όπως βιομηχανικές δραστηριότητες, κυκλοφορία οχημάτων, γεωργία, οικιακές δραστηριότητες και άλλες.

- Μόλυνση

Μόλυνση αναφέρεται στην παρουσία μικροοργανισμών λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας, η οποία μπορεί να προκαλέσει ασθένειες ή άλλες δυσλειτουργίες. Αναφέρεται στην πραγματική κατάσταση όπου η ρύπανση έχει ήδη προκαλέσει βλάβη ή διαταραχή στο φυσικό περιβάλλον ή στην υγεία των οργανισμών. Έτσι, η μόλυνση είναι η έκφραση της επίδρασης της ρύπανσης στο περιβάλλον, όταν αυτή έχει ήδη προκαλέσει ζημιά ή πρόκειται για περιβαλλοντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζεται.

Συνοψίζοντας, η ρύπανση αναφέρεται στην εισαγωγή ανεπιθύμητων ουσιών στο περιβάλλον, ενώ η μόλυνση αναφέρεται στην κατάσταση όταν αυτές οι ουσίες έχουν ήδη προκαλέσει βλάβη ή διαταραχή.

1.3 ΜΟΡΦΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η ρύπανση παρουσιάζεται σε πολλές μορφές και εκδηλώνεται με διάφορους τρόπους σε διάφορα περιβαλλοντικά συστήματα. Κάθε μορφή ρύπανσης έχει τις δικές της χαρακτηριστικές πηγές, επιπτώσεις και μεθόδους ελέγχου. Παρακάτω θα εξεταστούν αναλυτικά μερικές από αυτές τις μορφές.

1.3.1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση προκαλείται από την εκπομπή ουσιών στην ατμόσφαιρα λόγω ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως η βιομηχανία, η κυκλοφορία οχημάτων, η καύση ορυκτών καυσίμων και άλλες πηγές. Αυτές οι ουσίες, όπως τα οξείδια του αζώτου (NO_x), το διοξείδιο του θείου (SO₂), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και τα σωματίδια PM_{2.5} και PM₁₀ επιφέρουν δυσμενείς επιπτώσεις στη σωματική και ψυχική υγεία του ανθρώπου, όπως αναπνευστικά προβλήματα, αλλεργίες, καρδιαγγειακές παθήσεις και στρες. Πέραν της επίδρασης στην ανθρώπινη υγεία, η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να πλήξει και το οικοσύστημα, προκαλώντας ζημιές στη βιοποικιλότητα και στους φυσικούς πόρους. Ακόμα, μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις σε υλικά αγαθά, καθώς η έκθεσή τους σε ρυπογόνες ουσίες μπορεί να προκαλέσει διάβρωση και φθορά. Οι επιπτώσεις αυτές καθιστούν απαραίτητη την υιοθέτηση μέτρων για την ελάττωση της ρύπανσης. Στην Ελλάδα, το πρόβλημα της ρύπανσης άρχισε να γίνεται έντονο μετά το 1975 με την αύξηση της αστυφιλίας και της υπερκατανάλωσης.

1.3.1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η βασική πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι η ανθρώπινη δραστηριότητα σε διάφορους τομείς.

Η παραγωγή ενέργειας, η οποία συνήθως βασίζεται στην καύση ορυκτών καυσίμων, απελευθερώνει αέρια ρύπανσης όπως τα οξείδια του αζώτου και το διοξείδιο του θείου. Η βιομηχανική δραστηριότητα παράγει εκπομπές από διάφορες διαδικασίες και εργασίες, συμπεριλαμβανομένης της καύσης καυσίμων και της χρήσης χημικών ουσιών. Οι μεταφορές, κυρίως οδικές και αεροπορικές, είναι μια σημαντική πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω των εκπομπών από κινητήρες εσωτερικής καύσης. Η θέρμανση των κτιρίων αποτελεί επίσης μια πηγή εκπομπών ρύπανσης.

Εκτός από τις μεγάλες πηγές ρύπανσης, υπάρχουν και μικρότερες πηγές που συμβάλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση, όπως τα καθαριστήρια, τα αρτοποιεία, τα ξενοδοχεία και τα νοσοκομεία. Αν και αυτές οι πηγές εκπέμπουν μικρότερες ποσότητες ρύπων σε σύγκριση με τις μεγάλες βιομηχανίες, η συνολική συμβολή τους είναι σημαντική, ειδικά σε αστικές περιοχές όπου συγκεντρώνονται πολλές τέτοιου είδους δραστηριότητες.

Επιπλέον, οι δασικές πυρκαγιές επιδεινώνουν την ατμοσφαιρική ποιότητα, καθώς οι εκπομπές από την καύση των δασικών εκτάσεων απελευθερώνουν πολλές επικίνδυνες ουσίες, συμπεριλαμβανομένων των σωματιδίων και των πτητικών οργανικών ενώσεων, που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα και μπορούν να προκαλέσουν ανθρώπινες ασθένειες.

1.3.1.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΗΓΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Οι πηγές ρύπανσης μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο βασικές ομάδες, τις φυσικές πηγές, που προέρχονται από φυσικές διεργασίες και τις ανθρωπογενείς πηγές, που οφείλονται στις δραστηριότητες του ανθρώπου. Οι πηγές ρύπανσης που προέρχονται από το περιβάλλον είναι ηφαίστεια, θαλάσσια σταγονίδια, γύρη, βιολογική αποσύνθεση φυτών και ζώων, ερημική και εδαφική σκόνη και πυρκαγιές των δασών. Ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης είναι βιομηχανικές πηγές, μεταφορές, κεντρική θέρμανση, εμπορικές και αγροτικές δραστηριότητες, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και κατασκευαστικά έργα. Η φύση εκλύει περισσότερους ρύπους σε ποσότητα επειδή όμως εκλύονται ομοιόμορφα στον πλανήτη καμία περιοχή δεν έχει υψηλές τιμές. Αντίθετα ο άνθρωπος επειδή τους εκλύει σε συγκεκριμένες περιοχές όπως για παράδειγμα βιομηχανίες σε αστικά κέντρα, δημιουργεί πολύ πιο σοβαρά προβλήματα.

1.3.1.3 ΚΥΡΙΟΙ ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ

Οι κύριοι αέριοι ρύποι που προκαλούν σοβαρές επιπτώσεις στην ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι οι παρακάτω:

i) Διοξείδιο του θείου (SO_2)

Προέρχεται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο. Η εκπομπή του συνδέεται κυρίως με εργοστάσια παραγωγής ενέργειας και βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

ii) Οξείδια του αζώτου (NO_x)

Για την ατμοσφαιρική ρύπανση υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για (NO) και (NO_2). Προέρχεται κυρίως από τις καύσεις των αυτοκινήτων, τα βιομηχανικά εργοστάσια, καύσεις ορυκτών καυσίμων, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τα συστήματα θέρμανσης. Η έκθεση σε υψηλά επίπεδα διοξειδίου του αζώτου (NO_2) μπορεί να

προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων (όπως αναπνευστικά προβλήματα, επιδείνωση των πνευμονικών παθήσεων) και στο περιβάλλον (όπως την επιδείνωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του εδαφικού υποστρώματος και των υγρών στοιχείων)

iii) Οξείδια του άνθρακα (CO_x)

Τα οξείδια του άνθρακα αποτελούν μια κατηγορία ρύπων που περιλαμβάνει δύο κύριες ενώσεις, το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Το μονοξείδιο του άνθρακα εντοπίζεται σε διάφορες πηγές, τόσο φυσικές όσο και ανθρωπογενείς. Οι φυσικές πηγές περιλαμβάνουν τις εκρήξεις ηφαιστείων και τις πυρκαγιές των δασών, διάφορες διαδικασίες βιολογικής διάσπασης οργανικών υλικών και τους ωκεανούς από την δράση των βακτηρίων. Από τις ανθρωπογενείς είναι βιομηχανικές διεργασίες, μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και καύση των μηχανών στα αυτοκίνητα. Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) επηρεάζει σημαντικά την υγεία του ανθρώπου καθώς δυσχεραίνει ή διακόπτει την φυσιολογική λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος.

iv) Όζον (O_3)

Το όζον υπάρχει σε 3 ύψη μέσα στην ατμόσφαιρα. Το πρώτο είναι το όζον που βρίσκεται κοντά στο έδαφος (τροπόσφαιρα), το οποίο εκτείνεται από την επιφάνεια της Γης μέχρι 10-15 χιλιόμετρα ύψους. Προκαλείται από την αντίδραση των ατμοσφαιρικών εκπομπών με την ηλιακή ακτινοβολία έχοντας σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου όσο το αναπνέει. Το δεύτερο είναι σε ύψος 15 χιλιομέτρων λόγω της ρύπανσης που προκαλούν τα αεροπλάνα και το τρίτο στα 25 χιλιόμετρα το οποίο χρειάζεται ο άνθρωπος καθώς τον προστατεύει από τις επιβλαβείς ακτίνες του ήλιου. Σε αυτό το στρώμα είναι η τρύπα του όζοντος όπου εξαιτίας της λέπτυνσης του πάχους του περνάει η κακή υπεριώδης ακτινοβολία δημιουργώντας προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου.

v) Αιωρούμενα σωματίδια

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι κάθε ουσία που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε στερεή ή υγρή κατάσταση, εκτός από το καθαρό νερό. Πηγές αυτών των σωματιδίων είναι η καύση καυσίμων, πυρκαγιές δασών, καύση βιομάζας, αλλά και δραστηριότητες όπως οι μεταφορές και η βιομηχανία. Όσον αφορά τον άνθρωπο, το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του. Τα μεγάλα σωματίδια PM_{10} παγιδεύονται στο ανώτερο αναπνευστικό προκαλώντας ενόχληση όπως είναι ο βήχας, το φτέρνισμα και ο ερεθισμός ενώ τα $\text{PM}_{2.5}$ λόγω του μικρού τους μεγέθους πηγαίνουν βαθύτερα στους πνεύμονες φτάνοντας μέχρι τις κυψελίδες εμποδίζοντας την μεταφορά οξυγόνου από τα πνευμόνια στο αίμα, προκαλώντας με αυτόν τον τρόπο αναπνευστικά προβλήματα όπως αλλεργίες, αύξηση κίνδυνο ανάπτυξης αναπνευστικών και καρδιαγγειακών παθήσεων.

Οι παραπάνω αέριοι ρύποι αποτελούν σημαντικές πηγές ρύπανσης της ατμόσφαιρας και μπορούν να έχουν μη αναστρέψιμα αποτελέσματα για τον άνθρωπο όσο και για το ίδιο το περιβάλλον.

1.3.1.4 ANTIMETΩΠΙΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Για την αντιμετώπιση της συγκεκριμένης ρύπανσης απαιτούνται ολοκληρωμένες προσπάθειες σε διάφορα επίπεδα, συμπεριλαμβανομένων των πολιτικών αποφάσεων, των τεχνολογικών ανακαλύψεων και των ατομικών ενεργειών του κάθε ανθρώπου. Ορισμένοι τρόποι αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης περιλαμβάνουν:

1. **Κανονιστικά μέτρα:** Ορισμένες χώρες θεσπίζουν κανονισμούς και περιορισμούς για τις εκπομπές ρύπων από βιομηχανίες, αυτοκίνητα, και άλλες πηγές ρύπανσης. Οι περιβαλλοντικοί νόμοι και οι κανονισμοί μπορούν να περιλαμβάνουν περιορισμούς εκπομπών, πρότυπα ποιότητας αέρα, και πρότυπα απορρίψεων.
2. **Τεχνολογικές καινοτομίες:** Η ανάπτυξη και η χρήση νέων τεχνολογιών μπορεί να μειώσει τις εκπομπές ρύπων από βιομηχανίες, οχήματα και άλλες πηγές. Μερικά παραδείγματα περιλαμβάνουν τη μεταστροφή προς βιώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, την ανάπτυξη τεχνολογιών που βελτιώνουν την απόδοση των οχημάτων όπως η χρήση ηλεκτρικών ή υβριδικών μέσων μεταφοράς και η εφαρμογή διαδικασιών παραγωγής που είναι φιλικές προς το περιβάλλον όπως η ανακύκλωση υλικών και η χρήση βιώσιμων πρακτικών στις βιομηχανικές διεργασίες.
3. **Προώθηση βιώσιμων μεταφορών:** Η ενθάρρυνση της χρήσης δημόσιων μέσων μεταφοράς, του ποδηλάτου και άλλων μεθόδων μετακίνησης που προκαλούν λιγότερες εκπομπές ρύπων μπορεί να μειώσει την ατμοσφαιρική ρύπανση που προέρχεται από την οδική κυκλοφορία.
4. **Προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας :** Αυτό συνεπάγεται την ενίσχυση και την υποστήριξη της χρήσης πηγών ενέργειας που ανανεώνονται συνεχώς, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Αυτό μπορεί να επιφέρει ελαχιστοποίηση της εξάρτησης από τις παραδοσιακές, ορυκτές πηγές ενέργειας, όπως τα ορυκτά καύσιμα, με την έκθεση σε εναλλακτικές επιλογές ενέργειας που είναι πιο βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον. Επιπλέον, η χρήση αυτών των πηγών έχει την δυνατότητα να επιφέρει ελάττωση της παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου, προσφέροντας ένα πιο βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον ενεργειακό μοντέλο.
5. **Εναισθητοποίηση και εκπαίδευση:** Η εκπαίδευση του κοινού όσον αφορά τις συνέπειες οι οποίες ενδέχεται να προκληθούν με την ύπαρξη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς και οι προσπάθειες για τη μείωσή της μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη συνείδηση και δράση.

1.3.2 ΕΔΑΦΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η ρύπανση η οποία υπάρχει στο έδαφος προκαλείται από την εισαγωγή τοξικών ουσιών σε αυτό, όπως χημικά λιπάσματα, φυτοφάρμακα, βιομηχανικά απόβλητα και απορρίμματα. Αυτές οι ουσίες μπορούν να διαταράξουν την εδαφική ισορροπία, να μειώσουν τη γονιμότητα του εδάφους και να μολύνουν τα υπόγεια ύδατα.

1.3.2.1 ΠΗΓΕΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Οι πηγές ρύπανσης των εδαφών μπορούν να καταταχθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

1. Ατμοσφαιρικοί ρύποι

Αυτοί περιλαμβάνουν ρυπογόνα αιωρήματα από διάφορες βιομηχανίες, εξορύξεις και επεξεργασία μεταλλευμάτων, θέρμανση κατοικιών, και καυσάετια από την κυκλοφορία των αυτοκινήτων.

2. Γεωργικές πρακτικές

Περιλαμβάνουν τη χρήση φυτοφαρμάκων, λιπασμάτων, κτηνοτροφικών αποβλήτων, και την εφαρμογή ενεργούς λάσπης από την επεξεργασία αστικών λυμάτων ως εδαφοβελτιωτικό.

3. Σημειακές πηγές

Αφορούν συγκεκριμένα σημεία όπως ορυχεία, μεταλλεία και τα παραπροϊόντα τους.

4. Ραδιενεργοί ρύποι

Περιλαμβάνουν απόβλητα από πυρηνικές εγκαταστάσεις ενέργειας, παραγωγής πυρηνικών όπλων, καθώς και από πυρηνικά ατυχήματα ή δοκιμές πυρηνικών όπλων.

Όλες αυτές οι πηγές συμβάλλουν στη ρύπανση των εδαφών, επηρεάζοντας την ποιότητα τους και σε μεγαλύτερη κλίμακά παρουσιάζουν σοβαρές επιπτώσεις σε όλα τα οικοσυστήματα.

1.3.2.2 ΚΥΡΙΟΙ ΑΕΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ ΕΠΗΡΩΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Οι κυριότεροι αέριοι ρυποι που επηρεάζουν την ποιότητα του εδάφους είναι οι εξής:

i) Οξείδια του θείου (SO₂)

Προέρχονται σε μεγαλύτερο βαθμό από την καύση ορυκτών καυσίμων, όπως άνθρακας και πετρέλαιο. Το SO₂ από βιομηχανικές δραστηριότητες διαλύεται στην υγρασία του αέρα όπου και σχηματίζεται η όξινη βροχή. Αυτή μπορεί να επιδράσει αρνητικά στο έδαφος, κάνοντάς το πιο όξινο και επηρεάζοντας την υγεία των φυτών, καθώς μεταβάλλεται η πρόσβαση στα στοιχεία διατροφής που απαιτούνται για την εξέλιξή τους. Όταν το διοξείδιο του θείου (SO₂) παρουσιάζεται στον αέρα και διαλύεται στη βροχή, προκαλεί την αύξηση της οξύτητας του εδάφους. Αυτή η αλλαγή μπορεί να κάνει το έδαφος λιγότερο κατάλληλο για την ανάπτυξη των φυτών, περιορίζοντας την ικανότητά του να υποστηρίξει καλλιέργειες και να παράγει τρόφιμα.

ii) Οξείδια του αζώτου (NO_x)

Προκαλούνται κυρίως από τις καύσεις των οχημάτων, τις βιομηχανικές δραστηριότητες και τις αγροτικές εκπομπές. Η παρουσία τους μπορεί να οδηγήσει σε:

Οξυνσή του εδάφους

Τα οξείδια του αζώτου μπορούν να αλλοιώσουν την χημική ισορροπία του εδάφους. Αυτή η οξυνσή μπορεί να επηρεάσει την πρόσβαση στις θρεπτικές ουσίες οι οποίες είναι αναγκαίες για την εξέλιξη των φυτών και να επιβραδύνει τις χημικές διαδικασίες που συμβάλλουν στην ανάπτυξη αυτών.

Επιτάχυνση της διάβρωσης

Η όξυνση του εδάφους που προκαλείται από τα οξείδια του αζώτου μπορεί να αυξήσει τη διάβρωση του, μειώνοντας έτσι τη γονιμότητά του και επηρεάζοντας την ποιότητά αυτού για γεωργική χρήση.

Μείωση της βιολογικής δραστηριότητας

Υψηλά επίπεδα οξειδίων του αζώτου μπορούν να επηρεάσουν τη βιολογική δραστηριότητα του εδάφους, καθώς αυτοί οι ρυπαντές είναι τοξικοί για πολλούς μικροοργανισμούς που είναι σημαντικοί για τη διαδικασία της αποσύνθεσης του οργανικού υλικού.

Η παρουσία υψηλών επιπέδων οξειδίων του αζώτου στο έδαφος μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην αειφορία του αγροτικού οικοσυστήματος και στην γεωργική παραγωγή.

iii) **Οξείδιο του άνθρακα (CO)**

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι κατά βάση αποτέλεσμα της ατελούς καύσης καυσίμων σε οχήματα, βιομηχανικές εγκαταστάσεις και οικιακές συσκευές θέρμανσης. Αν και δεν έχει άμεσο αποτέλεσμα στη χημική σύνθεση του εδάφους όπως τα οξείδια του θείου ή του αζώτου, το CO μπορεί να επηρεάσει έμμεσα τη φυσική υγεία και ανάπτυξη των φυτών. Συνδέεται με τη μείωση της διαθεσιμότητας οξυγόνου, κρίσιμου για την αναπνοή των φυτών, και μπορεί να μειώσει την αποδοτικότητα της φωτοσύνθεσης. Αυτό σημαίνει ότι τα φυτά δυνητικά παράγουν μικρότερες ποσότητες ενέργειας για την ανάπτυξη και των πολλαπλασιασμό τους, μειώνοντας τη γενική τους παραγωγικότητα και επηρεάζοντας τις αγροτικές καλλιέργειες.

iv) **Οζόν**

Προκαλείται από την αντίδραση των αέριων ρυπαντών στην ατμόσφαιρα. Η παρουσία του μπορεί να επηρεάσει τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης και να προκαλέσει βλάβες στα φυτά.

1.3.2.3 ΚΑΔΜΙΟ ΚΑΙ ΧΑΛΚΟΣ

Δύο σημαντικά μέταλλα που επηρεάζουν την ποιότητα του εδάφους είναι το κάδμιο και ο χαλκός. Το κάδμιο, που προέρχεται από φωσφορικά λιπάσματα, αυξάνεται συσσωρευτικά στο έδαφος και είναι γνωστό για την καρκινογόνο δράση του. Υπάρχουν πολλές μελέτες που εστιάζουν στην ποσοτική ανάλυση αυτού του προβλήματος και στην αναζήτηση τρόπων για να μειωθεί η παρουσία του στα λιπάσματα. Από την άλλη πλευρά, ο Χαλκός, που χρησιμοποιείται ως αντιμυκητιακός παράγοντας στους αμπελώνες, έχει επίσης συσσωρευτεί στο έδαφος με ελάχιστες πιθανότητες αφαίρεσής του. Τα γεωργικά φάρμακα ειδικά τα οργανοχλωριούχα φυτοφάρμακα, παρά την απαγόρευσή τους εδώ και χρόνια, εξακολουθούν να βρίσκονται σε εδάφη σε ολόκληρη την Ευρώπη. Αυτό δείχνει μια ανεπάρκεια στον έλεγχο και την επίβλεψη της χρήσης τους. Επιπλέον, η εστίαση στις επιπτώσεις των σύγχρονων γεωργικών φαρμάκων στο έδαφος φαίνεται να είναι περιορισμένη, με το ενδεχόμενο να υπάρχουν προβλήματα που δεν έχουν ακόμη παρατηρηθεί. Αυτό αναδεικνύει την ανάγκη για αυστηρότερες ρυθμίσεις και ελέγχους για την εξασφάλιση της ασφάλειας του εδάφους και του οικοσυστήματος.

1.3.2.4 ANTIMETΩΠΙΣΗ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Για την αντιμετώπιση της εδαφικής ρύπανσης και την προστασία της υγείας, είναι σημαντικό να ληφθούν μέτρα τόσο για τον περιορισμό χρήσης επικίνδυνων χημικών, όσο για την εξέλιξη της αειφόρου γεωργίας και την ανάπτυξη βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης των αποβλήτων. Ορισμένοι τρόποι αντιμετώπισης της εδαφικής ρύπανσης περιλαμβάνουν:

1. **Ανάλυση και παρακολούθηση**

Η παρακολούθηση της ποιότητας του εδάφους και η ανάλυση των ρύπων που περιέχει είναι σημαντικά για την αντιμετώπιση της ρύπανσης. Η συλλογή δειγμάτων εδάφους και η αξιολόγηση των επιπτώσεών τους μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό των περιοχών που χρήζουν προσοχής.

2. **Καθαρισμός και αποκατάσταση**

Ο καθαρισμός των μολυσμένων περιοχών είναι σημαντικός για τη μείωση της ρύπανσης. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την απομάκρυνση επικίνδυνων ουσιών, την αποκατάσταση του εδάφους και την εφαρμογή τεχνικών όπως η φυτο-εξύγιανση.

3. **Περιορισμός των πηγών ρύπανσης**

Οι δραστηριότητες που προκαλούν εδαφική ρύπανση πρέπει να περιορίζονται ή να υπόκεινται σε αυστηρούς κανονισμούς. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την υιοθέτηση καλύτερων πρακτικών στη γεωργία και την ανάπτυξη περιβαλλοντικών προτύπων για τις βιομηχανίες.

4. **Ενημέρωση-κατανόηση**

Το να ενημερωθεί το κοινό για τις απειλές που δημιουργεί η ρύπανση του εδάφους και να ενθαρρυνθεί στο να συμμετάσχει σε πρωτοβουλίες που τη μειώνουν, είναι κρίσιμα βήματα προς την επίτευξη ενός βιώσιμου μέλλοντος και για την προστασία του περιβάλλοντος.

5. **Συνεργασία μεταξύ τομέων**

Η εδαφική ρύπανση συνήθως δεν είναι πρόβλημα που μπορεί να αντιμετωπιστεί από μία μόνον αρχή. Αντίθετα, απαιτεί συνεργασία μεταξύ των κυβερνητικών φορέων, των βιομηχανιών, των κοινοτήτων και άλλων ενδιαφερομένων φορέων.

1.3.3 ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗ

Η ηχορύπανση προέρχεται από την έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου από διάφορες πηγές, όπως οδική κυκλοφορία, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, αεροπορική κίνηση και άλλες δραστηριότητες. Η ηχορύπανση έχει την ικανότητα να επιφέρει σοβαρές επιπτώσεις στην ψυχική και σωματική ευεξία των ανθρώπων, επηρεάζοντας αρνητικά την καθημερινή τους ευημερία και την ποιότητα ζωής. Η αυξημένη παρουσία θορύβου στα αστικά περιβάλλοντα αποτελεί μια σημαντική αιτία ανησυχίας καθώς επηρεάζει αρνητικά την υγεία και την καθημερινότητα των πολιτών. Οι άνθρωποι οι οποίοι κατοικούν σε περιοχές υψηλών επιπέδων θορύβου αντιμετωπίζουν ποικίλα υγειονομικά προβλήματα μακροπρόθεσμα.

1.3.3.1 ANTMETΩΠΙΣΗ ΗΧΟΥΡΥΠΑΝΣΗΣ

Για την αντιμετώπιση της ρύπανσης από τον θόρυβο στα αστικά περιβάλλοντα, είναι απαραίτητο να ληφθούν διάφορα μέτρα.

- Μέτρηση και αξιολόγηση

Η παρακολούθηση του αστικού θορύβου είναι σημαντική για την αντίληψη του προβλήματος και την δημιουργία αποτελεσματικών στρατηγικών μείωσης του θορύβου.

- Εφαρμογή τεχνολογικών λύσεων

Η χρήση προηγμένων τεχνολογιών για τη μείωση του θορύβου στις μεταφορές και στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη μείωση της ρύπανσης από θόρυβο.

- Πολιτικές και νομοθεσία

Η θέσπιση αυστηρών περιβαλλοντικών κανονισμών και περιορισμών για τη μείωση του θορύβου από διάφορες πηγές είναι ζωτικής σημασίας.

- Ενημέρωση

Ενημερώνοντας και κάνοντας το κοινό πιο ευαίσθητο σε ό,τι αφορά τα προβλήματα που προκαλεί ο αστικός θόρυβος, θα ενθαρρυνθεί στην υιοθέτηση μέτρων προστασίας έτσι ώστε να περιοριστούν οι επιπτώσεις του στην καθημερινή ζωή.

1.3.4 ΦΩΤΟΥΡΥΠΑΝΣΗ

Η φωτορύπανση αναφέρεται στο φαινόμενο του υπερβολικού ή ακατάλληλου φωτισμού που προκαλείται από τεχνητές πηγές φωτός, κυρίως στις αστικές περιοχές. Πρώτα απ' όλα η κύρια ανησυχία γύρω από τη φωτορύπανση ήταν η επίδρασή της στην αύξηση της λαμπρότητας του ουρανού κατά τη διάρκεια της νύχτας, γεγονός που δυσκολεύει την παρατήρηση των αστεριών και άλλων ουράνιων σωμάτων. Ωστόσο, η σημασία της φωτορύπανσης έχει επεκταθεί στη σύγχρονη εποχή για να περιλάβει πληθώρα άλλων αρνητικών επιπτώσεων. Αναφέρεται σε μια σειρά από προβλήματα που εμφανίζονται όταν το τεχνητό φως χρησιμοποιείται υπερβολικά, διαταράσσοντας τόσο το φυσικό περιβάλλον όσο και την ανθρώπινη υγεία. Ορισμένα από τα προβλήματα αυτά είναι τα εξής:

1. Οχληρό φως (Light Trespass)

Έχει να κάνει με την ανεπιθύμητη διείσδυση φωτός σε περιοχές όπου δεν είναι απαραίτητο ή επιθυμητό. Αυτό συμβαίνει όταν το φως από μια πηγή, όπως δρόμοι, δημόσια φωτιστικά ή εμπορικά κτίρια, υπερβαίνει τα όρια του ορισμένου χώρου και εισχωρεί σε κατοικημένες περιοχές ή ακόμα και μέσα σε ιδιωτικές κατοικίες. Αυτό μπορεί να προκαλέσει ενόχληση ή δυσφορία στους ανθρώπους που ζουν σε αυτές τις περιοχές ενώ μπορεί ακόμα και να έχει αρνητικές επιδράσεις στο φυσικό περιβάλλον

2. Υπερ-φωταγώγηση (Over-Illumination)

Η υπερβολική φωταγώγηση, δηλαδή η χρήση τεχνητού φωτός σε ποσότητες που υπερβαίνουν τις πραγματικές ανάγκες, προκαλεί την μη αποδοτική κατανάλωση

ενέργειας. Αυτή η περιττή χρήση ενέργειας συνεπάγεται όχι μόνο αυξημένο κόστος, αλλά και αυξημένη εκπομπή ρύπων στην ατμόσφαιρα λόγω της παραγωγής αυτής της ενέργειας, ιδίως όταν προέρχεται από ορυκτά καύσιμα. Οι εκπομπές αυτές περιλαμβάνουν αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αέρια του θερμοκηπίου προκαλώντας υπερθέρμανση της γης και μεταβολή της κλιματικής κατάστασης. Επιπλέον, η αυξημένη χρήση φωτισμού μπορεί επίσης να συμβάλει στην ρύπανση του φωτός, διαταράσσοντας τα οικοσυστήματα και επηρεάζοντας τη φυσική ζωή των ζώων και των φυτών.

3. Θάμβωση (Glare)

Είναι μια οπτική διαταραχή που προκαλείται από την εκτεταμένη και υπέρμετρη φωτεινότητα του φωτός, η οποία ξεπερνά την ικανότητα του ανθρώπινου ματιού να τη διαχειριστεί άνετα. Αυτό μπορεί να προκαλέσει δυσφορία ή να μειώσει σημαντικά την οπτική σαφήνεια, εμποδίζοντας την ικανότητα του ατόμου να βλέπει καθαρά. Η θάμβωση μπορεί να εμφανιστεί σε πολλές καταστάσεις, όπως κατά τη διάρκεια οδήγησης τη νύχτα όταν τα αντίθετα οχήματα χρησιμοποιούν υψηλή φωτεινότητα στα φώτα τους, ή σε αστικά περιβάλλοντα με έντονο δημόσιο φωτισμό.

4. Συνονθύλευμα φωτός (Light Clutter)

Το συνονθύλευμα φωτός αναφέρεται στη συσσώρευση και ομαδοποίηση ποικίλων πηγών φωτός σε έναν συγκεκριμένο χώρο, που προκαλεί έναν κορεσμό φωτεινών σημάτων. Αυτή η υπερφόρτωση φωτός μπορεί να καταστήσει δύσκολη την οπτική διάκριση και να θολώσει την αντίληψη των οδηγιών ή πεζών, αυξάνοντας τον κίνδυνο παρερμηνείας των οδικών σημάτων ή την ικανότητα να ανταποκριθούν σωστά στις οδικές συνθήκες.

5. Ουράνια Λάμψη (Skyglow)

Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται στην ουράνια λάμψη όπου ο ουρανός γίνεται αισθητά πιο φωτεινός τη νύχτα λόγω του συνδυασμού φυσικού και τεχνητού φωτός. Αυτό το φαινόμενο είναι πιο εμφανές σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές και δυσκολεύει την παρατήρηση των αστεριών και άλλων ουράνιων σωμάτων.

1.3.4.1 ANTIMETΩΠΙΣΗ ΦΩΤΟΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η αντιμετώπιση της φωτορύπανσης απαιτεί ολοκληρωμένες προσεγγίσεις σε διάφορα επίπεδα, συμπεριλαμβανομένων των ατομικών, κοινοτικών και νομικών πρωτοβουλιών. Ορισμένοι τρόποι αντιμετώπισης περιλαμβάνουν:

- Αναθεώρηση της Σχεδίασης του Δημόσιου Φωτισμού

Αυτό περιλαμβάνει την επιλογή φωτιστικών συστημάτων που είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον, όπως φωτισμός με χαμηλή ένταση, προσαρμοσμένος φωτισμός για να αποφεύγεται η οχληρότητα και η υπερ-φωταγώγιση.

- Χρήση πιο Αποδοτικών Φωτιστικών Πηγών

Η χρήση LED και άλλων αποδοτικών πηγών φωτός μειώνει την κατανάλωση ενέργειας και την ποσότητα του φωτός που εκπέμπεται.

- Καλύτερος Έλεγχος της Φωτεινότητας και της Διάχυσης του Φωτός

Η εγκατάσταση απορροφητικών υλικών και φωτοαντιστρεπτικών μέσων μπορεί να μειώσει τη διάχυση του φωτός και την ορατότητα της ουράνιας λάμψης.

- Ενημέρωση και Ευαισθητοποίηση

Εκστρατείες ευαισθητοποίησης μπορούν να βοηθήσουν το κοινό να συνειδητοποιήσει την επίδραση της φωτορύπανσης και να υιοθετήσει πρακτικές για τη μείωσή της.

- Νομοθεσία και Κανονισμοί

Η θέσπιση νόμων και κανονισμών που περιορίζουν τη χρήση εκτεταμένου φωτισμού και θέτουν περιορισμούς για την ανεπιθύμητη διάχυση του φωτός μπορεί να είναι αποτελεσματικό στον περιορισμό της φωτορύπανσης.

- Αστικός Σχεδιασμός

Ο σχεδιασμός των αστικών περιοχών με γνώμονα τη μείωση της φωτορύπανσης, μέσω πράσινων ζωνών, κατάλληλων φωτιστικών συστημάτων και περιορισμών στον αυτόματο φωτισμό, μπορεί επίσης να είναι αποτελεσματικός.

Συνολικά, η αντιμετώπιση της φωτορύπανσης απαιτεί συνεργασία σε επίπεδο κοινότητας, κυβέρνησης και του ευρύτερου κοινωνικού σώματος, καθώς και στήριξη από την τεχνολογία, την νομοθεσία και την εκπαίδευση.

1.3.5 ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η θαλάσσια ρύπανση αποτελεί ένα σύνθετο και πολυπρόσωπο πρόβλημα που προκαλείται από την εισροή ουσιών ή ενέργειας στα θαλάσσια ύδατα. Αυτή η εισροή προκύπτει απευθείας από δράσεις, όπως η απόρριψη βιομηχανικών αποβλήτων, η απορρίψεις από πλοία και λιμένες, από βιομηχανίες και αγροτικές εκμεταλλεύσεις, καθώς και από την αποτέφρωση αποβλήτων. Επίσης, έμμεσα προκύπτει μέσω των εκβολών των ποταμών και των ρευμάτων. Οι παράγοντες που συνέβαλαν στη δραματική αύξηση της θαλάσσιας ρύπανσης, ιδίως κατά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, αντικατοπτρίζουν μια πολυπλοκότητα παραγόντων που επηρέασαν τον τρόπο ζωής και τις παραγωγικές δραστηριότητες της ανθρωπότητας σε παγκόσμιο επίπεδο. Καταρχάς, η τεχνολογική πρόοδος ενίσχυσε τις βιομηχανικές δραστηριότητες, που συνέβαλαν στην αύξηση της παραγωγής και, συνεπώς, στην αύξηση των βιομηχανικών αποβλήτων που εκτοξεύονταν στα θαλάσσια περιβάλλοντα. Η έντονη αστικοποίηση οδήγησε σε αυξημένη χρήση των θαλάσσιων πόρων για απόρριψη αποβλήτων και αποχέτευση αστικών λυμάτων, ενώ επίσης έφερε σημαντικές αλλαγές στον τρόπο ζωής των πολιτών, με συνέπεια την παραγωγή περισσότερων αποβλήτων. Η χρήση του πετρελαίου ως κύριας πηγής ενέργειας επίσης συνέβαλε στην αύξηση της θαλάσσιας ρύπανσης. Η ανάγκη για πετρέλαιο οδήγησε σε αυξημένη θαλάσσια μεταφορά αυτού και άλλων χημικών φορτίων τα οποία αποτελούν πηγή ρύπανσης για το θαλάσσιο περιβάλλον. Η πληθυσμιακή έκρηξη στις αναπτυσσόμενες χώρες αύξησε τη ζήτηση για τρόφιμα, πόσιμο νερό και άλλους πόρους, οδηγώντας σε αυξημένη πίεση στους θαλάσσιους πόρους και αυξημένη παραγωγή αποβλήτων. Η χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων στη γεωργία επίσης συνέβαλε στη θαλάσσια ρύπανση, καθώς τα απόβλητα και οι ρυπογόνες ουσίες από αυτές τις δραστηριότητες μπορούν να εισέλθουν στην θάλασσα μέσω της επιφανειακής απορροής ή των υπόγειων ρευμάτων.

1.3.5.1 ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΑ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης των θαλασσών είναι οι ακόλουθες :

i) **Ρύπανση από απορρίψεις (dumping)**

Η ρύπανση από απορρίψεις αφορά τη συστηματική απόρριψη αποβλήτων ή άλλων ουσιών στους ωκεανούς. Αυτό μπορεί να προέρχεται από διάφορες πηγές, όπως πλοία που απορρίπτουν απόβλητα ή προκατασκευασμένες ουσίες στη θάλασσα, καθώς και από δραστηριότητες αναψυχής, όπως θαλάσσια τουριστικά πλοία. Οι απορρίψεις μπορούν να περιλαμβάνουν διάφορα είδη αποβλήτων, από οργανικά υλικά έως χημικά απόβλητα και πλαστικά. Αυτές οι ουσίες μπορούν να προκαλέσουν σημαντική ρύπανση και να απειλήσουν τη θαλάσσια οικολογία και την υγεία των υδάτων.

Οι επιπτώσεις αυτής της ρύπανσης είναι ευρείες και πολυδιάστατες. Αν και πολλές χώρες έχουν θέσει περιορισμούς στην απόρριψη αποβλήτων στη θάλασσα, η πρακτική αυτή εξακολουθεί να συνεχίζεται σε διάφορες περιοχές του κόσμου.

ii) **Ρύπανση προερχόμενη από την εξόρυξη και την καταπάτηση του βυθού των θαλασσών**

Η ρύπανση που προέρχεται από τις εξορύξεις στις θάλασσες δεν προκαλείται πάντα εσκεμμένα. Συνήθως πηγάζει από διαρροές πετρελαίου και φυσικού αερίου που μπορεί να προκληθούν από ατυχήματα, όπως εκρήξεις ή συγκρούσεις πλοίων, ή από ζημιές στους υποθαλάσσιους πετρελαιοαγωγούς.

iii) **Ρύπανση προερχόμενη διαμέσου των μεταφορών αγαθών διά θαλάσσης**

Η ρύπανση που προέρχεται από τις μεταφορές αγαθών διά θαλάσσης μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες την ατυχηματική και την λειτουργική.

Ατυχηματική ρύπανση προκαλείται από ατυχήματα που μπορεί να συμβούν στη θάλασσα, όπως εκρήξεις, βυθίσεις πλοίων, ζημιές στη δομή των πλοίων ή προσκρούσεις. Κατά την εκδήλωση αυτών των ατυχημάτων, υδρογονάνθρακες πετρελαίου και χημικές ουσίες μπορούν να απελευθερωθούν στο περιβάλλον, προκαλώντας ρύπανση των θαλάσσιων υδάτων.

Στη λειτουργική ρύπανση συγκαταλέγονται οι απορρίψεις που προέρχονται από την καθημερινή λειτουργία ενός πλοίου. Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν μεταγγίσσεις καυσίμων, βιορύπανση κατά την εκτέλεση των εργασιών καθαρισμού των δεξαμενών, διαρροές κατά τη φόρτωση και εκφόρτωση και άλλες παρόμοιες πρακτικές που μπορούν να προκαλέσουν ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

1.3.5.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΡΥΠΩΝ ΣΤΑ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Οι κατηγορίες ρύπων που ενυπάρχουν στα θαλάσσια ύδατα είναι ποικίλες και πολυσύνθετες, καθώς περιλαμβάνουν:

- Διαλυτά στερεά: Είναι στερεά σωματίδια διαλυμένα στο νερό όπως άλατα, μέταλλα και άλλα χημικά στοιχεία.
- Ραδιενέργεια: Πηγές ραδιενεργών υλικών που μπορούν να αποτελέσουν σοβαρό πρόβλημα στην υγεία και το οικοσύστημα.

- Οξέα: Περιλαμβάνουν οξέα που μπορούν να προέρχονται από βιομηχανικές δραστηριότητες ή από ατμοσφαιρική ρύπανση.
- Αιωρούμενα στερεά και ιζήματα: Συμπεριλαμβάνουν σωματίδια που αιωρούνται στο νερό ή ιζήματα που βρίσκονται στον πυθμένα της θάλασσας.
- Μέταλλα: Περιλαμβάνουν μεταλλικά ιόντα που μπορούν να προέλθουν από βιομηχανικές διαδικασίες ή άλλες πηγές ρύπανσης.
- Πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες: Πηγές ρύπανσης από πετρελαϊκά προϊόντα όπως πετρέλαιο και προϊόντα πετρελαίου.
- Θρεπτικά συστατικά: Περιλαμβάνουν θρεπτικά άλατα όπως νιτρικά και φωσφορικά συστατικά που μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα υπερβολικής ανάπτυξης φυτών στα θαλάσσια οικοσυστήματα.
- Παθογόνοι μικροοργανισμοί: Μικροοργανισμοί που μπορούν να προκαλέσουν ασθένειες και άλλα προβλήματα υγείας στα θαλάσσια είδη και τους ανθρώπους.
- Απορρίμματα και απόβλητα που καταναλώνουν οξυγόνο: Περιλαμβάνουν οργανικά και ανθρώπινα απόβλητα που καταναλώνουν το οξυγόνο του νερού, προκαλώντας προβλήματα στην υγεία των θαλάσσιων οργανισμών.
- Πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες : Οι πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες είναι σημαντικοί ρύποι που προκαλούν δυσμενείς επιπτώσεις στους υδρόβιους οργανισμούς, ακόμα και χωρίς πετρελαιοκηλίδες, λόγω των διαρροών πετρελαίου από πλοία και άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες.
- Βαρέα μέταλλα: είναι ρυπαντές που προκαλούν σοβαρά προβλήματα στην υγεία και το περιβάλλον σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Συχνές πηγές αυτών είναι η βιομηχανία και οι καύσεις. Μια από τις πιο γνωστές περιπτώσεις ρύπανσης από βαρέα μέταλλα συνέβη το 1950 στο Minamata της Ιαπωνίας.

Οι ρύποι αυτοί μεταφέρονται εντός των θαλασσών με διάφορους τρόπους, συμπεριλαμβανομένης της μεταφοράς από την ατμόσφαιρα και την εισροή από τους ποταμούς.

1.3.5.3 ANTIMETΩΠΙΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η αντιμετώπιση της θαλάσσιας ρύπανσης απαιτεί συντονισμένες προσπάθειες σε διάφορα επίπεδα. Ορισμένοι τρόποι αντιμετώπισης περιλαμβάνουν:

1. Εφαρμογή Διεθνών Συνθηκών και Κανονισμών

Η δημιουργία και η εφαρμογή διεθνών συμφωνιών και κανονισμών, μπορεί να θέσει πρότυπα για τη μείωση της θαλάσσιας ρύπανσης.

2. Ενίσχυση των Ελέγχων και της Επιβολής

Η ενίσχυση των ελέγχων και της επιβολής των κανονισμών μπορεί να διασφαλίσει τη συμμόρφωση των επιχειρήσεων με τους περιβαλλοντικούς νόμους.

3. Ανάπτυξη Καθαρών Τεχνολογιών

Η προώθηση και η ανάπτυξη καθαρών τεχνολογιών, όπως οι επεξεργασίες λυμάτων και οι καθαρές μέθοδοι παραγωγής.

4. Εκπαίδευση και Ευαισθητοποίηση

Η διδασκαλία και η αύξηση της ενημέρωσης για το πρόβλημα της θαλάσσιας μόλυνσης μπορούν να κινητοποιήσουν τόσο το κοινό όσο και τις επιχειρήσεις να αλλάξουν τις συνήθειες και τις δράσεις τους προς το καλύτερο.

5. Καθαρισμός και Ανάκτηση

Οι επεμβάσεις καθαρισμού και ανάκτησης μπορούν να βοηθήσουν στην αφαίρεση ρύπων από το θαλάσσιο περιβάλλον.

6. Επένδυση σε Έρευνα και Καινοτομία

Η επένδυση στην επιστημονική έρευνα και την καινοτομία μπορεί να επιφέρει τη δημιουργία νέων τεχνολογιών και τεχνικών που θα βοηθήσουν στην αποτροπή και ελαχιστοποίηση της ρύπανσης των θαλασσών.

Αξιοποιώντας την πλήρη σειρά αυτών των προσεγγίσεων, ενισχύονται οι προσπάθειες προς την εξασφάλιση της υγείας και της αειφορίας των θαλάσσιων οικοσυστημάτων για τις επόμενες γενιές. Μέσα από την ανάπτυξη και την εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών, την αναβάθμιση των τεχνικών πρόληψης και την ενημέρωση του κοινού και των επιχειρήσεων, δημιουργούνται τα θεμέλια προς ένα πιο βιώσιμο μέλλον.

1.3.6 ΥΔΑΤΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η υδάτινη ρύπανση προκαλείται από την εισροή ουσιών στα υδάτινα οικοσυστήματα, είτε αυτές διαλύονται στο νερό είτε κατακαθίζονται στον πυθμένα. Αυτές οι ουσίες προέρχονται από διάφορες πηγές, όπως η ρύπανση της ατμόσφαιρας και του εδάφους, που μεταφέρονται στα ύδατα μέσω βροχής και απορροής. Η ρύπανση αυτή φέρει επιπτώσεις οι οποίες είναι σημαντικές και απαιτούν προληπτικές και διαχειριστικές προσεγγίσεις σε πολλά επίπεδα, από την πηγή έως το νερό.

Το σύνολο των προβλημάτων που προκαλεί η ρύπανση των υδάτων είναι πολυσύνθετο και ποικίλλει ανάλογα με την πηγή και το είδος των ρύπων. Οι βασικές πηγές ρύπανσης περιλαμβάνουν τα βιομηχανικά απόβλητα, τις αστικές εκροές, και τις γεωργικές δραστηριότητες. Όταν αυτά τα απόβλητα διοχετεύονται στα ύδατα χωρίς καμία ή με ελάχιστη επεξεργασία, μπορούν να προκαλέσουν σοβαρή ρύπανση στο περιβάλλον.

Τα αστικά λύματα φέρουν μια σημαντική ποσότητα μικροβίων και μπορούν να είναι αιτία διαφόρων λοιμώξεων όπως τυφοειδής πυρετός, δυσεντερία και χολέρα. Επιπλέον, τα συστήματα απορρόφησης λυμάτων, που εξακολουθούν να είναι διαδεδομένα, μπορούν να μολύνουν τα υπόγεια νερά, επιδεινώνοντας τον κίνδυνο για τη δημόσια υγεία. Αντίστοιχα, η ανεπεξέργαστη απόρριψη βιομηχανικών λυμάτων μπορεί να προκαλέσει ρύπανση των υπογείων υδάτων, ενώ η παρουσία φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων από τις γεωργικές δραστηριότητες μπορεί να οδηγήσει σε ευτροφισμό και ρύπανση των επιφανειακών νερών.

Σημαντικό πρόβλημα αποτελεί επίσης η ρύπανση των θαλάσσιων χώρων από πετρελαιοειδή, που μπορούν να διασπείρονται και να εξαπλώνονται σε εκτεταμένες περιοχές, προκαλώντας σημαντικές οικολογικές καταστροφές. Επιπλέον, η όξινη

βροχή μπορεί να βλάψει σημαντικά τα φυτά και τα ζώα που βασίζονται στα υδάτινα οικοσυστήματα για την επιβίωσή τους.

1.3.6.1 ANTIMETΩΠΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η αντιμετώπιση της υδάτινης ρύπανσης απαιτεί ολοκληρωμένες προσεγγίσεις και συνεργασία σε πολλά επίπεδα. Ορισμένοι τρόποι αντιμετώπισης περιλαμβάνουν:

1. Βελτίωση της υγιεινής υποδομής

Επενδύσεις σε αποχετεύσεις, επεξεργασία λυμάτων και καθαρισμός των υδάτων πριν από την επαναχρησιμοποίησή τους μπορούν να μειώσουν την εισροή ρυπαντικών ουσιών στα ύδατα.

2. Αυστηρότερη περιβαλλοντική νομοθεσία

Η θέσπιση και επιβολή αυστηρών περιβαλλοντικών κανονισμών για τη μείωση των εκπομπών ρυπαντικών ουσιών από βιομηχανίες, γεωργικές δραστηριότητες και άλλες πηγές μπορεί να βοηθήσει στην προστασία των υδάτων.

3. Προώθηση της αειφόρου γεωργίας

Η εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών γεωργίας, όπως η χρήση φυσικών λιπασμάτων και η ελαχιστοποίηση της χρήσης χημικών φυτοφαρμάκων, μπορεί να μειώσει την εισροή ρυπαντικών ουσιών στα υδάτινα συστήματα.

4. Ενημέρωση και επιμόρφωση

Διαδίδοντας γνώση και ευαισθητοποιώντας τον πληθυσμό όσον αφορά τις επιπτώσεις, τα προβλήματα και τις συνέπειες της υδατικής ρύπανσης, μπορεί να επιτευχθεί μια πιο ενεργή συμμετοχή των ανθρώπων σε προσπάθειες προστασίας και βελτίωσης του υδάτινου περιβάλλοντος. Αυτό περιλαμβάνει την εκμάθηση και την εκτέλεση των καλύτερων μεθόδων για τη διαχείριση υδάτινων πόρων, την υιοθέτηση μεθόδων που μειώνουν τη ρύπανση, καθώς και την ενεργή συμμετοχή σε κοινοτικές πρωτοβουλίες για τον καθαρισμό και την προστασία υδάτων.

5. Επιστημονική έρευνα και καινοτομία

Η ανάπτυξη καινούργιων τεχνολογιών και τρόπων για την ανίχνευση και απομάκρυνση ρυπαντικών ουσιών από τα ύδατα είναι κρίσιμη για τον περιορισμό του φαινομένου της ρύπανσης.

Αυτοί είναι μερικοί από τους βασικούς τύπους ρύπανσης οι οποίοι δυσχεραίνουν το οικοσύστημα και την ευημερία των ανθρώπων. Κάθε είδος ρύπανσης έχει μοναδικές συνέπειες και απαιτεί συγκεκριμένες μεθόδους για την αντιμετώπιση και αποφυγή της.

1.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

1.4.1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Οι ρύποι της ατμόσφαιρας, όπως και τα αιωρούμενα σωματίδια (PM10 και PM2.5), το διοξείδιου του θείου (SO₂), το διοξείδιου του αζώτου (NO₂), το όζον (O₃) και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC), προέρχονται κυρίως από ενέργειες του ανθρώπου

όπως η βιομηχανική παραγωγή, η καύση ορυκτών καυσίμων, οι μεταφορές και η γεωργία. Οι συνέπειες αυτών των ρύπων είναι πολυδιάστατες και επηρεάζουν τόσο την ανθρώπινη υγεία όσο και το φυσικό περιβάλλον.

1.4.1.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

Η εισπνοή ατμοσφαιρικών ρύπων έχει αποδεδειγμένα αρνητικές συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία. Αρχικά, οι ρύποι της ατμόσφαιρας επηρεάζουν το αναπνευστικό σύστημα. Η έκθεση σε υψηλά επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να προκαλέσει και να επιδεινώσει αναπνευστικά προβλήματα όπως το άσθμα, τη βρογχίτιδα και τη χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ). Τα αιωρούμενα σωματίδια, ειδικά αυτά με διάμετρο μικρότερη από 2.5 (PM_{2.5}), έχουν την ικανότητα να εισχωρήσουν βαθιά στους πνεύμονες και μπορούν ακόμα να ενταχθούν και στο αίμα, προκαλώντας συστηματικές φλεγμονώδεις αντιδράσεις.

Επιπλέον, η μακροχρόνια έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους συνδέεται με αυξημένο κίνδυνο καρδιαγγειακών παθήσεων. Ορισμένες μελέτες έχουν δείξει ότι τα αιωρούμενα σωματίδια και τα αέρια όπως το NO₂ και το O₃ μπορούν να προκαλέσουν αθηροσκλήρωση, να αυξήσουν την αρτηριακή πίεση και να συμβάλλουν στην ανάπτυξη καρδιακών προσβολών και εγκεφαλικών επεισοδίων. Παράλληλα, η έκθεση σε αυτά τα ρυπογόνα στοιχεία έχει συνδεθεί με μεταβολές στην καρδιακή λειτουργία και την αυξημένη θνησιμότητα από καρδιαγγειακά νοσήματα.

Οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης δεν περιορίζονται μόνο στο αναπνευστικό και καρδιαγγειακό σύστημα. Έχει αποδειχθεί ότι η ρύπανση του αέρα μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη του εμβρύου, να δημιουργήσει χαμηλό βάρος γέννησης και να αυξήσει την πιθανότητα πρόωρου τοκετού. Επίσης, υπάρχουν ενδείξεις ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να επηρεάσει το νευρικό σύστημα, με ορισμένες μελέτες να συνδέουν την έκθεση σε ρύπους με μειωμένες γνωστικές λειτουργίες και αυξημένο κίνδυνο νευροεκφυλιστικών ασθενειών όπως η νόσος Alzheimer και η νόσος Parkinson.

1.4.1.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση επιφέρει σοβαρές επιπτώσεις και στο φυσικό περιβάλλον. Οι ρύποι της ατμόσφαιρας μπορούν να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις από την πηγή τους και να επηρεάσουν περιοχές μακριά από τα αστικά και βιομηχανικά κέντρα. Ένα από τα πιο γνωστά περιβαλλοντικά φαινόμενα που προκαλείται από την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η όξινη βροχή. Το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου, όταν αντιδρούν με το νερό, το οξυγόνο και άλλες χημικές ουσίες στην ατμόσφαιρα, σχηματίζουν όξινα διαλύματα τα οποία, όταν πέφτουν με τη μορφή βροχής, προκαλούν όξινη βροχή. Η όξινη βροχή βλάπτει τα δάση, τις λίμνες και τα ποτάμια, καταστρέφει την χλωρίδα και την πανίδα και διαβρώνει τα κτίρια και τα μνημεία.

Επιπλέον, η παρουσία όζοντος στο επίπεδο του εδάφους, παρά το γεγονός ότι στην ανώτερη ατμόσφαιρα (στρώμα του όζοντος) είναι ευεργετικό, προκαλεί ζημιές στα φυτά. Το όζον εισέρχεται στα φυτά μέσω των στομάτων τους και διαταράσσει τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, μειώνοντας την ανάπτυξη και την παραγωγικότητά τους. Αυτό έχει άμεσες επιπτώσεις στη γεωργία, καθώς μειώνει την απόδοση των καλλιεργειών και αυξάνει την ευπάθειά τους σε ασθένειες και παράσιτα.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση επηρεάζει επίσης τους υδάτινους πόρους. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι μπορούν να κατακαθίσουν σε επιφάνειες νερού, οδηγώντας σε μόλυνση των υδάτινων οικοσυστημάτων. Τα βαρέα μέταλλα και οι τοξικές ενώσεις που προέρχονται από βιομηχανικές εκπομπές μπορούν να συσσωρευτούν στους οργανισμούς που ζουν στο νερό, διαταράσσοντας την τροφική αλυσίδα και μειώνοντας τη βιοποικιλότητα.

1.4.2 ΕΔΑΦΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

1.4.2.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

Οι άνθρωποι μπορούν να εκτεθούν σε ρυπογόνες ουσίες μέσω της άμεσης επαφής με το μολυσμένο έδαφος, την κατανάλωση τροφίμων που έχουν καλλιεργηθεί σε μολυσμένα εδάφη και την εισπνοή σκόνης από το έδαφος.

Ορισμένες από τις πιο επικίνδυνες χημικές ουσίες που συναντώνται στο μολυσμένο έδαφος είναι τα βαρέα μέταλλα όπως ο μόλυβδος, το κάδμιο, το αρσενικό και ο υδράργυρος. Ο μόλυβδος μπορεί να προκαλέσει νευρολογικές διαταραχές, μειωμένη νοητική ανάπτυξη στα παιδιά, προβλήματα συμπεριφοράς, αναιμία και νεφρική δυσλειτουργία. Το κάδμιο δημιουργεί βλάβες στα νεφρά, τα οστά και το αναπνευστικό σύστημα, ενώ η μακροχρόνια έκθεση συνδέεται με αυξημένο κίνδυνο καρκίνου. Το αρσενικό είναι καρκινογόνο δημιουργώντας δερματικές αλλοιώσεις, προβλήματα στο ήπαρ και το νευρικό σύστημα, και καρδιαγγειακές παθήσεις. Ο υδράργυρος μπορεί να επηρεάσει το νευρικό σύστημα, προκαλώντας νευρολογικές διαταραχές, καθώς και προβλήματα στα νεφρά και το ανοσοποιητικό σύστημα.

Οργανικοί ρύποι όπως οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs), μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στο DNA και φέρουν αυξημένο κίνδυνο καρκίνου. Επίσης τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs) προκαλούν διαταραχές στο ενδοκρινικό σύστημα, προβλήματα στην αναπαραγωγική υγεία, και βλάβες στο ανοσοποιητικό σύστημα.

Η χρήση φυτοφαρμάκων στη γεωργία αποτελεί μια σημαντική πηγή εδαφικής ρύπανσης. Τα φυτοφάρμακα έχουν την ικανότητα να διατηρούνται στο έδαφος για εκτεταμένη χρονική περίοδο, εισχωρώντας στην τροφική αλυσίδα και προκαλώντας ποικίλες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, όπως νευροτοξικότητα, ενδοκρινικές διαταραχές και αυξημένο κίνδυνο καρκίνου.

1.4.2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η εδαφική ρύπανση έχει εκτεταμένες και πολυεπίπεδες επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Οι ρυπογόνες ουσίες μπορούν να διαταράξουν τη δομή και τη λειτουργία των οικοσυστημάτων, επηρεάζοντας την υγεία των φυτών, των ζώων και των μικροοργανισμών.

1. Υποβάθμιση της Γονιμότητας του Εδάφους

Οι ρύποι όπως τα βαρέα μέταλλα και τα φυτοφάρμακα μπορούν να μειώσουν τη γονιμότητα του εδάφους, επηρεάζοντας αρνητικά την ανάπτυξη των φυτών. Η μειωμένη γονιμότητα του εδάφους οδηγεί σε χαμηλότερες αποδόσεις καλλιεργειών, επηρεάζοντας την αγροτική παραγωγή και την επισιτιστική ασφάλεια.

2. Επιδράσεις στην Υδρόβια Ζωή

Οι ρύποι του εδάφους έχουν την ικανότητα να εισέρχονται στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα μέσω της απορροής και της διάβρωσης, προκαλώντας μόλυνση των υδάτινων πόρων. Η μόλυνση των υδάτων μπορεί να επηρεάσει την υδρόβια ζωή, μειώνοντας τη βιοποικιλότητα και προκαλώντας θάνατο σε ψάρια και άλλους υδρόβιους οργανισμούς.

3. Διαταραχή της Τροφικής Αλυσίδας

Τα βαρέα μέταλλα και οι οργανικοί ρύποι μπορούν να συσσωρευτούν στους οργανισμούς που ζουν στο έδαφος και στο νερό, εισερχόμενοι στην τροφική αλυσίδα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση τοξικών ουσιών σε ανώτερα τροφικά επίπεδα, επηρεάζοντας αρνητικά τα αρπακτικά ζώα και τελικά τον άνθρωπο.

4. Μείωση της Βιοποικιλότητας

Η παρουσία τοξικών ουσιών στο έδαφος μπορεί να μειώσει τη βιοποικιλότητα, επηρεάζοντας την υγεία και την αφθονία των φυτικών και ζωικών ειδών. Η μειωμένη βιοποικιλότητα μπορεί να οδηγήσει σε διαταραχή τόσο των οικολογικών ισορροπιών όσο και της λειτουργίας των οικοσυστημάτων.

1.4.3 ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗ

1.4.3.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

Η συνεχής έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει αρνητικά την ανθρώπινη υγεία με διάφορους τρόπους.

- Ακουστικές Επιδράσεις: Η μακροχρόνια έκθεση σε δυνατούς ήχους μπορεί να προκαλέσει βλάβες στην ακοή, όπως η απώλεια ακοής και η εμβοή (θόρυβος στα αυτιά). Οι βλάβες αυτές είναι συχνά μη αναστρέψιμες και μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα ζωής των ατόμων.
- Καρδιαγγειακές Παθήσεις: Έρευνες έχουν δείξει ότι η έκθεση σε θόρυβο ενδέχεται να ενισχύσει την πιθανότητα εμφάνισης καρδιαγγειακών νοσημάτων. Ο θόρυβος προκαλεί στρες στον οργανισμό, αυξάνοντας τα επίπεδα των ορμονών του στρες, όπως η αδρεναλίνη και η κορτιζόλη. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη αρτηριακή πίεση, ακανόνιστο καρδιακό ρυθμό και τελικά σε καρδιακή νόσο και εγκεφαλικό επεισόδιο.
- Διαταραχές Ύπνου: Η ηχορύπανση είναι ένας σημαντικός παράγοντας που διαταράσσει τον ύπνο. Ο διακεκομμένος ύπνος και η δυσκολία στον ύπνο μπορεί να οδηγήσουν σε κόπωση, μειωμένη συγκέντρωση και παραγωγικότητα, καθώς και σε σωματικά προβλήματα όπως η παχυσαρκία, ο διαβήτης και οι καρδιοπάθειες.
- Ψυχολογικές Επιπτώσεις: Η συνεχής έκθεση σε θόρυβο μπορεί να προκαλέσει ψυχολογικές διαταραχές, όπως άγχος, στρες, ευερεθιστότητα και κατάθλιψη. Το ψυχολογικό στρες έχει την δυνατότητα να αμβλύνει το βιοτικό επίπεδο και να επηρεάσει την ψυχική υγεία και ευημερία των ατόμων.

- Επιδράσεις στη Συμπεριφορά και την Εκπαίδευση: Ιδιαίτερα ευαίσθητα είναι τα παιδιά, καθώς η ηχορύπανση μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα τους για μάθηση και συγκέντρωση. Η έκθεση σε θόρυβο στο σχολικό περιβάλλον έχει συνδεθεί με μειωμένη απόδοση στις εξετάσεις, δυσκολίες στη μάθηση και αυξημένα επίπεδα άγχους.

1.4.3.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η ηχορύπανση δεν επηρεάζει μόνο την ανθρώπινη υγεία αλλά έχει επίσης σημαντικές επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον και τα οικοσυστήματα.

1. **Επιδράσεις στην Άγρια Ζωή**

Ο θόρυβος μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τα ζώα, διαταράσσοντας την επικοινωνία, την αναπαραγωγή και τη συμπεριφορά τους. Πολλά είδη ζώων χρησιμοποιούν ήχους για να επικοινωνούν, να αναζητούν τροφή και να αποφεύγουν θηρευτές. Η ηχορύπανση μπορεί να εμποδίσει αυτές τις διαδικασίες, μειώνοντας την επιβίωση και την αναπαραγωγική επιτυχία των ζώων.

2. **Διαταραχή Οικοσυστημάτων**

Η ηχορύπανση μπορεί να διαταράξει τις οικολογικές ισορροπίες. Για παράδειγμα, τα πουλιά μπορεί να αλλάξουν τα μοτίβα τραγουδιού τους ή να μετακινηθούν σε περιοχές με λιγότερο θόρυβο, κάτι που μπορεί να επηρεάσει τη βιοποικιλότητα και τη δομή των οικοσυστημάτων.

3. **Υποθαλάσσια Ζωή**

Η ηχορύπανση στους ωκεανούς, κυρίως από πλοία και βιομηχανικές δραστηριότητες, επηρεάζει τους ζωντανούς οργανισμούς της θάλασσας όπως οι φάλαινες και τα δελφίνια, που βασίζονται στον ήχο για την επικοινωνία και την πλοήγηση. Ο υποθαλάσσιος θόρυβος μπορεί να προκαλέσει αποπροσανατολισμό, τραυματισμούς και θάνατο στα θαλάσσια είδη.

1.4.4 ΦΩΤΟΡΥΠΑΝΣΗ

1.4.4.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

Η έκθεση σε υπερβολικό τεχνητό φως, ειδικά κατά τις νυχτερινές ώρες, είναι εφικτό να δημιουργήσει προβλήματα στην ζωή των ατόμων. Οι κυριότερες επιπτώσεις περιλαμβάνουν:

1. **Διαταραχές του Κιρκάδιου Ρυθμού**

Ο κιρκάδιος ρυθμός είναι το εσωτερικό βιολογικό ρολόι του σώματος που ρυθμίζει τον κύκλο ύπνου-εγρήγορσης. Η έκθεση σε τεχνητό φως το βράδυ μπορεί να διαταράξει αυτόν τον ρυθμό, οδηγώντας σε προβλήματα ύπνου. Η αϋπνία, η μειωμένη ποιότητα ύπνου και η δυσκολία στην έλευση του ύπνου είναι κοινές επιπτώσεις.

2. **Μειωμένη Παραγωγή Μελατονίνης**

Η μελατονίνη είναι μια ορμόνη που ρυθμίζει τον ύπνο και έχει επίσης αντιοξειδωτικές και αντικαρκινικές ιδιότητες. Το τεχνητό φως, ιδίως το μπλε φως από ηλεκτρονικές συσκευές, μειώνει την παραγωγή μελατονίνης, αυξάνοντας τον κίνδυνο για διάφορες παθήσεις, όπως ο καρκίνος του μαστού και του προστάτη.

3. Ψυχολογικές Επιδράσεις

Η διαταραχή του κιρκάδιου ρυθμού μπορεί να επηρεάσει την ψυχική υγεία, προκαλώντας άγχος, κατάθλιψη και ευερεθιστότητα. Οι διαταραχές του ύπνου σχετίζονται επίσης με μειωμένη γνωστική λειτουργία και μειωμένη απόδοση στην εργασία και την εκπαίδευση.

4. Μεταβολικές Διαταραχές

Η χρόνια έκθεση σε τεχνητό φως το βράδυ συσχετίζεται με μεγάλο κίνδυνο δημιουργίας μεταβολικών διαταραχών, όπως η παχυσαρκία, ο διαβήτης τύπου 2 και οι καρδιαγγειακές παθήσεις. Αυτό συμβαίνει διότι η διαταραχή του ύπνου επηρεάζει τον μεταβολισμό και την ορμονική ρύθμιση του σώματος.

1.4.4.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η φωτορύπανση έχει επίσης σημαντικές επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον και τα οικοσυστήματα. Οι κυριότερες επιπτώσεις περιλαμβάνουν:

1. Επιδράσεις στην Άγρια Ζωή

Πολλά είδη ζώων βασίζονται στους φυσικούς κύκλους του φωτός και του σκότους για να ρυθμίσουν τη συμπεριφορά τους. Η φωτορύπανση μπορεί να διαταράξει τις μεταναστευτικές διαδρομές, την αναπαραγωγή και την αναζήτηση τροφής. Για παράδειγμα, τα νυκτόβια ζώα, όπως οι νυχτερίδες και οι γλαύκες, επηρεάζονται αρνητικά από το τεχνητό φως, το οποίο μπορεί να τους εμποδίσει να βρουν τροφή ή να αποφύγουν θηρευτές.

2. Απώλεια Βιοποικιλότητας

Η διατάραξη των φυσικών ρυθμών μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια βιοποικιλότητας, καθώς ορισμένα είδη δεν μπορούν να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες φωτισμού. Οι πληθυσμοί πολλών ειδών μπορεί να μειωθούν ή ακόμα και να εξαφανιστούν σε περιοχές με υψηλά επίπεδα φωτορύπανσης.

3. Φυτά και Φωτοσύνθεση

Η συνεχής έκθεση σε φως το βράδυ ενδέχεται να επηρεάσει τη φωτοσύνθεση και τον φυσικό κύκλο ανάπτυξης των φυτών. Τα φυτά μπορεί να αντιμετωπίσουν δυσκολίες στην ανάπτυξη και την αναπαραγωγή τους, επηρεάζοντας τις τροφικές αλυσίδες και τα οικοσυστήματα στα οποία ανήκουν.

4. Επίδραση στους Αστρονομικούς Παρατηρητές

Αστρονόμοι, από τα μέσα του 20ού αιώνα, έχουν σημειώσει την αυξανόμενη δυσκολία στην παρατήρηση του νυχτερινού ουρανού λόγω του εκτεταμένου φωτισμού από τις πόλεις. Το τεχνητό φως που διαρρέει στον ουρανό δημιουργεί μια φωτεινή «ομίχλη» που αποκαλείται "λείανση" του ουρανού, καταστρέφοντας την φυσική σκοτεινή εμφάνισή του και περιορίζοντας σημαντικά την ορατότητα αστεριών και γαλαξιών. Η επέκταση της φωτορύπανσης είναι αναπόφευκτη με τη συνεχή ανάπτυξη της παγκόσμιας εκβιομηχάνισης και την αύξηση του βιοτικού επιπέδου. Αποτελεί ένα σύνθετο περιβαλλοντικό ζήτημα που υπερβαίνει το πρόβλημα της δυσχέρειας στην παρατήρηση των αστεριών και άλλων ουράνιων φαινομένων κατά τη διάρκεια της

νύχτας. Αυτό όχι μόνο επηρεάζει τους ερασιτέχνες αστρονόμους αλλά και τη σημαντική επιστημονική έρευνα που βασίζεται στις παρατηρήσεις του νυχτερινού ουρανού.

1.4.5 ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗ

1.4.5.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

- **Μολυσματικοί Παράγοντες**

Απόβλητα Λυμάτων

Τα λύματα, που συχνά περιέχουν παθογόνους μικροοργανισμούς, απελευθερώνονται στους θαλάσσιους χώρους, προκαλώντας μολύνσεις στο νερό. Η έκθεση σε μολυσμένα νερά μέσω κολύμβησης ή κατανάλωσης μολυσμένων θαλασσινών μπορεί να οδηγήσει σε γαστρεντερικές λοιμώξεις, δερματικές παθήσεις και άλλες ασθένειες όπως ηπατίτιδα Α και Ε.

Βιοσυσσώρευση

Οι τοξίνες που συσσωρεύονται σε θαλάσσια είδη μέσω της τροφικής αλυσίδας μπορούν να φτάσουν στον άνθρωπο. Η κατανάλωση μολυσμένων ψαριών και θαλασσινών μπορεί να προκαλέσει νευρολογικά προβλήματα, αναπαραγωγικές και ενδοκρινικές διαταραχές.

- **Τοξικά Χημικά**

Βαρέα Μέταλλα

Μέταλλα όπως ο υδράργυρος και ο μόλυβδος, που απορρίπτονται στη θάλασσα, μπορούν να συσσωρεύονται στους οργανισμούς και να μεταφέρονται στη διατροφική αλυσίδα. Η μακροχρόνια έκθεση σε βαρέα μέταλλα ενδέχεται να οδηγήσει σε σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία, όπως καρκίνο, βλάβες στο κεντρικό νευρικό σύστημα και νεφρική ανεπάρκεια.

Πολυχλωριωμένα Διφαινύλια (PCBs)

Αυτά τα χημικά χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές διεργασίες και μπορούν να προκαλέσουν καρκινογένεση, αναπαραγωγικές και αναπτυξιακές διαταραχές.

- **Μικροπλαστικά**

Κατανάλωση και Έκθεση

Τα μικροπλαστικά είναι μικροσκοπικά πλαστικά σωματίδια που απορροφούν τοξικές ουσίες και μπορούν να εισέλθουν στη διατροφική αλυσίδα μέσω της κατανάλωσης θαλασσινών. Τα μικροπλαστικά μπορεί να προκαλέσουν φλεγμονώδεις αντιδράσεις, τοξικότητα και άλλες άγνωστες ακόμα επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

1.4.5.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

- **Υποβάθμιση Οικοσυστημάτων:**

Κοράλλια και Θαλάσσια Φύκη

Οι θαλάσσιοι οργανισμοί όπως τα κοράλλια και τα φύκη είναι ευαίσθητοι στους ρύπους. Η έκθεση σε χημικές ουσίες και πλαστικά μπορεί να βλάψει τη δομή και τη λειτουργία των οικοσυστημάτων, μειώνοντας τη βιοποικιλότητα και την ικανότητα των οικοσυστημάτων να παρέχουν ζωτικής σημασίας υπηρεσίες όπως η παραγωγή οξυγόνου και η παροχή τροφής.

Ζώνες Νεκρού Νερού

Ο ευτροφισμός, που προκαλείται από την υπερβολική εισροή θρεπτικών ουσιών όπως άζωτο και ο φώσφορος, οδηγεί σε υπερβολική ανάπτυξη φυτοπλαγκτού. Όταν το φυτοπλαγκτό πεθαίνει, η αποσύνθεσή του καταναλώνει το οξυγόνο του νερού, δημιουργώντας ανώξυνες ζώνες που προκαλούν προβλήματα επιβίωσης στους ζωντανούς οργανισμούς της θάλασσας.

- **Θάνατος Θαλάσσιων Οργανισμών**

Πλαστικά Απορρίμματα

Οι θαλάσσιοι οργανισμοί, όπως οι χελώνες, τα πουλιά και τα ψάρια, συχνά παγιδεύονται ή καταπίνουν πλαστικά απορρίμματα. Αυτό μπορεί να προκαλέσει ασφυξία, τραυματισμούς και θάνατο. Τα πλαστικά μπορεί επίσης να φράξουν το πεπτικό σύστημα των ζώων, οδηγώντας σε λιμοκτονία.

- **Χημική Ρύπανση**

Πετρελαιοκηλίδες

Οι πετρελαιοκηλίδες προκαλούν καταστροφικές συνέπειες στους θαλάσσιους οργανισμούς, επηρεάζοντας το φτέρωμα των θαλασσοπουλιών, την αναπνοή των ψαριών και την ανάπτυξη των κοραλλιών. Η τοξικότητα του πετρελαίου μπορεί να έχει μακροχρόνιες επιπτώσεις στα θαλάσσια οικοσυστήματα και την αναπαραγωγή των ειδών.

1.4.6 ΥΔΑΤΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

1.4.6.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

Η υδάτινη ρύπανση έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Όταν τα ύδατα ρυπαίνονται από βιομηχανικά απόβλητα, αστικά λύματα, γεωργικά φάρμακα και άλλες τοξικές ουσίες, η κατανάλωση ή έκθεση σε αυτά τα ρυπασμένα ύδατα μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου. Ορισμένες από τις κύριες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία περιλαμβάνουν:

1. Λοιμώδεις ασθένειες

Τα ύδατα που έχουν μολυνθεί από μικρόβια και παθογόνους οργανισμούς μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές γαστρεντερικές ασθένειες όπως δυσεντερία, τυφοειδής πυρετός και χολέρα.

2. Νευρολογικές επιπτώσεις

Οι τοξικές ουσίες που περιέχονται στα ρυπασμένα ύδατα, όπως βαρέα μέταλλα και χημικά εντομοκτόνα, μπορούν να επηρεάσουν το νευρικό σύστημα και να προκαλέσουν νευρολογικές διαταραχές στους ανθρώπους.

3. Αναπαραγωγικές επιπτώσεις

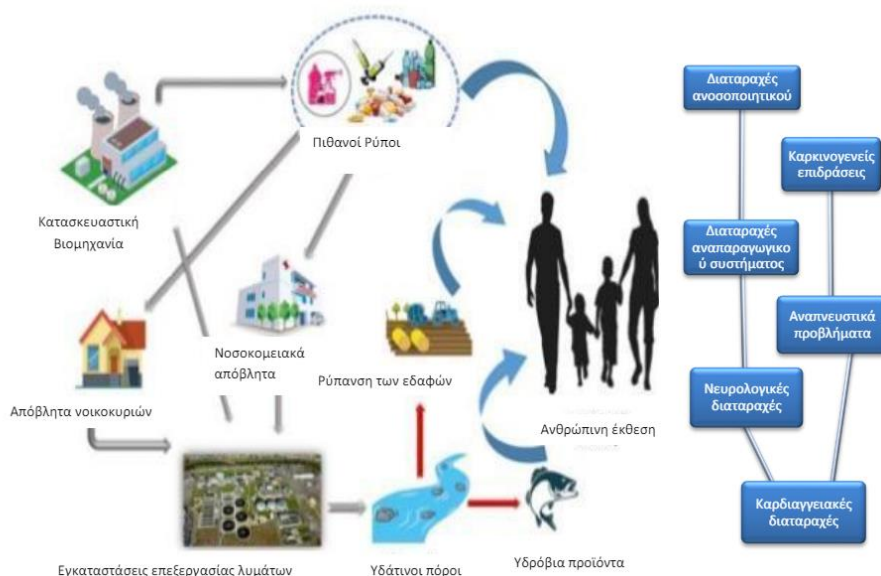
Οι τοξικές ουσίες στα ρυπασμένα ύδατα επηρεάζουν την αναπαραγωγή και την ανάπτυξη του εμβρύου, προκαλώντας εκ γενετής ελαττωματικές γεννήσεις ή άλλα προβλήματα αναπαραγωγής.

4. Καρδιαγγειακές παθήσεις

Η έκθεση σε ρυπασμένα ύδατα μπορεί να συσχετιστεί με αυξημένο κίνδυνο καρδιαγγειακών νοσημάτων, όπως καρδιακή ανεπάρκεια και εγκεφαλικό επεισόδιο.

5. Καρκίνος

Ορισμένες τοξικές ουσίες που περιέχονται στα ρυπασμένα ύδατα ενδέχεται να είναι καρκινογόνες και να ενισχύσουν τις πιθανότητες ανάπτυξης καρκίνου στους ανθρώπους.



Εικόνα 1: Υγειονομικές επιπτώσεις από τους αναδύμενους ρύπους
(<https://ikee.lib.auth.gr/record/346506/files/GRI-2023-38609.pdf>)

1.4.6.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

1. Υποβάθμιση Υδατικών Οικοσυστημάτων

Η υδατική ρύπανση οδηγεί στην υποβάθμιση των υδατικών οικοσυστημάτων, καθώς οι ρυπαντές επηρεάζουν άμεσα τη χημική και βιολογική σύνθεση των υδάτων.

Αλλαγή Χημικής Σύστασης

Η εισροή χημικών ουσιών, όπως τα βαρέα μέταλλα, τα φυτοφάρμακα και τα βιομηχανικά απόβλητα, μεταβάλλει την χημική σύσταση των υδάτων, επηρεάζοντας την υγεία των οργανισμών που ζουν σε αυτά.

Μείωση Διαλυμένου Οξυγόνου

Η παρουσία οργανικών αποβλήτων, όπως τα λύματα, αυξάνει τη βιολογική ζήτηση οξυγόνου, μειώνοντας τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου στο νερό και προκαλώντας ασφυξία στους υδρόβιους οργανισμούς.

2. Επιδράσεις στη Βιοποικιλότητα

Θάνατος Υδρόβιων Οργανισμών

Η τοξικότητα των χημικών ουσιών προκαλεί τον θάνατο ψαριών, αμφίβιων και άλλων υδρόβιων οργανισμών. Πολλά είδη είναι ευαίσθητα στις αλλαγές της ποιότητας του νερού και δεν μπορούν να επιβιώσουν σε μολυσμένα περιβάλλοντα.

Διαταραχή Τροφικών Αλυσίδων

Οι τοξικές ουσίες συσσωρεύονται στους οργανισμούς μέσω της τροφικής αλυσίδας, επηρεάζοντας όχι μόνο τα υδρόβια είδη αλλά και τα πτηνά και τα θηλαστικά που εξαρτώνται από αυτά για την τροφή τους.

3. Ευτροφισμός

Ο ευτροφισμός είναι μια από τις πιο συχνές συνέπειες της υδατικής ρύπανσης, ο οποίος προκαλείται από την υπερβολική εισροή θρεπτικών ουσιών, όπως το άζωτο και ο φώσφορος.

Ανάπτυξη Άλγεων

Η υπερβολική ανάπτυξη άλγεων (φύκι) μπορεί να μπλοκάρει το ηλιακό φως, επηρεάζοντας τη φωτοσύνθεση και μειώνοντας την παραγωγή οξυγόνου στο νερό.

Ζώνες Νεκρού Νερού

Η αποσύνθεση των άλγεων καταναλώνει μεγάλες ποσότητες οξυγόνου, δημιουργώντας ανώξυνες ζώνες όπου οι θαλάσσιοι οργανισμοί δεν μπορούν να επιβιώσουν.

4. Ρύπανση Υπόγειων Υδάτων

Διείσδυση Ρυπαντών

Οι ρυπαντές από βιομηχανικά και γεωργικά απόβλητα μπορούν να διαπεράσουν το έδαφος και να φτάσουν στους υπόγειους υδροφορείς, μολύνοντας τα αποθέματα πόσιμου νερού.

Μακροχρόνια Ρύπανση

Η αποκατάσταση των μολυσμένων υπόγειων υδάτων είναι εξαιρετικά δύσκολη και χρονοβόρα, καθιστώντας την ρύπανση αυτή μια από τις πιο ανησυχητικές.

5. Επιδράσεις στους Παράκτιους Οικοτόπους

Υποβάθμιση Υγροτόπων

Οι παράκτιοι υγρότοποι είναι ευάλωτοι στην υδατική ρύπανση, καθώς προκαλείται μείωση της βιοποικιλότητας και της παραγωγικότητάς τους.

Επιπτώσεις στα Θαλάσσια Οικοσυστήματα

Οι παράκτιες περιοχές συχνά δέχονται μεγάλες ποσότητες ρυπαντών από τα ποτάμια, επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό τα κοράλλια, τα θαλάσσια λιβάδια και άλλα ευαίσθητα οικοσυστήματα.

1.5 ΕΙΔΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

1.5.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΡΥΠΩΝ

Η ταξινόμηση των ρύπων είναι σημαντική για την κατανόηση των προκλήσεων που αντιμετωπίζει το περιβάλλον. Παρακάτω θα επισημανθούν και θα διευκρινιστούν οι τέσσερις κύριοι τρόποι ταξινόμησης των ρύπων:

i) Ταξινόμηση βάσει της φυσικοχημικής σύστασης

Αυτή η ταξινόμηση επικεντρώνεται στη χημική φύση των ρύπων οι οποίοι χωρίζονται σε οργανικούς και ανόργανους. Οι οργανικοί ρύποι προέρχονται συνήθως από οργανικά υλικά, όπως λίπασμα, πετρέλαιο, ή χημικά προϊόντα. Ενώ στους ανόργανους ρύπους συγκαταλέγονται αέριες ενώσεις όπως το διοξείδιο του θείου και το οξείδιο του αζώτου και στερεές ανόργανες ύλες όπως η σκόνη και οι στάχτες.

ii) Ταξινόμηση βάσει της φυσικής κατάστασης

Αυτή η ταξινόμηση διαχωρίζει τους ρύπους ανάλογα με την φυσική τους κατάσταση. Οι στερεοί ρύποι περιλαμβάνουν πλαστικά συντρίμμια, λάσπη και στερεές στάχτες. Οι υγροί ρύποι περιλαμβάνουν λάσπη, ενώ οι αέριοι ρύποι είναι οι ουσίες που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα, όπως το CO₂ και το SO₂.

iii) Ταξινόμηση βάσει της αντοχής στο περιβάλλον

Αυτή η ταξινόμηση αξιολογεί την ικανότητα των ρύπων να διασπαστούν ή να απομακρυνθούν από το περιβάλλον. Οι βιοδιασπώμενοι ρύποι, όπως τα οργανικά υλικά, μπορούν να διασπαστούν από βιολογικούς μηχανισμούς. Αντίθετα, οι επίμονοι ρύποι, όπως οι οργανικές χημικές ενώσεις ή τα βαρέα μέταλλα, παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

iv) Ταξινόμηση βάσει της πηγής και της ευρείας κατανομής

Αυτή η ταξινόμηση εξετάζει αν οι ρύποι προέρχονται από συγκεκριμένες σημειακές πηγές, όπως βιομηχανικές εγκαταστάσεις ή αυτοκίνητα, ή αν προέρχονται από διάσπαρτες πηγές, όπως η αποψίλωση των δασών ή η γεωργική δραστηριότητα.

Καθένας από αυτούς τους τρόπους ταξινόμησης παρέχει μια διαφορετική οπτική για τη φύση και τις επιπτώσεις των ρύπων, βοηθώντας έτσι στην ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών για την αντιμετώπισή τους.

1.5.2 ΣΥΝΕΧΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΠΤΟΜΕΝΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η ρύπανση μπορεί να έχει συνεχή ή διακοπτόμενη επίδραση και αυτό εξαρτάται με το είδος και την ποσότητα των πηγών ρύπανσης που υπάρχουν σε μια περιοχή. Σε μεγάλες βιομηχανικές περιοχές όπου υπάρχουν πολλές πηγές ρύπανσης, η ρύπανση είναι

συνήθως σοβαρή και συνεχής, ανεξάρτητα από την κατεύθυνση του ανέμου. Σε αυτές τις περιοχές, η καμπύλη πυκνότητας του ρυπαντή είναι περίπου ομοιόμορφη, καθώς οι πηγές ρύπανσης λειτουργούν συνεχώς και παράγουν ρύπους σε σταθερό ρυθμό. Ωστόσο, όταν υπάρχει μια μοναδική πηγή ρύπανσης, η καμπύλη πυκνότητας του ρυπαντή μπορεί να ποικίλλει στη διάρκεια του 24ωρου και της χρονικής περιόδου. Αυτό οφείλεται στην επίδραση παραγόντων όπως οι διακυμάνσεις της παραγωγής ή λειτουργίας της πηγής ρύπανσης, οι καιρικές συνθήκες, η κυκλοφορία του αέρα και άλλοι παράγοντες. Έτσι, μπορεί να υπάρχουν περίοδοι με υψηλή συγκέντρωση ρύπων, περίοδοι με χαμηλή συγκέντρωση και περίοδοι χωρίς καμία ρύπανση. Αυτή η διακύμανση στην καμπύλη πυκνότητας των ρύπων επηρεάζει την έκθεση των κατοίκων σε αυτούς δημιουργώντας έτσι μεγάλη πιθανότητα να υπάρξουν σημαντικές επιδράσεις όσον αφορά το κομμάτι της υγείας και το περιβάλλον.

1.6 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΡΥΠΟΥ

Ο Ρύπος ή ρυπαντής αναφέρεται σε οποιαδήποτε ουσία, εκπομπή ή δραστηριότητα που εισέρχεται στο περιβάλλον και προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στην οικολογική ισορροπία ή στην υγεία των οργανισμών που το απαρτίζουν, συμπεριλαμβανομένων και των ανθρώπων. Αυτές οι επιπτώσεις μπορεί να είναι ευρύτατες και ποικίλες, σχετίζονται με τον αέρα που αναπνέει ο άνθρωπος, τα ύδατα που καταναλώνει και το έδαφος που καλλιεργεί τα τρόφιμά του. Οι ρύποι μπορεί να προέρχονται από διάφορες πηγές, όπως βιομηχανικές διαδικασίες, καύσιμα οχημάτων, γεωργικές εκμεταλλεύσεις και απορρίψεις από αστικά λύματα. Τα προβλήματα τα οποία δημιουργούνται από τους ρύπους ή ρυπαντές απαιτούν συνειδητές προσπάθειες έτσι ώστε να μειωθούν οι εκπομπές αυτών και να διαχειρίζονται οι πόροι με αειφορικό τρόπο.

1.6.1. ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ ΡΥΠΩΝ

Ο συνδυασμός πολλαπλών ρυπαντών σε περιοχές με έντονη βιομηχανική δραστηριότητα είναι ένα φαινόμενο που μπορεί να δημιουργήσει σοβαρές συνέπειες για το περιβάλλον και την δημόσια υγεία. Η ολοκληρωμένη ανάλυση των επιπτώσεων της ρύπανσης πρέπει να λαμβάνει υπόψη την παρουσία πολλαπλών ρύπων και τις δυνητικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους.

Οι συνδυασμένες εκπομπές πολλαπλών ρυπαντών μπορούν να έχουν συνέπειες που υπερβαίνουν την απλή προσθήκη των επιμέρους εκπομπών. Σε έρευνες έχει διαπιστωθεί ότι φυτά όπως η βρόμη, το τριφύλλι και το σπανάκι, όταν εκτίθενται σε διαφορετικούς ρύπους όπως το διοξείδιο του θείου (SO₂) ή το υδροχλωρικό οξύ (HCl), παρουσιάζουν μικρή ποσοστιαία νέκρωση των φύλλων τους έπειτα από μια χρονική περίοδο. Επομένως κάθε εκπομπή ρύπου μπορεί να έχει μια σχετικά περιορισμένη επίδραση στην υγεία των φυτών.

Ωστόσο, όταν αυτοί οι διαφορετικοί ρύποι συνδυάζονται μεταξύ τους, όπως για παράδειγμα με την έκθεση σε SO₂ και HCl ταυτόχρονα, η νέκρωση των φύλλων αυξάνεται σημαντικά. Αυτό το φαινόμενο αποδεικνύει ότι η συνδυασμένη επίδραση πολλαπλών ρυπαντών μπορεί να είναι πολύ πιο καταστροφική από την απλή προσθήκη των επιμέρους ρύπων. Αυτός ο συνδυασμός είναι γνωστός ως συνεργειακή επίδραση και αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα στην αξιολόγηση των επιπτώσεων της ρύπανσης στην παγκόσμια οικολογία και υγεία.

Οι ερευνητές επισημαίνουν ότι ο συνδυασμός διαφορετικών ρυπαντών μπορεί να οδηγήσει σε πιο έντονες και επιζήμιες επιπτώσεις σε σχέση με τη μονομερή έκθεση σε κάθε ρύπο ξεχωριστά. Η κατανόηση αυτών των συνδυασμών είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη αποτελεσματικών μέτρων προστασίας.

1.6.2 ΣΥΣΣΩΡΕΥΜΕΝΟΙ ΚΑΙ ΜΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΜΕΝΟΙ ΡΥΠΟΙ

Σε δυο κατηγορίες μπορούν να χωριστούν οι ρύποι με βάση την συμπεριφορά τους απέναντι στο περιβάλλον:

1. Συσσωρευμένοι ρύποι

Αυτοί οι ρύποι χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλα χρονικά διαστήματα και συσσωρεύονται στην περιοχή όπου εισάγονται. Αυτό συμβαίνει επειδή δεν μπορούν να διασπαστούν εύκολα. Τέτοιου είδους ρύποι περιλαμβάνουν βαρέα μέταλλα όπως ο μόλυβδος και το κάδμιο, ορισμένες οργανικές χημικές ενώσεις όπως οι πολυχλωριωμένες διφαινύλες (PCBs), καθώς και ορισμένα πλαστικά υλικά που δεν έχουν υποστεί διάσπαση όπως οι πολυαιθυλενίουχοι πλαστικοί σωλήνες. Η μακροχρόνια παρουσία τους στο περιβάλλον ενδέχεται να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα σε αυτό όπως και στην ανθρώπινη υγεία.

2. Μη συσσωρευμένοι ρύποι

Αυτοί οι ρύποι χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι δεν παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλα χρονικά διαστήματα και δεν συσσωρεύονται σε αυτό με την ίδια ένταση. Μπορούν να διασπαστούν στο περιβάλλον μέσω φυσικών διεργασιών ή βιολογικής διάσπασης. Παραδείγματα συμπεριλαμβάνουν τα βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα όπως τα φυτικά και ζωικά απόβλητα, ορισμένα φυτοφάρμακα που αποδίδονται στη φύση και ορισμένα απόβλητα τροφίμων που είναι βιοδιασπώμενα. Αυτοί οι ρύποι παρουσιάζουν λιγότερο μακροχρόνιες επιπτώσεις στο περιβάλλον συγκριτικά με τους συσσωρευμένους ρύπους.

1.6.3 ΑΝΟΡΓΑΝΟΙ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

Οι ανόργανοι ρύποι αποτελούνται από μη οργανικές ουσίες, όπως μέταλλα, άλατα μολύβδου, κάδμιου και χρώμιου καθώς και ορισμένα ανόργανα οξέα όπως το θειικό και το νιτρικό οξύ που προέρχονται βιομηχανικές δραστηριότητες, καύση καυσίμων και την γεωργία. Αν και οι ανόργανοι ρύποι μπορεί να είναι λιγότερο τοξικοί από τους οργανικούς, μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία, ειδικά όταν συσσωρεύονται σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Ανόργανοι ρύποι είναι τα Μέταλλα , τα Ανιόντα και τα Ραδιονουκλεΐδια

ι) Μέταλλα

Τα μέταλλα είναι φυσικά στοιχεία που υπάρχουν φυσιολογικά στην φύση και δεν αποτελούν κίνδυνο σε κανονικές συνθήκες. Στην αρχική τους μορφή και συγκέντρωσή, αυτά τα μέταλλα είναι απαραίτητα για πολλούς βιολογικούς και οικολογικούς μηχανισμούς και δεν αντιπροσωπεύουν κάποιο πρόβλημα ρύπανσης. Ωστόσο, όταν οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η βιομηχανική παραγωγή, η εξόρυξη ορυχείων, ή η απόρριψη βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων, αλλοιώνουν τη φυσική ισορροπία και αυξάνουν τις συγκεντρώσεις των μετάλλων πέραν των φυσικών ορίων, τότε αυτά τα μέταλλα μπορούν να γίνουν ρυπογόνα, οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο στην

ρύπανση του εδάφους, του νερού και της ατμόσφαιρας . Υπερβολικές ποσότητες μετάλλων στο περιβάλλον μπορούν να είναι τοξικές για την υγεία των οργανισμών, να διαταράζουν τα οικοσυστήματα και να προκαλέσουν σοβαρά περιβαλλοντικά και υγειονομικά προβλήματα.

Ορισμένα μέταλλα, όπως ο μόλυβδος, το κάδμιο και το χρώμιο, έχουν γνωστές τοξικές ιδιότητες και μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα υγείας όταν υπάρχουν σε υψηλές συγκεντρώσεις. Επιπλέον, η μακροχρόνια έκθεση σε μεγάλες συγκεντρώσεις μετάλλων είναι πιθανόν να προκαλέσει ανεπιθύμητες επιδράσεις στο νευρικό, ανοσοποιητικό, αναπαραγωγικό σύστημα, καθώς και στο δέρμα και τα πνευμόνια. Επιπλέον, η έκθεση σε μεταλλικά άλατα μπορεί να έχει μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην ποιότητα του εδάφους και του νερού, με επιζήμια αποτελέσματα στη βιοποικιλότητα και τη γεωργία.

ii) Ανιόντα

Τα ανιόντα είναι ουσίες που περιλαμβάνουν μεταλλικά ή μη μεταλλικά ιόντα που έχουν αρνητικό φορτίο. Αν και δεν είναι απαραίτητα τοξικά από μόνα τους, μπορούν να προκαλέσουν τοξικότητα σε υψηλές συγκεντρώσεις λόγω της έκθεσης σε αυτά για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Τα νιτρικά και τα φωσφορικά ανιόντα αποτελούν δύο παραδείγματα που χρησιμοποιούνται σε υψηλές συγκεντρώσεις σε διάφορες βιομηχανικές και γεωργικές διαδικασίες. Αν και μπορεί να μην είναι τοξικά από μόνα τους, η υπερβολική επαφή με αυτά τα στοιχεία είναι πιθανόν να δημιουργήσει αρνητικά αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία και να βλάψει το περιβάλλον.

Για παράδειγμα, τα νιτρικά ανιόντα μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα υγείας όταν εισέρχονται σε υψηλές συγκεντρώσεις στο νερό που προορίζεται για πόση. Αυτό συμβαίνει και για τα φωσφορικά ανιόντα, που μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα υγείας και περιβαλλοντική ρύπανση όταν εισέρχονται σε υπερβολικές ποσότητες στα υδάτινα οικοσυστήματα και τα εδάφη.

iii) Ραδιονουκλεΐδια

Είναι μικρά κομμάτια στον πυρήνα των ατόμων που είναι ασταθή. Λόγω αυτής της αστάθειας, εκπέμπουν ακτινοβολία. Όταν αυτή η ακτινοβολία εκπέμπεται σε υπερβολικές ποσότητες, έχει την ικανότητα να δημιουργήσει σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Οι κύριες πηγές ραδιενεργής ρύπανσης περιλαμβάνουν πολλαπλές δραστηριότητες. Πρώτον, τα πυρηνικά εργοστάσια ελέγχουν και εκπέμπουν υγρά απόβλητα στο περιβάλλον ως μέρος της κανονικής τους λειτουργίας. Δεύτερον, την περίοδο του 1950 και 1960, η παραγωγή πυρηνικών όπλων συχνά συνεπαγόταν την απελευθέρωση φυσικών και τεχνητών ραδιονουκλεϊδίων στο περιβάλλον, προκαλώντας μακροχρόνια περιβαλλοντικά ζητήματα. Τρίτον, ατυχήματα σε πυρηνικά εργοστάσια, όπως η καταστροφή του Tsernompil και το δυστύχημα στη Fukushima, έχουν οδηγήσει σε μεγάλης κλίμακας ραδιενεργή μόλυνση του αέρα, των υδάτινων πόρων και του εδάφους.

Από την άλλη πλευρά, οι οργανικοί ρύποι περιλαμβάνουν ουσίες που περιέχουν δεσμούς άνθρακα-υδρογόνου και προέρχονται συνήθως από οργανικά υλικά, όπως το πετρέλαιο, τα πλαστικά και τα λίπη. Οι οργανικοί ρύποι είναι συχνά τοξικοί και δύσκολοι στο να διαχειριστούν. Έχουν την ικανότητα να δημιουργούν προβλήματα τόσο στον άνθρωπο όσο και στο περιβάλλον. Ορισμένοι κοινοί οργανικοί ρύποι περιλαμβάνουν:

i) Πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs)

Αυτές οι ενώσεις προέρχονται κυρίως από διάφορες διεργασίες όπως η καύση καυσίμων πετρελαιο, άνθρακα, ξύλου καθώς και από φυσικές πηγές όπως οι φωτιές και οι τσιμεντένιες διεργασίες. Επίσης, μπορούν να προκύψουν από διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η καύση οχημάτων, η βιομηχανική διαδικασία, και η εκμετάλλευση ορυχείων. Πολλοί από αυτούς τους ρύπους είναι αποδεδειγμένο ότι προκαλούν καρκίνο καθώς επίσης και σοβαρά προβλήματα υγείας.

ii) Χλωριωμένες οργανικές ενώσεις

Οι χλωριωμένες οργανικές ενώσεις αποτελούνται από οργανικές ενώσεις στις οποίες ένα ή περισσότερα άτομα υδρογόνου έχουν αντικατασταθεί με χλώριο. Αυτό μπορεί να συμβεί φυσικά ή να είναι αποτέλεσμα ανθρωπογενών διεργασιών. Ορισμένα παραδείγματα περιλαμβάνουν τα διχλωροαιθυλένια, τα οποία χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές διεργασίες και μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο τον άνθρωπο και την φύση. Άλλη σημαντική ομάδα είναι τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), τα οποία χρησιμοποιούνταν σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές πριν από την απαγόρευσή τους λόγω της τοξικότητάς και της δυσχέρειας στην απομάκρυνσή τους από το περιβάλλον. Αυτές οι ενώσεις είναι βλαβερές και έχουν την τάση να συσσωρεύονται στο περιβάλλον.

iii) Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)

Αυτές οι ενώσεις είναι ατμοί με υψηλή πτητικότητα, που σημαίνει ότι μπορούν να εξατμιστούν εύκολα στην ατμόσφαιρα σε θερμοκρασία δωματίου. Προέρχονται από ποικίλες πηγές, συμπεριλαμβανομένων τις βιομηχανίες αυτοκινήτων, τους διαλύτες, τα καυσάεργα και άλλες πηγές καύσης. Ορισμένα παραδείγματα VOCs περιλαμβάνουν το βενζόλιο, το τολουόλιο, το στυρένιο και τη φορμαλδεΐδη. Η έκθεση σε αυτές τις ενώσεις μπορεί να έχει επιπτώσεις στην υγεία, όπως αναπνευστικά προβλήματα, ερεθισμούς στα μάτια και το δέρμα, ενώ ενδέχεται να προκαλέσει και καρκίνο. Επίσης, οι ενώσεις αυτές συμβάλλουν στην δημιουργία ατμοσφαιρικού ρύπου και στην δημιουργία ομίχλης στις πόλεις.

iv) Φαινόλες

Οι φαινόλες είναι οργανικές ενώσεις που προέρχονται από διάφορες πηγές, όπως η καύση και η επεξεργασία ξύλου και οι βιομηχανικές διαδικασίες. Οι φαινόλες μπορεί να εκπέμπονται κατά την καύση του ξύλου για θέρμανση ή για άλλες βιομηχανικές διαδικασίες, καθώς και από εγκαταστάσεις επεξεργασίας ξύλου όπως σε εργοστάσια πολτού. Επιπλέον, οι φαινόλες παράγονται κατά την επεξεργασία ορισμένων χημικών και υλικών στον βιομηχανικό τομέα. Η έκθεση σε φαινόλες μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, κυρίως αν εισχωρήσουν στο αναπνευστικό σύστημα μεγάλες

ποσότητες ή βρεθούν σε επαφή με το δέρμα. Ορισμένες φαινόλες έχουν ταξινομηθεί ως καρκινογόνες ή ως προκαρκινογόνες ουσίες, ενώ άλλες μπορεί να προκαλέσουν ερεθισμούς του δέρματος ή των ματιών.

ν) Εντομοκτόνα και φυτοφάρμακα

Τα εντομοκτόνα και τα φυτοφάρμακα είναι χημικά τα οποία χρησιμοποιούνται στην αγροτική παραγωγή για να καταπολεμήσουν τα ζιζάνια και τα έντομα που βλάπτουν τις καλλιέργειες. Αυτές οι χημικές ουσίες μπορεί να μπουν στο περιβάλλον μέσω διαφορετικών τρόπων, όπως από την απόθεση στο έδαφος ή τη διασπορά στα ύδατα από τη βροχή ή από τον ψεκασμό. Τα εντομοκτόνα και τα φυτοφάρμακα μπορούν να διαστρεβλώσουν το οικοσύστημα και να επηρεάσουν τη βιοποικιλότητα, την υγεία των ανθρώπων και των άλλων οργανισμών που έρχονται σε επαφή με αυτά. Επομένως, η περιορισμένη και υπεύθυνη χρήση αυτών των ουσιών είναι υψίστης σημασίας για τη εξασφάλιση της διατήρησης της βιώσιμης γεωργίας καθώς και της υγείας.

1.6.4 ΥΔΡΟΦΙΛΟΙ ΚΑΙ ΛΙΠΟΦΙΛΟΙ ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

Οι οργανικοί ρύποι παρουσιάζουν μια ευρεία ποικιλία χημικών δομών και ιδιοτήτων. Κάποιοι από αυτούς εκδηλώνουν έντονη τάση να διαλύονται στο νερό και να αλληλοεπιδρούν με τα χημικά συστατικά του περιβάλλοντος. Αυτοί οι οργανικοί ρύποι, γνωστοί και ως υδρόφιλοι, είναι συνήθως οι πιο δραστικοί και μπορούν να προκαλέσουν μεγάλη ζημιά στο περιβάλλον και στους οργανισμούς.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν και οργανικοί ρύποι που είναι περισσότερο λιπόφιλοι. Αυτοί οι ρύποι περιλαμβάνουν συνήθως δεσμούς όπως C-C, C-Cl και C-H, που είναι πιο σταθεροί στο περιβάλλον. Αυτή η σταθερότητα μπορεί να οδηγήσει στην επιμήκυνση της παραμονής τους στο περιβάλλον, με πιθανή αύξηση της διάρκειας έκθεσης σε ανθρώπινα ή φυτικά συστήματα.

1.6.5 ΕΠΙΜΟΝΟΙ ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (POPs)

Οι επίμονοι οργανικοί ρύποι (POPs) αντιπροσωπεύουν μια κατηγορία χημικών ουσιών που προκαλούν παγκόσμια ανησυχία λόγω των σοβαρών επιπτώσεών τους στα οικοσυστήματα και την υγεία του ανθρώπου. Αποτελούν μια ομάδα χημικών ουσιών που χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να μπορούν να διατηρούνται στο περιβάλλον για πολύ καιρό χωρίς να υποστούν σημαντική διάσπαση ή απομάκρυνση. Αυτό συμβαίνει επειδή αντέχουν στη διάσπαση από φυσικούς παράγοντες όπως η φωτεινότητα, η θερμοκρασία και οι χημικές διεργασίες.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των POPs είναι η διασπορά τους σε αρκετά περιβαλλοντικά μέσα όπως το έδαφος, το νερό και ο αέρας. Μέσω φυσικών διεργασιών όπως οι ατμοσφαιρικές μεταφορές και οι βροχοπτώσεις, οι POPs μπορούν να διασκορπιστούν ευρέως και να φτάσουν σε απομακρυσμένες περιοχές, συμπεριλαμβανομένων ακόμα και των πόλων.

Επιπλέον, οι POPs έχουν την ικανότητα να συσσωρεύονται στο λιπώδη ιστό των ζωντανών οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων και των ανθρώπων. Αυτή η συσσώρευση των POPs δεν περιορίζεται μόνο σε ένα επίπεδο της τροφικής αλυσίδας, αλλά αυξάνεται καθώς ανεβαίνουμε την τροφική πυραμίδα, μέσω ενός φαινομένου γνωστού ως βιοσυσσώρευση.

Η έκθεση στους επίμονους οργανικούς ρύπους (POPs) είναι ένα πολύπλοκο ζήτημα όσον αφορά τους διάφορους τρόπους που οι άνθρωποι έρχονται σε επαφή με αυτούς. Πιο αναλυτικά αυτοί οι τρόποι είναι οι παρακάτω :

1. Διατροφή

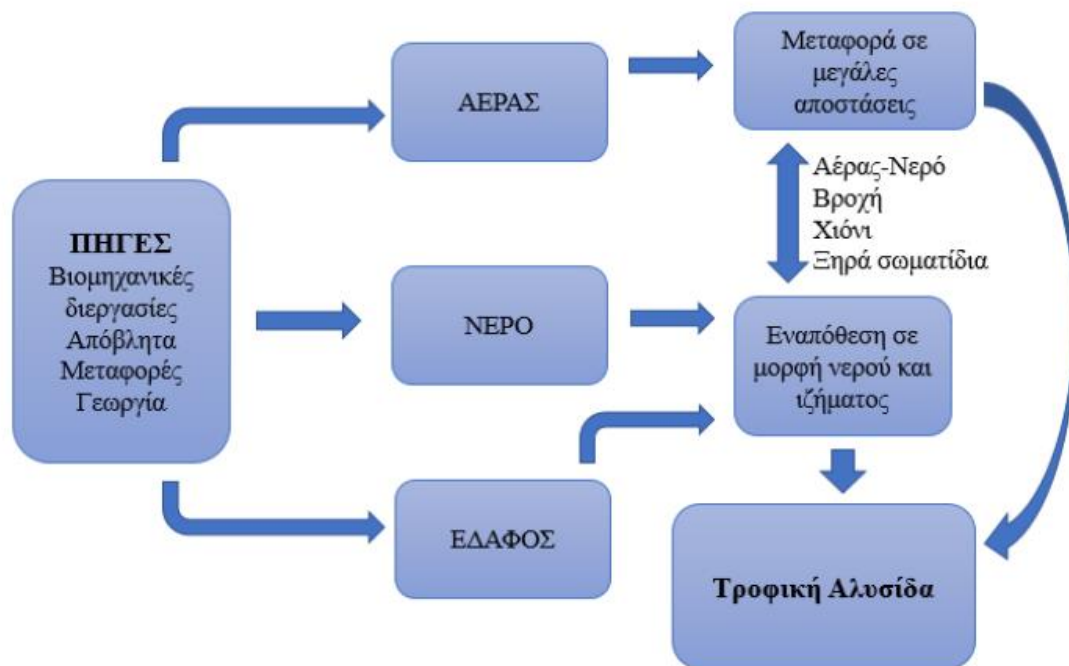
Οι POPs μπορούν να εισέρχονται στον οργανισμό μέσω της τροφής, καθώς βρίσκονται συχνά σε τρόφιμα όπως τα κρέατα, τα γαλακτοκομικά προϊόντα, τα ψάρια και τα θαλασσινά. Αυτά τα POPs συλλέγονται από το περιβάλλον και επικρατούν στα άνω κλάσματα της τροφικής αλυσίδας, καθιστώντας τα ουσιαστικά αναπόφευκτα στη διατροφή των ανθρώπων. Πιο αναλυτικά Τα ζώα στις υψηλότερες θέσεις της τροφικής αλυσίδας, όπως τα μεγάλα θηρευτικά ψάρια, τα πτηνά αρπακτικά, ή οι άνθρωποι, καταναλώνουν πολλαπλούς οργανισμούς από τα κατώτερα επίπεδα, οι οποίοι μπορεί ήδη να έχουν συσσωρεύσει POPs στους ιστούς τους. Έτσι, οι συγκεντρώσεις των ρύπων στους οργανισμούς των υψηλότερων επιπέδων αυξάνονται δραματικά. Συνεπώς, οι άνθρωποι, που συχνά βρίσκονται στην κορυφή της τροφικής αλυσίδας, και καταναλώνουν μεγάλη ποικιλία ζώων, είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένοι σε υψηλές συγκεντρώσεις POPs, όπου ενδέχεται να δημιουργήσουν καρκίνο, διαταραχές του ενδοκρινολογικού συστήματος, και αναπαραγωγικά προβλήματα.

2. Ατμόσφαιρα

Οι POPs μέσω της εισπνοής μικρών ποσοτήτων του ατμοσφαιρικού αέρα μπορούν να μπουν στο εσωτερικό του οργανισμού, ειδικά σε περιοχές με υψηλότερα επίπεδα ρύπανσης. Αυτή η έκθεση μπορεί να προκαλέσει εισπνευστικά προβλήματα και να έχει επιπτώσεις στην υγεία.

3. Προϊόντα Καθημερινής Χρήσης

Πολλά από τα προϊόντα που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος καθημερινά, όπως καλλυντικά, είδη καθαρισμού, έπιπλα και ένδυση, μπορεί να περιέχουν POPs ως συστατικά ή να εκθέτουν τους χρήστες σε αυτές τις ουσίες. Ακόμα η έκθεση μπορεί να προκύψει και μέσω των διαδικασιών που απαιτούνται για την παραγωγή τους.



Εικόνα 2: πηγές επίμονων οργανικών ρύπων.
<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/46140/%CE%91%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CF%8E%CF%84%CE%B7%CF%82%CE%91%CE%BD%CE%B4%CF%81%CE%AD%CE%B1%CF%82%CE%94.%CE%95..pdf?sequence=1>

1.6.5.1 ΧΗΜΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΩΣ ΕΠΙΜΟΝΟΙ ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ

Οι φθαλικοί εστέρες θεωρούνται συχνά ως επίμονοι οργανικοί ρύποι λόγω της παρουσίας τους στο οικοσύστημα και της δυνατότητάς που έχουν να παραμένουν σε αυτό για παρατεταμένες περιόδους. Αυτοί οι εστέρες χρησιμοποιούνται κυρίως ως πλαστικοποιητές σε διάφορα πλαστικά υλικά, κυρίως στο PVC, αλλά και σε άλλες εφαρμογές όπως καλλυντικά, παιχνίδια, συσκευασίες τροφίμων, και ιατρικά είδη. Οι PAFs, ή πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons), είναι μια κατηγορία χημικών ουσιών που αποτελούνται από πολλαπλούς αρωματικούς δακτυλίους. Αυτές οι οργανικές ενώσεις είναι πολύ σταθερές και παρουσιάζουν σημαντική ανθεκτικότητα στη βιοδιάσπαση, γεγονός που τις καθιστά και αυτές επίμονους οργανικούς ρύπους. Αυτοί οι δυο ρύποι θα σχολιαστούν και θα αναλυθούν περεταίρω στην συνέχεια καθώς η πειραματική διαδικασία της συγκεκριμένης πτυχιακής βασίζεται πάνω σε αυτούς.

Επιπλέον υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός χημικών ουσιών που κατατάσσονται ως επίμονοι οργανικοί ρύποι. Μία από τις πολλές ομάδες χημικών ουσιών που ανήκουν στην κατηγορία των επίμονων οργανικών ρύπων (POPs) είναι οι πολυχλωριωμένες διφαινύλιες (PCBs). Αυτές οι ουσίες, παρά τις διαφορετικές τους δομές και φυσικοχημικές ιδιότητες, έχουν κοινά χαρακτηριστικά που τις καθιστούν ανησυχητικές.

Η παρουσία των POPs στο περιβάλλον είναι ευρέως διαδεδομένη και προέρχεται από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανικών διαδικασιών, της καύσης καυσίμων και της γεωργίας. Είναι επίσης γνωστοί για την επίμονη φύση τους στο περιβάλλον, αν και ο χρόνος ημιζώης τους μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το μέσο που εξετάζεται, παραμένουν στο περιβάλλον για πολλά χρόνια μετά την απελευθέρωσή

τους. Ο άνθρωπος εκτίθεται σε αυτές τις ουσίες μέσω της διατροφής, του αέρα που αναπνέει και της έκθεσης σε προϊόντα καθημερινής χρήσης που μπορεί να τις περιέχουν. Ως αποτέλεσμα, οι POPs ενσωματώνονται στον οργανισμό και μπορούν να συσσωρευτούν στους ιστούς, ιδίως σε εκείνους που είναι πλούσιοι σε λιπαρά καθώς η φύση των επίμονων οργανικών ρύπων είναι λιποφιλής. Διάφορες χώρες έχουν αναλάβει δράσεις για την αυστηρή ρύθμιση και σημαντική μείωση της χρήσης Επίμονων Οργανικών Ρύπων (POPs) μέσω της συμμετοχής τους σε διεθνείς συμφωνίες και κανονισμούς. Αυτές οι πρωτοβουλίες είναι υπό την αιγίδα διεθνών οργανισμών όπως η Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον (UNEP), η Σύμβαση της Στοκχόλμης και το Πρωτόκολλο της Οικονομικής Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (UNECE). Αυτές οι συμφωνίες στοχεύουν στο να περιορίσουν και να ελέγξουν την κυκλοφορία και χρήση των POPs, προστατεύοντας τον άνθρωπο και το οικοσύστημα από τις σοβαρές επιπτώσεις που προκαλούν αυτές οι ουσίες.

1.6.5.2 ΣΥΜΒΑΣΗ ΣΤΟΚΧΟΛΜΗΣ

Ειδικότερα, η Σύμβαση της Στοκχόλμης, που ξεκίνησε την εφαρμογή της το 2004, ορίζει συγκεκριμένες πολιτικές για την εξάλειψη ή περιορισμό της παραγωγής, χρήσης και απελευθέρωσης των POPs. Αρχικά, η σύμβαση αυτή κατέγραψε δώδεκα χημικά που αναγνωρίστηκαν για την ιδιαίτερα υψηλή τους τοξικότητα, ανθεκτικότητα και δυνατότητα βιοσυσσώρευσης, γνωστά ως "The Dirty Dozen". Στόχος της ήταν η σταδιακή κατάργηση της χρήσης αυτών των ουσιών και η αντικατάστασή τους με λιγότερο επικίνδυνες εναλλακτικές λύσεις, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η έκθεση των ανθρώπων και των οικοσυστημάτων.

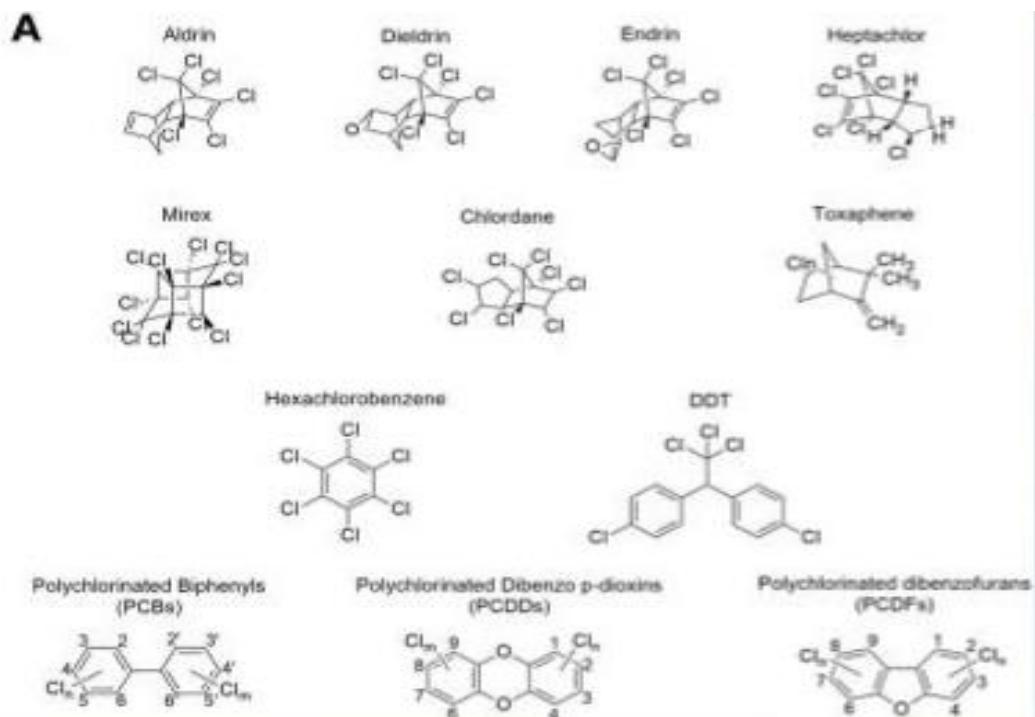
Οι 12 χημικές ομάδες που αποτελούν το "The Dirty Dozen" σύμφωνα με τη Σύμβαση της Στοκχόλμης είναι οι εξής:

1. Αλντρίνη (Aldrin)
2. Χλωρδάνη (Chlordane)
3. Διχλωροδιφαινυλοτριχλωροαιθάνιο (DDT)
4. Διελδρίνη (Dieldrin)
5. Ενδρίνη (Endrin)
6. Επταχλώριο (Heptachlor)
7. Εξαχλωροβενζόλιο (Hexachlorobenzene, HCB)
8. Mirex
9. Τοξαφαίνη (Toxaphene)
10. Πολυχλωριωμένα διφαινύλια (Polychlorinated biphenyls, PCBs)
11. Διβενζοδιοξίνες (Dioxins)
12. Φουράνια (Furans)

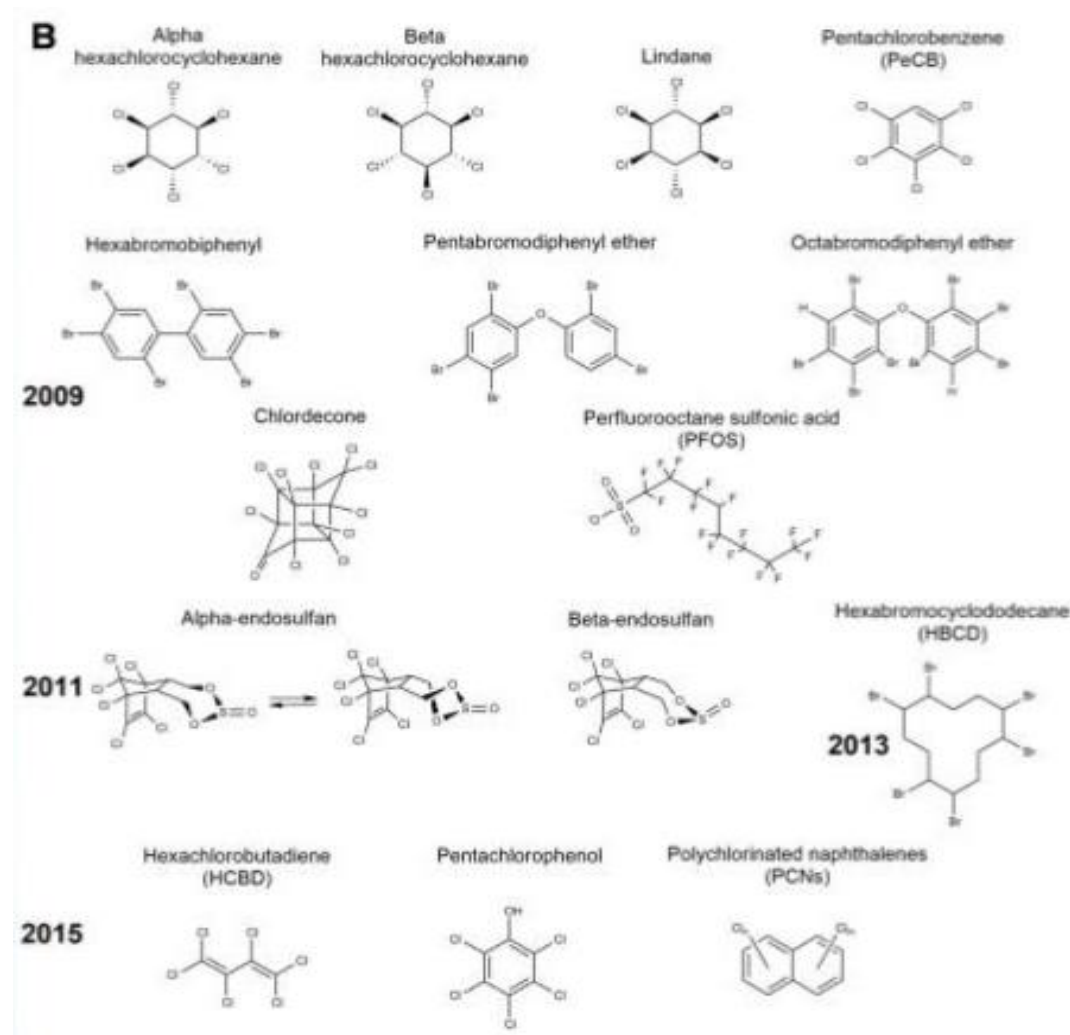
Αυτές οι ουσίες έχουν καταταγεί ως εξαιρετικά τοξικές και επιμένουν στο περιβάλλον για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Ο στόχος λοιπόν της σύμβασης εστιάζει στην κατάργηση ή σοβαρό περιορισμό της παραγωγής και χρήσης ουσιών που κατατάσσονται στους (POPs). Αυτοί οι ρύποι παρουσιάζουν σημαντικούς κινδύνους, προκαλώντας διάφορες παθήσεις και διαταράσσοντας τις βιολογικές λειτουργίες. Μέσω της σύμβασης αυτής, που ξεκίνησε την εφαρμογή της το 2004, και με τη συμμετοχή πολλών χωρών παγκοσμίως, υπάρχει σημαντική μείωση στα επίπεδα αυτών των χημικών στο περιβάλλον. Επιπλέον, τα κράτη-μέλη της σύμβασης υποχρεούνται να λαμβάνουν μέτρα για την ασφαλή διαχείριση και απομάκρυνση υπαρχόντων αποθεμάτων POPs, καθώς και για την καθαριότητα των μολυσμένων περιοχών .

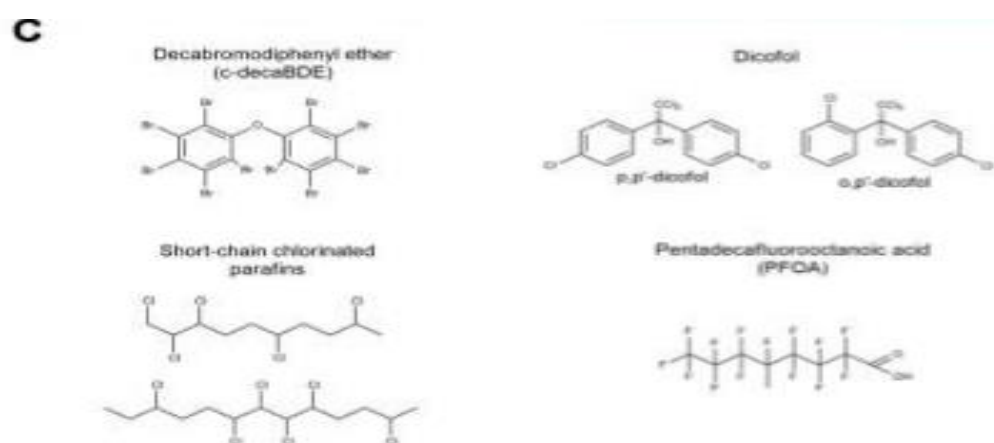
Η Σύμβαση ξεκίνησε με τη ρύθμιση δώδεκα εξαιρετικά επικίνδυνων χημικών ουσιών, γνωστών ως "The Dirty Dozen". Από τότε, ο αριθμός των χημικών ουσιών στον κατάλογο της Σύμβασης έχει αυξηθεί σημαντικά και πλέον περιλαμβάνει 26 χημικές ομάδες. Αυτή η επέκταση αντικατοπτρίζει μια διαρκή προσπάθεια και δέσμευση των συμβαλλόμενων μερών να αντιμετωπίσουν την ποικιλία των χημικών ουσιών που ενδέχεται να παρουσιάζουν σοβαρούς κινδύνους στη βιωσιμότητα των οικοσυστημάτων. Η διαδικασία επέκτασης του καταλόγου βασίζεται σε επιστημονικές αξιολογήσεις που καταδεικνύουν την ανάγκη ρύθμισης νέων χημικών λόγω της υψηλής τους τοξικότητας, της ικανότητάς τους να παραμένουν στο περιβάλλον για πολύ χρόνο και της τάσης τους να συσσωρεύονται στις βιολογικές αλυσίδες. Οι συμβαλλόμενες χώρες λαμβάνουν υπόψη αυτές τις αξιολογήσεις έτσι ώστε να ανανεώνουν τις πολιτικές τους και να εφαρμόζουν μέτρα που εξασφαλίζουν την προστασία της υγείας και της περιβαλλοντικής ασφάλειας. Αυτή η δυναμική και ευέλικτη προσέγγιση επιτρέπει στη Σύμβαση της Στοκχόλμης να παραμένει επίκαιρη και αποτελεσματική στη διαχείριση των ριζικών απειλών από τους επίμονους οργανικούς ρύπους (POPs), αντιμετωπίζοντας ταυτόχρονα και νέες προκλήσεις που ενδέχεται να εμφανίστουν.



Εικόνα 3: Οι χημικοί τύποι των έμμονων οργανικών ρύπων (POPs) από τη διάσκεψη της Στοκχόλμης: (Α) Οι πρώτες δώδεκα ενώσεις "Dirty Dozen"
<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/46140/%CE%91%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CF%8E%CF%84%CE%B7%CF%82%CE%91%CE%BD%CE%B4%CF%81%CE%AD%CE%B1%CF%82%CE%94.%CE%95..pdf?sequence=1>



Εικόνα 4: Οι χημικοί τύποι των έμμενων οργανικών ρύπων (POPs) από τη διάσκεψη της Στοκχόλμης: (B) οι νέοι POPs και το έτος στο οποίο καταγράφηκαν ([Οι χημικοί τύποι των έμμενων οργανικών ρύπων \(POPs\)](#))



Εικόνα 5: Οι χημικοί τύποι των έμμενων οργανικών ρύπων (POPs) από τη διάσκεψη της Στοκχόλμης: (Γ) νέες προτάσεις που βρίσκονται υπό εξέταση ([Οι χημικοί τύποι των έμμενων οργανικών ρύπων \(POPs\)](#))

1.7 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΥΔΑΤΩΝ

1.7.1 1^η Οδηγία

Η Οδηγία 2006/7/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου αποτελεί ένα σημαντικό νομοθετικό μέσο που περιλαμβάνει τη διαφύλαξη και την ενίσχυση της ποιότητας των υδάτινων πόρων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Στον πυρήνα της, βρίσκεται η προσπάθεια να διασφαλιστεί ότι τα ύδατα σε ολόκληρη την ΕΕ είναι καθαρά, υγιή και κατάλληλα για όλους τους χρήστες.

Με σαφή αναφορά σε συγκεκριμένες ουσίες που συχνά προκαλούν ρύπανση, όπως νιτρικά άλατα από γεωργικές δραστηριότητες και υδατοκαλλιέργειες, η οδηγία καθορίζει στόχους για τη μείωση αυτών των εκπομπών. Αυτό σημαίνει ότι τα κράτη μέλη είναι αναγκαίο να αναπτύξουν πλάνα δράσης και μείωσης αυτών των ρύπων, ενισχύοντας τη διαχείριση των υδάτων τους.

Επιπλέον, η οδηγία προβλέπει τη δημιουργία και την υλοποίηση μεθόδων για την προφύλαξη των ευαίσθητων υδάτινων ζωνών, όπως υδρολογικά ενδιαφερόμενες περιοχές και τους υδροβιότοπους. Αυτό αποτελεί ζωτικό στοιχείο για τη διατήρηση της ποικιλίας των ειδών και την προστασία των φυσικών οικοσυστημάτων που εξαρτώνται από αυτά τα ύδατα. Ακόμα, ορίζει τις απαιτήσεις για την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων, ώστε να διασφαλιστεί η συνεχής βελτίωσή τους. Αυτό περιλαμβάνει την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων σε διάφορες παραμέτρους, όπως η συγκέντρωση των ρύπων και η υγεία των οικοσυστημάτων που στηρίζονται σε αυτά τα ύδατα.

Συνολικά είναι υψίστης σημασίας εργαλείο για τη εξασφάλιση της βιώσιμης χρήσης και διαχείρισης των υδάτινων πόρων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ενισχύοντας την περιβαλλοντική προστασία και την αειφορία.

Η Οδηγία 2006/7/ΕΚ θέτει ορισμένα σημαντικά όρια και προδιαγραφές που πρέπει να τηρούνται από τα κράτη μέλη της ΕΕ για την διαφύλαξη και τη ενίσχυση της ποιότητας των υδάτινων πόρων. Ανάλογα με τη φύση των υδάτων και τις περιβαλλοντικές συνθήκες της κάθε χώρας, τα όρια και οι προδιαγραφές παρέχουν κατευθυντήριες γραμμές για την προστασία των υδάτων και τη διαχείριση της ρύπανσης. Ορισμένες σημαντικές πτυχές της οδηγίας περιλαμβάνουν:

1. Προστασία Υδρολογικών Περιοχών

Τα κράτη μέλη πρέπει να ορίσουν προστατευόμενες περιοχές υδάτων, όπως πηγές, λίμνες και ποτάμια, και να εφαρμόσουν μέτρα για τη διατήρηση και προστασία τους.

2. Ποιότητα Υδάτων

Καθορίζονται πρότυπα για την ποιότητα των υδάτων, συμπεριλαμβανομένων των προτύπων για τις συγκεντρώσεις ρύπων σε πόσιμα ύδατα και ύδατα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τροφίμων.

3. Επιτήρηση και Αξιολόγηση

Τα κράτη μέλη οφείλουν να παρακολουθούν την ποιότητα που έχουν τα ύδατα τους, αναπτύσσοντας προγράμματα επιτήρησης και να αξιολογούν τις πληροφορίες που συλλέγουν.

4. Διαχείριση Ρύπων

Ανάπτυξη σχεδίων δράσης ώστε να περιοριστεί η ρύπανση από συγκεκριμένες πηγές, όπως γεωργικές δραστηριότητες και βιομηχανικές εκπομπές.

Σε γενικές γραμμές, η Οδηγία 2006/7/EK παρέχει ένα πλαίσιο για την διαφύλαξη και διαχείριση των υδατικών πόρων όσον αφορά την ΕΕ, μεγάλωνοντας τη συνεργασία των κρατών μελών και την υιοθέτηση κοινών προτύπων και πρακτικών για την προστασία του οικοσυστήματος.

Οι μικροβιολογικοί παράμετροι στη νομοθεσία σχετικά με την ποιότητα των υδάτων αποτελούν σημαντικό κομμάτι των προδιαγραφών που ορίζονται για την προστασία της υγείας και του οικοσυστήματος. Οι παράμετροι αυτοί μετρούν την παρουσία και την ποσότητα διάφορων μικροοργανισμών στα ύδατα. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι μικροβιολογικοί παράμετροι και τα όρια της συγκεκριμένης νομοθεσίας

Για τα εσωτερικά ύδατα

	A	B	Γ	Δ	Ε
	Παράμετρος	Εξαιρετική ποιότητα	Καλή ποιότητα	Επαρκής ποιότητα	Μέθοδοι ανάλυσης αναφοράς
1	Εντερόκοκκοι (cfu/100 ml)	200 (*)	400 (*)	330 (**)	ISO 7899-1 ή ISO 7899-2
2	Κολοβακτηρίδια (cfu/100 ml)	500 (*)	1 000 (*)	900 (**)	ISO 9308-3 ή ISO 9308-1

(*) Βάσει αξιολόγησης σύμφωνα με το 95ο εκατοστημόριο. Βλέπε παράρτημα II.

(**) Βάσει αξιολόγησης σύμφωνα με το 90ό εκατοστημόριο. Βλέπε παράρτημα II.

Για τα παράκτια ύδατα και τα μεταβατικά ύδατα

	A	B	Γ	Δ	Ε
	Παράμετρος	Εξαιρετική ποιότητα	Καλή ποιότητα	Επαρκής ποιότητα	Μέθοδοι ανάλυσης αναφοράς
1	Εντερόκοκκοι (cfu/100 ml)	100 (*)	200 (*)	185 (**)	ISO 7899-1 ή ISO 7899-2
2	Κολοβακτηρίδια (cfu/100 ml)	250 (*)	500 (*)	500 (**)	ISO 9308-3 ή ISO 9308-1

(*) Βάσει αξιολόγησης σύμφωνα με το 95ο εκατοστημόριο. Βλέπε παράρτημα II.

(**) Βάσει αξιολόγησης σύμφωνα με το 90ό εκατοστημόριο. Βλέπε παράρτημα II.

Εικόνα 6: 1ος πίνακας όρια για τα εσωτερικά ύδατα και 2ος πίνακας παράκτια και μεταβατικά ύδατα. (πηγή οδηγία 2006/7/EK)

1.7.2 2^η Οδηγία

Πρόταση οδηγίας του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με την ποιότητα των υδάτων κολύμβησης.

Η παρούσα πρόταση οδηγίας αποσκοπεί στη θέσπιση κοινών προτύπων για την ποιότητα του νερού κολύμβησης σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η διασφάλιση της υψηλής ποιότητας των υδάτων κολύμβησης είναι πολύ σημαντική για την δημόσια υγεία και την αποτροπή των ασθενειών που σχετίζονται με την επαφή με μολυσμένα ύδατα.

Η ποιότητα των υδάτων κολύμβησης ελέγχεται από καθορισμένες παραμέτρους που ορίζουν την ασφαλή ποιότητα των υδάτων για την κολύμβηση, συμπεριλαμβανομένων μικροβιολογικών παραμέτρων όπως η συγκέντρωση παθογόνων οργανισμών. Παράλληλα θεσπίζονται σαφείς προδιαγραφές για τις διάφορες κατηγορίες υδάτων κολύμβησης, όπως παραλίες, λίμνες και πισίνες, ενώ τα κράτη μέλη αναπτύσσουν σχέδια δράσης και προγράμματα επιτήρησης για τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τα πρότυπα ποιότητας. Τέλος οι πολίτες πρέπει να ενημερώνονται όσον αφορά την ποιοτική εκτίμηση του νερού κολύμβησης και των μέτρων που λαμβάνονται για τη βελτίωσή της.

Η προτεινόμενη οδηγία αποτελεί κρίσιμο βήμα προς τη αναβάθμιση της ποιότητας των υδάτων κολύμβησης στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ενισχύοντας την προστασία της δημόσιας υγείας και προωθώντας την ασφαλή κολύμβηση για όλους τους πολίτες. Η συνεργασία μεταξύ των κρατών μελών και η ενίσχυση των μέτρων διαχείρισης αναμένεται να έχει θετικό αντίκτυπο στην ποιότητα των υδάτων και την υγεία των πολιτών. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι μικροβιολογικοί παράμετροι και τα όρια της συγκεκριμένης νομοθεσίας.

Μικροβιολογικές παράμετροι	Εξαιρετική ποιότητα (ενδεικτική)	Ικανοποιητική ποιότητα (υποχρεωτική)
Intestinal enterococci (εντερόκοκκοι/I.E.) σε cfu (*)/ 100 ml	100	200
Escherichia coli (κολοβακτηρίδια/E.C.) σε cfu (*)/ 100 ml	250	500

(*) cfu: colony forming units (μονάδες σχηματισμού αποικιών).

Εικόνα 7: όρια για τα ύδατα κολύμβησης (πηγή water framework directive 2002)

1.7.3 3^η Οδηγία

Η Κοινή Υπουργική Απόφαση Υ2/2600/2001 αφορά τα πρότυπα ποιότητας που θα πρέπει να τηρούν τα νερά που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση. Αυτή η απόφαση ενσωματώνει στην ελληνική νομοθεσία τις διατάξεις της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 98/83/ΕΚ. Ο κύριος στόχος της ΚΥΑ Υ2/2600/2001 είναι η διασφάλιση της ασφάλειας και της ποιότητας του πόσιμου νερού στην Ελλάδα.

Βασικά Στοιχεία της ΚΥΑ Υ2/2600/2001

1. Ποιοτικά Πρότυπα

Ορίζει συγκεκριμένες μικροβιολογικές, χημικές και φυσικές παραμέτρους που πρέπει να τηρούνται, εξασφαλίζοντας ότι το νερό είναι ασφαλές για κατανάλωση. Περιλαμβάνει οριακές τιμές για βαρέα μέταλλα, παρασιτοκτόνα, διαλύτες και άλλους ρύπους.

2. Έλεγχος και Παρακολούθηση

Καθορίζει τη συχνότητα και τις μεθοδολογίες των ελέγχων που πρέπει να διεξάγονται ώστε να εξασφαλίζεται η επιβεβαίωση της συμμόρφωσης του νερού σχετικά με τις προδιαγραφές.

3. Διαδικασίες Παρέμβασης

Περιγράφει τις λειτουργίες όπου είναι απαραίτητο να τηρούνται στο ενδεχόμενο που οι μετρήσεις δείχνουν ότι το νερό δεν πληροί τα καθορισμένα πρότυπα.

4. Ενημέρωση Κοινού

Ορίζει τις υποχρεώσεις για την τακτική ενημέρωση των πολιτών όσον αφορά με την ποιότητα του πόσιμου νερού και τυχόν ζητήματα που μπορεί να προκύπτουν.

Σημασία της ΚΥΑ

Αυτή η υπουργική απόφαση είναι σημαντική γιατί εγγυάται ότι τα πρότυπα για το πόσιμο νερό στην Ελλάδα είναι εναρμονισμένα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα, προστατεύοντας έτσι τη δημόσια υγεία και ενισχύοντας την εμπιστοσύνη του κοινού στην ποιότητα του πόσιμου νερού. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι μικροβιολογικοί και χημικοί παράμετροι και τα όρια της συγκεκριμένης νομοθεσίας.

Μικροβιολογικές παράμετροι

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή (αριθμός/100 ml)
Escherichia coli (E. coli)	0
Εντερόκοκκοι	0

Για το νερό που πωλείται σε φιάλες ή δοχεία, ισχύουν τα ακόλουθα:

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή
Escherichia coli (E. coli)	0/250 ml
Εντερόκοκκοι	0/250 ml
Pseudomonas aeruginosa	0/250 ml
Αριθμός αποικιών σε 22 °C	100/ml
Αριθμός αποικιών σε 37 °C	20/ml

Εικόνα 8: όρια των μικροβιολογικών παραμέτρων (https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2019-07/b892_2001.1127472533032.pdf)

Χημικές παράμετροι

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

Εικόνα 9: όρια χημικών παραμέτρων (https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2019-07/b892_2001.1127472533032.pdf)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΥΔΑΤΙΝΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Ένα υδάτινο οικοσύστημα, γνωστό και ως υδροβιότοπος, είναι μια δυναμική και σύνθετη μονάδα του περιβάλλοντος που περιλαμβάνει μια συγκεκριμένη συλλογή ζωντανών οργανισμών (βιοκοινότητα) και το φυσικό περιβάλλον στο οποίο ζουν (αβιοτικά συστατικά), το οποίο χαρακτηρίζεται από την παρουσία σημαντικών ποσοτήτων νερού. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τόσο γλυκά όσο και αλμυρά νερά (υδάτινα επιφανειακά οικοσυστήματα) , καθώς και τα υπόγεια ύδατα. Τα υδάτινα οικοσυστήματα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες οι οποίες είναι τα θαλασσινά (ωκεανοί, θάλασσες) και τα γλυκού νερού οικοσυστήματα (ποτάμια, λίμνες, ρέματα, υγροτοπικές περιοχές, και υπόγεια ύδατα). Αυτά υποστηρίζουν μια πληθώρα ζωικών και φυτικών ειδών, τα οποία αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και με το φυσικό τους περιβάλλον, διαμορφώνοντας τις βιολογικές, χημικές και φυσικές ιδιότητες του οικοσυστήματος.

2.2 ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΙΝΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα υδάτινα οικοσυστήματα είναι επιφανειακά και υπόγεια. Η συγκεκριμένη πτυχιακή θα εστιάσει στα επιφανειακά ύδατα αλλά θα γίνει και ένας μικρός σχολιασμός σχετικά με το ποια είναι τα υπόγεια ύδατα.

Τα υπόγεια υδάτινα οικοσυστήματα αποτελούν μια σημαντική και συχνά αγνοούμενη συνιστώσα του παγκόσμιου υδρολογικού κύκλου. Αυτά τα οικοσυστήματα περιλαμβάνουν ένα σύνθετο δίκτυο υδατικών μαζών τα οποία εντοπίζονται σε υπόγειες περιοχές, και παίζουν κρίσιμο ρόλο στην υδρολογία, την οικολογία του πλανήτη και στον υδρολογικό κύκλο. Όσον αφορά τον υδρολογικό κύκλο, συμβάλλουν στη συνεχή κυκλοφορία του νερού μεταξύ υδρόσφαιρας, ατμόσφαιρας, ξηράς και θάλασσας, ενώ παράλληλα λειτουργούν ως ρυθμιστικοί παράγοντες για τη διαφύλαξη των υγρών οικοσυστημάτων, ειδικά κατά τα χρονικά διαστήματα ξηρασίας. Η αξία τους υπερβαίνει την παραδοσιακή αρδευτική χρήση, καθώς τα υπόγεια ύδατα συμβάλλουν στην παροχή πόσιμου νερού, βιομηχανικής χρήσης και ενεργειακής ψύξης, απαιτώντας σοβαρή προστασία και διαχείριση για την αποτροπή υποβάθμισης της ποιότητας που επηρεάζει τα συνδεδεμένα οικοσυστήματα.

Το νερό αποτελεί την πιο συνηθισμένη ανόργανη ένωση στην επιφάνεια του πλανήτη , καλύπτοντας το 70,9%. Είναι αναγκαίο για την επιβίωση όλων των ζωντανών οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων, των ζώων και των φυτών. Παρά την αφθονία του, μόνο το 2,5% του νερού στην Γη είναι γλυκό νερό, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα από τους ζωντανούς οργανισμούς.

Από αυτό το 2,5% του γλυκού νερού, η συντριπτική πλειονότητα, δηλαδή το 98,8%, είναι κλειδωμένο στους πάγους και τα υπόγεια ύδατα. Μόνο ένα μικρό ποσοστό γλυκού νερού είναι διαθέσιμο στα επιφανειακά ύδατα, όπως ποτάμια, λίμνες και έλη, καθώς και στην ατμόσφαιρα. Το υπόλοιπο 97% του νερού της Γης υπάρχει στους ωκεανούς και είναι αλμυρό, καθιστώντας το μη πόσιμο χωρίς προηγμένη επεξεργασία. Το νερό είναι ένας περιορισμένος πόρος ο οποίος διαρκώς ανακυκλώνεται μέσα από έναν πολύπλοκο αλλά φυσικό κύκλο που περιλαμβάνει την εξάτμιση, τη συμπύκνωση και την κατακρήμνιση. Αυτή η διαδικασία είναι αναγκαία για την επιβίωση της ζωής στον

πλανήτη, καθώς εξασφαλίζει τη συνεχή διαθεσιμότητα του γλυκού νερού, το οποίο είναι απαραίτητο για όλους τους ζωντανούς οργανισμούς.

2.3 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΙΝΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ένα επιφανειακό υδάτινό οικοσύστημα αναφέρεται σε κάθε υδατικό σύστημα που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης και περιλαμβάνει τόσο φυσικά όσο και τεχνητά υδατικά σώματα. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει ποτάμια, λίμνες, ρέματα, δέλτα, υδροτόπους και παράκτια ύδατα, καθώς και τεχνητά δημιουργημένα υδάτινα σώματα όπως ταμιευτήρες και κανάλια. Τα επιφανειακά υδάτινα οικοσυστήματα χαρακτηρίζονται από την αλληλεπίδραση μεταξύ των αβιοτικών (μη ζωντανών) στοιχείων, όπως το νερό και η στερεά ύλη, και των βιοτικών (ζωντανών) συστατικών, όπως φυτά, ζώα και μικροοργανισμοί. Τα οικοσυστήματα αυτά παίζουν κρίσιμους ρόλους στη διατήρηση της βιοποικιλότητας, τη ρύθμιση του κλίματος, την παροχή υδάτινων πόρων για αγροτική, βιομηχανική, και καταναλωτική χρήση, και την υποστήριξη των ανθρώπινων κοινοτήτων μέσω διάφορων λειτουργιών του οικοσυστήματος. Υπάρχουν δυο τύποι υδάτινων επιφανειακών οικοσυστημάτων οι οποίοι θα αναφερθούν παρακάτω .

2.3.1 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

Τα υδάτινα επιφανειακά οικοσυστήματα γλυκού νερού αποτελούν ένα από τα πιο πολύτιμα και ευαίσθητα περιβαλλοντικά συστήματα του πλανήτη μας. Αυτά περιλαμβάνουν ποτάμια, λίμνες, έλη, υδροβιότοπους και ρέματα, καθένα από τα οποία προσφέρει μοναδικές και ζωτικής σημασίας υπηρεσίες για το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Τα επιφανειακά γλυκά νερά είναι ζωτικά για την παροχή πόσιμου νερού, άρδευσης αγροτικών εκτάσεων, βιομηχανικής χρήσης και παραγωγής ενέργειας. Επιπλέον, υποστηρίζουν σημαντικές δραστηριότητες αναψυχής όπως η κολύμβηση και η αλιεία, οι οποίες είναι αναπόσπαστες για την ποιότητα ζωής πολλών ανθρώπινων κοινοτήτων. Βιολογικά, αυτά τα οικοσυστήματα φιλοξενούν πλούσια και ποικιλόμορφη βιοποικιλότητα, από μικροοργανισμούς μέχρι ψάρια, αμφίβια, πουλιά και θηλαστικά. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ειδών και οι πολύπλοκες τροφικές αλυσίδες σε αυτά τα οικοσυστήματα υποστηρίζουν τη σταθερότητα και την ανθεκτικότητα των οικολογικών κοινοτήτων. Ταυτόχρονα, τα υδάτινα επιφανειακά οικοσυστήματα λειτουργούν ως φυσικά φίλτρα, καθαρίζοντας το νερό από ρύπους και αιωρούμενα σωματίδια, συμβάλλοντας έτσι στην υγεία των ποταμών και των λιμνών.

2.3.2 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Τα επιφανειακά ύδατα θαλασσινού νερού, που περιλαμβάνουν τους ωκεανούς και τις θάλασσες, αποτελούν τα μεγαλύτερα και πιο πολύπλοκα οικοσυστήματα της Γης. Καλύπτοντας περίπου το 71% της επιφάνειας του πλανήτη, αυτά τα οικοσυστήματα συμβάλλουν σημαντικά στη ρύθμιση της κλιματικής ισορροπίας , την αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα και την υποστήριξη μιας τεράστιας βιοποικιλότητας. Οι ωκεανοί και οι θάλασσες τροφοδοτούνται κυρίως από τα ποτάμια που εκβάλλουν σε αυτά, μεταφέροντας θρεπτικά συστατικά και οργανική ύλη, ενώ επίσης συνδέονται με άλλες υδάτινες περιοχές μέσω υπόγειων καναλιών, όπως συμβαίνει με τις λιμνοθάλασσες και τις εκβολές. Αυτές οι μεταφορές νερού και θρεπτικών ουσιών συμβάλλουν στη διατήρηση της παραγωγικότητας και της υγείας των θαλάσσιων οικοσυστημάτων.

Τα θαλάσσια επιφανειακά οικοσυστήματα χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά, όπως η αλμυρότητα, η θερμοκρασία, η οξυγόνωση και η διαφάνεια του νερού. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθορίζουν την κατανομή και τη δραστηριότητα των οργανισμών που ζουν σε αυτά. Ο μικροβιολογικός πληθυσμός των θαλασσών είναι εξαιρετικά ποικιλόμορφος και περιλαμβάνει μικροοργανισμούς όπως βακτήρια, άλγη, πρωτόζωα και ιούς, οι οποίοι διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στους βιογεωχημικούς κύκλους και στην τροφική αλυσίδα. Οι μικροοργανισμοί αυτοί είναι οι πρωτογενείς παραγωγοί, καταναλωτές και αποικοδομητές, υποστηρίζοντας έτσι την ύπαρξη και την ευημερία των μεγαλύτερων θαλάσσιων οργανισμών, όπως τα ψάρια, τα θηλαστικά και τα θαλάσσια φυτά.

2.4 ΡΥΠΑΝΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η ρύπανση του νερού αποτελεί ένα πολύ σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει η σύγχρονη κοινωνία, καθώς έχει σημαντικές επιδράσεις τόσο στον άνθρωπο όσο και στην υποβάθμιση του φυσικού οικοσυστήματος. Ο κύριος υπαίτιος για την ρύπανση των υδάτων είναι ο άνθρωπος. Η υπεράυξηση του ανθρώπινου πληθυσμού, η άνοδος της ποιότητας ζωής, η επέκταση των αστικών περιοχών και η οικονομική πρόοδος έχουν οδηγήσει σε μεγαλύτερη ζήτηση γλυκού νερού. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η βιομηχανία, η γεωργία και η αστική ανάπτυξη, έχουν προκαλέσει σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων, απειλώντας διάφορους οργανισμούς συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου .

Η ρύπανση του νερού ορίζεται ως οποιαδήποτε αλλαγή στις φυσικές, χημικές και βιολογικές παραμέτρους του νερού, που προκαλείται από την παρουσία οργανικών και ανόργανων ουσιών σε συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν τα φυσιολογικά όρια. Αυτές οι ουσίες καθιστούν το νερό βλαβερό για τους ζωντανούς οργανισμούς και ανεπαρκή για τις επιθυμητές χρήσεις του. Οι ρύποι μπορούν να αλλάξουν τη σύσταση του νερού, προκαλώντας μεταβολές στη λειτουργία των υδάτινων συστημάτων, κακοσμία και μεταβολή του χρώματος του νερού. Επιπλέον, τα μολυσμένα υδάτινα οικοσυστήματα γίνονται εστίες μικροβίων και τοξικών ουσιών, προκαλώντας σοβαρές επιπτώσεις στους οργανισμούς που ζουν ή τρέφονται από αυτά τα νερά. Συχνές ρυπογόνες ουσίες περιλαμβάνουν νιτρικά, χλωριούχα, θετικά ιόντα, βαρέα μέταλλα και οξέα. Τα βαρέα μέταλλα και τα οξέα είναι ιδιαίτερα τοξικά και μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές βλάβες στους υδρόβιους οργανισμούς. Τα νιτρικά και τα χλωριούχα συμβάλλουν στον ευτροφισμό, ένα φαινόμενο όπου η υπερβολική ανάπτυξη φυκών καταναλώνει το οξυγόνο του νερού, οδηγώντας σε αποξυγόνωση και θάνατο των ψαριών και άλλων υδρόβιων ειδών. Όταν η ρύπανση του νερού οφείλεται σε παθογόνους οργανισμούς, όπως βακτήρια και ιοί, χρησιμοποιείται ο όρος "μόλυνση του νερού". Αυτή η μόλυνση μπορεί να προκαλέσει σοβαρά υγειονομικά προβλήματα και επιδημίες ασθενειών που μεταδίδονται μέσω του νερού. (Λατινόπουλος, 2007)

2.4.1 ΑΜΕΣΗ ΚΑΙ ΕΜΜΕΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η άμεση ρύπανση αποτελεί μια μορφή ρύπανσης η οποία μπορεί να παρατηρηθεί αμέσως. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της άμεσης ρύπανσης είναι η απόρριψη τοξικών αποβλήτων σε ένα υδάτινο οικοσύστημα. Όταν τα τοξικά αυτά απόβλητα εισέρχονται στο νερό, μπορούν να προκαλέσουν άμεσα σοβαρές επιπτώσεις, όπως τον αιφνίδιο

θάνατο των ψαριών και άλλων υδρόβιων οργανισμών. Αυτή η μορφή ρύπανσης είναι εύκολα ανιχνεύσιμη, καθώς τα αποτελέσματά της είναι άμεσα και ορατά, όπως η εμφάνιση νεκρών ψαριών στην επιφάνεια του νερού ή η αλλαγή στο χρώμα και την οσμή του νερού.

Η έμμεση ρύπανση, από την άλλη πλευρά, δεν δίνετε να παρατηρηθεί τόσο εύκολα επειδή δεν είναι αμέσως ορατή. Αυτή η ρύπανση προκαλεί σταδιακές αλλαγές στο υδάτινο περιβάλλον και επηρεάζει τα είδη που ζουν στο νερό με πιο αργό ρυθμό. Ένα παράδειγμα έμμεσης ρύπανσης είναι η απορροή γεωργικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων στα ποτάμια και τις λίμνες. Αυτά τα χημικά μπορεί να μην προκαλούν άμεσες και ορατές επιπτώσεις, αλλά μακροπρόθεσμα συμβάλλουν στον ευτροφισμό και την αλκαλοποίηση των υδάτων, επιφέροντας με αυτόν τον τρόπο υπερβολική ανάπτυξη φυκιών και αλλαγές στα οικοσυστήματα, που μπορεί να οδηγήσουν σε μαζική θνησιμότητα ψαριών και άλλων οργανισμών λόγω έλλειψης οξυγόνου.

Η έμμεση ρύπανση είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη επειδή ενδέχεται να συσσωρεύεται με τα χρόνια και να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στα υδάτινα οικοσυστήματα, χωρίς να γίνεται αμέσως αντιληπτή. Επειδή τα αποτελέσματα δεν είναι αρχικά ορατά, μπορεί να περάσει αρκετός καιρός πριν εντοπιστεί το πρόβλημα για να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης. Αυτή η καθυστέρηση ενέχεται να προκαλέσει μη αναστρέψιμες βλάβες στα υδάτινα οικοσυστήματα και στη βιοποικιλότητα που αυτά υποστηρίζουν.

2.4.2 ΣΗΜΕΙΑΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΣΗΜΕΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Η ρύπανση των υδατικών πόρων προέρχεται είτε από σημειακές είτε από διάχυτες πηγές. Οι σημειακές πηγές μόλυνσης περιλαμβάνουν αγωγούς, λύματα, εργοστάσια, διυλιστήρια, εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων, ορυχεία και πετρελαιοπηγές, τα οποία βρίσκονται σε συγκεκριμένες τοποθεσίες. Επομένως, θεωρητικά, όλες αυτές οι πηγές μπορούν να εντοπιστούν και να ελεγχθούν σχετικά εύκολα από τις αρμόδιες αρχές. Αντίθετα, οι διάχυτες πηγές μόλυνσης δεν εντοπίζονται σε συγκεκριμένες θέσεις, αλλά αφορούν εκτεταμένες και απροσδιόριστες περιοχές όπως λιβάδια, αγροκαλλιέργειες και αυτοκινητόδρομους. Οι συνηθέστεροι ρυπαντές από διάχυτες πηγές περιλαμβάνουν φυτοφάρμακα, λιπάσματα, κοπριά και διάφορα άλατα. Οι σημαντικότερες πηγές ρύπανσης, οι οποίες επιβαρύνουν άμεσα ή έμμεσα τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα ταξινομούνται σε κατηγορίες που θα αναφερθούν παρακάτω (Λατινόπουλος, 2007)

- **ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ**

Είναι η συνολική συλλογή αποβλήτων που παράγονται από τις αστικές περιοχές, συμπεριλαμβανομένων των οικιακών, εμπορικών, βιομηχανικών και άλλων δραστηριοτήτων. Αυτά τα λύματα περιέχουν ένα ευρύ φάσμα ρυπογόνων ουσιών, που προέρχονται από κατοικίες (οικιακά απόβλητα, οι νεροχύτες και νιπτήρες μπάνιου καθώς και τα νερά από τον καθαρισμό των σπιτιών), δημόσιες εγκαταστάσεις (όπως σχολεία, πανεπιστήμια, νοσοκομεία και δημόσια κτίρια), επιχειρήσεις (παράγουν λύματα από τις δραστηριότητές τους, που μπορεί να περιλαμβάνουν τη χρήση νερού στην παραγωγή και την απόρριψη βιομηχανικών αποβλήτων) και από τις τουριστικές μονάδες (ξενοδοχεία, εστιατόρια, άλλες τουριστικές εγκαταστάσεις).

- **ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ**

Κατά τη διάρκεια των βιομηχανικών διεργασιών, δημιουργούνται διάφορα είδη αποβλήτων, που περιέχουν διαφόρους οργανικούς και ανόργανους ρύπους. Οι οργανικές ουσίες όπως λίπη και πρωτεΐνες, καθώς και οι οργανικές ενώσεις που προκύπτουν από τη διαδικασία παραγωγής και επεξεργασίας προϊόντων, μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στην ποιότητα του νερού, δημιουργώντας μια αύξηση του οξυγόνου από την αποσύνθεση του μικροβιακού πληθυσμού που τις δημιουργεί. Επιπλέον, οι χημικές ουσίες από τις βιομηχανικές διεργασίες, όπως μέταλλα, οξέα και αλκάλια, μπορούν να διαρρεύσουν στα υδάτινα συστήματα, προκαλώντας την αλλοίωση της ποιότητας του νερού και τοξικότητά για τα είδη που ζουν σε αυτά. Επιπλέον, η υψηλή θερμοκρασία του νερού που απελευθερώνεται από θερμικές διεργασίες μπορεί να επηρεάσει τη θερμοκρασία του ύδατος, διαταράσσοντας την ισορροπία των οικοσυστημάτων και επηρεάζοντας τη ζωή των οργανισμών που ζουν σε αυτά.

- ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Κατά τη διάρκεια των γεωργικών δραστηριοτήτων, μέσω των βροχοπτώσεων οργανικές ή ανόργανες ουσίες από λιπάσματα και φυτοφάρμακα μπορούν να εκπλυθούν από διάφορες γεωργικές εκτάσεις και να μεταφερθούν σε ποτάμια, λίμνες και υπόγεια ύδατα.

- ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Τα κτηνοτροφικά υγρά απόβλητα μπορούν να προκαλέσουν ρύπανση των υδάτινων πόρων με διάφορους τρόπους. Κατά την καθημερινή κτηνοτροφική εκμετάλλευση, μεγάλες ποσότητες υγρών αποβλήτων παράγονται από τα ζώα και τις διάφορες διαδικασίες καθαρισμού των εγκαταστάσεων. Αυτά τα υγρά απόβλητα, συνήθως γνωστά ως κοπριές ή κοπράνα, αποτελούνται από οργανικά υλικά όπως φωσφόρος και άλλα στοιχεία. Τα κτηνοτροφικά απόβλητα μπορούν να καταλήξουν στα ύδατα μέσω διάφορων μηχανισμών. Οι κοπριές που αποθηκεύονται σε εκτροφές ζώων μπορούν να διαρρεύσουν στο έδαφος κατά την περίοδο της βροχής ή να καταλήξουν στα υπόγεια ύδατα μέσω της διαστρωμάτωσης του εδάφους. Επιπλέον, οι αποθήκες κοπριών μπορούν να υποστούν διαρροή, είτε λόγω των ανοικτών δεξαμενών είτε λόγω της αδύναμης δομής αυτών. Τα κτηνοτροφικά απόβλητα περιέχουν οργανικά υλικά και άλλα χημικά συστατικά που μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές αλλαγές στην ποιότητα του ύδατος. Οι υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου και φωσφόρου ενδέχεται να δημιουργήσουν ευτροφισμό, αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερη ποικιλία καλλιεργούμενων φυτών και αυξάνει την ανάπτυξη των φυκιών, που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την οικολογική ισορροπία των υδάτων. Επιπλέον, τα οργανικά υλικά στα κτηνοτροφικά απόβλητα μπορούν να επηρεάσουν βακτήρια και άλλους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται στα ύδατα, επηρεάζοντας με αυτόν τον τρόπο την υγεία του υδρόβιου περιβάλλοντος.

- ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ (ΥΦΑΛΜΥΡΩΣΗ)

Είναι συχνό φαινόμενο το οποίο οφείλεται στην υπεράντληση των υπόγειων υδάτων και συνδέεται με δύο κύριους παράγοντες την υπεράντληση των υδροφορέων λόγω της αυξημένης ζήτησης για νερό και την άνοδο της στάθμης των θαλασσών εξαιτίας

της κλιματικής μεταβολής. Κατά την υπεράντληση, η υδρογεωλογική πίεση μειώνεται, επιτρέποντας στο θαλασσίνο νερό να διεισδύσει σε υπόγειους υδροφορείς, μειώνοντας έτσι τη διαθεσιμότητα γλυκού νερού για ανθρώπινη κατανάλωση και γεωργική χρήση. Από την άλλη πλευρά, η αύξηση της στάθμης της θάλασσας προκαλεί την εισβολή θαλασσινού νερού σε παράκτιες περιοχές και υδροφορείς. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της συγκέντρωσης αλατότητας στο έδαφος και τα υπόγεια ύδατα, επηρεάζοντας την ποιότητα του νερού. Επιπλέον, η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή παράκτιων οικοσυστημάτων και υδρολογικών περιοχών, με σοβαρές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα και τις ανθρώπινες δραστηριότητες που εξαρτώνται από αυτά.

- ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ

Αποτελεί σοβαρό πρόβλημα που επηρεάζει τα ύδατα και τα υδρολογικά οικοσυστήματα. Όταν η ατμόσφαιρα ρυπαίνεται από εκπομπές αέριων και σωματιδίων που προέρχονται από βιομηχανίες, οχήματα και άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες, ορισμένες εκ των ουσιών αυτών, όπως τα οξείδια του αζώτου και του θείου, μπορούν να αντιδρούν με την υγρασία στον αέρα και να παράγουν οξέα. Αυτά τα οξέα συνιστούν την οξίνιση της βροχής και όταν η όξινη βροχή πέσει στο έδαφος, μπορεί να επηρεάσει σοβαρά τα ύδατα. Συνεπώς τα οξέα που περιέχονται στη βροχή διαλύονται στα ύδατα των ποταμών, των λιμνών και των υπόγειων υδροφορέων. Αυτό μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υδατική οικολογία και να επηρεάσει τη διαλυτότητα ορισμένων μετάλλων και άλλων χημικών, προκαλώντας την απελευθέρωσή τους και στην συνέχεια τη μόλυνση των υδάτων με τοξικές ουσίες.

2.4.3 ΦΘΑΛΙΚΟΙ ΕΣΤΕΡΕΣ

Οι φθαλικοί εστέρες είναι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται ευρέως ως πρόσθετα στα πλαστικά. Δηλαδή προσδίδουν σε αυτά τις επιθυμητές ιδιότητες με την παρεμβολή τους στις μοριακές αλυσίδες του πολυμερούς, μειώνοντας την αλληλεπίδραση μεταξύ των πολυμερών αλυσίδων και επιτρέποντάς τους να μετακινούνται πιο εύκολα μεταξύ τους. Είναι επομένως στοιχεία τα οποία συμπεριλαμβάνονται σε πλαστικά για να αυξήσουν την ευκαμψία, τη διαφάνεια, την ανθεκτικότητα και τη διάρκεια ζωής τους. Οι πλαστικοποιητές είναι απαραίτητοι για την παραγωγή πολλών προϊόντων από PVC (πολυβινυλοχλωρίδιο), όπως σωλήνες, καλώδια, δάπεδα, συσκευασίες τροφίμων και παιχνίδια.

Είναι εστέρες του φθαλικού οξέος και διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- i) Οι εστέρες χαμηλού μοριακού βάρους: Αυτοί περιλαμβάνουν εστέρες όπως ο διαιθυλοφθαλικός εστέρας (DEP) και ο διβουτυλοφθαλικός εστέρας (DBP). Χρησιμοποιούνται κυρίως σε προϊόντα προσωπικής φροντίδας, καλλυντικά και εντομοαπωθητικά.
- ii) Οι εστέρες υψηλού μοριακού βάρους: Περιλαμβάνουν ενώσεις όπως ο δι-2-αιθυλεξυλοφθαλικός εστέρας (DEHP), ο δι-ισοεννεακύκλοφθαλικός εστέρας (DINP) και ο δι-ισοδεκυλοφθαλικός εστέρας (DIDP). Αυτοί οι εστέρες

χρησιμοποιούνται κυρίως σε κατασκευές και βιομηχανικά προϊόντα, όπως δομικά υλικά και ιατρικές συσκευές.

2.4.3.1 ΕΜΟΝΙΚΟΙ ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΡΥΠΟΙ (Persistent Organic Pollutants, POPs)

Οι φθαλικοί εστέρες έχουν αναγνωριστεί ως εμονικοί οργανικοί ρύποι (Persistent Organic Pollutants, POPs) λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους τα οποία είναι τα εξής:

- Χημική Σταθερότητα

Οι φθαλικοί εστέρες χαρακτηρίζονται από μεγάλη χημική σταθερότητα. Η μοριακή τους δομή τους καθιστά ανθεκτικούς στη διάσπαση από φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες. Αυτό σημαίνει ότι δεν διασπώνται εύκολα στο περιβάλλον, παραμένοντας ανέπαφοι για μεγάλες χρονικές περιόδους.

- Ανθεκτικότητα στη Βιοδιάσπαση

Οι φθαλικοί εστέρες είναι δύσκολα βιοδιασπώμενοι, δηλαδή δεν διασπώνται αποτελεσματικά από τους μικροοργανισμούς του εδάφους και του νερού. Η βιοδιάσπαση είναι μια σημαντική φυσική διαδικασία που απομακρύνει τους οργανικούς ρύπους από το οικοσύστημα. Η ανθεκτικότητα των φθαλικών εστέρων στη βιοδιάσπαση συμβάλλει στην μακροχρόνια παραμονή τους στο περιβάλλον.

- Λιποφιλικότητα

Οι φθαλικοί εστέρες έχουν υψηλή λιποφιλικότητα, δηλαδή έχουν την τάση να διαλύονται στα λίπη και στα έλαια παρά στο νερό. Αυτή η ιδιότητα τους επιτρέπει να συσσωρεύονται στους λιπώδεις ιστούς των ζωντανών οργανισμών, αυξάνοντας την πιθανότητα βιοσυσσωρεύσης και βιομεγέθυνσης.

- Βιοσυσσωρευση

Λόγω της λιποφιλικότητάς τους, οι φθαλικοί εστέρες έχουν την ικανότητα να συσσωρεύονται στους λιπώδεις ιστούς των ζωντανών οργανισμών. Αυτό σημαίνει ότι διεισδύουν στην τροφική αλυσίδα και συσσωρεύονται σε υψηλότερα επίπεδα στους ανώτερους θηρευτές, συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπου. Η βιοσυσσωρευση αυξάνει την τοξικότητα των φθαλικών εστέρων και τις συνέπειες στην υγεία.

- Διασπορά στο Περιβάλλον

Οι φθαλικοί εστέρες απελευθερώνονται στο περιβάλλον μέσω διαφόρων πηγών, όπως οι βιομηχανικές εκροές, η απόρριψη πλαστικών αποβλήτων και η χρήση πλαστικών προϊόντων. Οι εκπομπές αυτές μπορούν να διασπαστούν στον αέρα, στο νερό και στο έδαφος, οδηγώντας σε ευρεία περιβαλλοντική ρύπανση.

- Παγκόσμια Διανομή

Εξαιτίας της ανθεκτικότητάς και της ικανότητάς τους να μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις μέσω της ατμόσφαιρας και των ωκεανών, οι φθαλικοί εστέρες μπορούν

να βρεθούν σε απομακρυσμένες εκτάσεις , όπως και σε περιοχές που δεν έχουν άμεσες πηγές ρύπανσης καθιστώντας τους ως ένα παγκόσμιο περιβαλλοντικό πρόβλημα.

2.4.3.2 ΟΔΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΑ ΥΔΑΤΙΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Οι φθαλικοί εστέρες, έχουν αναγνωριστεί ως σημαντικοί ρυπαντές των υδάτινων συστημάτων. Η παρουσία τους σε λίμνες, ποτάμια, θάλασσες και υπόγεια ύδατα έχει προκαλέσει έντονες ανησυχίες λόγω των πιθανών επιπτώσεων στην υγεία του ανθρώπου και των οικοσυστημάτων. Έχουν την ικανότητα να εισέρχονται στα υδάτινα συστήματα μέσω ποικίλων οδών, οι οποίες περιλαμβάνουν βιομηχανικές και αστικές εκροές, απόρριψη αποβλήτων και γεωργικές εφαρμογές. Η κατανόηση των οδών αυτών είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη στρατηγικών αντιμετώπισης και ελέγχου της ρύπανσης.

Οι βιομηχανικές και αστικές εκροές , η ακατάλληλη απόρριψη αποβλήτων και η γεωργία αποτελούν σημαντικές πηγές εισαγωγής φθαλικών εστέρων στα υδάτινα συστήματα. Αναλυτικότερα:

- Βιομηχανικές Εκροές

Οι φθαλικοί εστέρες απελευθερώνονται κατά την παραγωγή, χρήση και απόρριψη πλαστικών προϊόντων στις βιομηχανικές μονάδες. Εργοστάσια που παράγουν πλαστικά και προϊόντα που περιέχουν φθαλικούς εστέρες, όπως καλλυντικά, καθαριστικά, κεριά, προϊόντα περιποίησης και άλλες χημικές ουσίες, αποβάλλουν τα απόβλητά τους και καταλήγουν στα υδάτινα συστήματα. Αυτές οι ουσίες μπορούν να διαλυθούν στα απόνερα των εργοστασίων και να καταλήξουν σε ποτάμια, λίμνες και θάλασσες. Η επεξεργασία των βιομηχανικών αποβλήτων είναι συχνά ανεπαρκής για την πλήρη απομάκρυνση των φθαλικών εστέρων, οδηγώντας σε συνεχιζόμενη ρύπανση.

- Αστικές Εκροές

Οι αστικές περιοχές συμβάλλουν στη ρύπανση μέσω των αποχετευτικών συστημάτων και των απορροών όμβριων υδάτων. Προϊόντα καθημερινής χρήσης όπως καλλυντικά, σαμπουάν, απορρυπαντικά και πλαστικά είδη περιέχουν φθαλικούς εστέρες, οι οποίοι μπορούν να απελευθερωθούν μέσω του πλυσίματος και της χρήσης αυτών των προϊόντων. Οι αστικές εκροές, ιδιαίτερα μετά από έντονες βροχοπτώσεις, μπορούν να παρασύρουν σημαντικές ποσότητες φθαλικών εστέρων από τους δρόμους, τις στέγες και άλλες επιφάνειες, καταλήγοντας έτσι σε υδάτινα συστήματα.

- Πλαστικά Απόβλητα

Τα πλαστικά προϊόντα που περιέχουν φθαλικούς εστέρες, όταν απορρίπτονται ανεξέλεγκτα, υπόκεινται σε φυσική διάβρωση και αποσύνθεση, απελευθερώνοντας φθαλικούς εστέρες στο έδαφος και τα υπόγεια ύδατα. Αυτή η διαδικασία εντείνεται σε περιβάλλοντα με υψηλή υγρασία ή κάτω από την επίδραση του ηλιακού φωτός, επιταχύνοντας την αποσύνθεση των πλαστικών και την απελευθέρωση των χημικών ουσιών που περιέχουν.

- Χώροι Υγειονομικής Ταφής

Οι χώροι υγειονομικής ταφής συχνά περιέχουν μεγάλες ποσότητες πλαστικών αποβλήτων. Οι φθαλικοί εστέρες μπορούν να διαφύγουν από αυτά τα υλικά μέσω της διάβρωσης και της αποσύνθεσης, διαρρέοντας στο έδαφος και καταλήγοντας στα υπόγεια ύδατα. Από εκεί, μπορούν να μεταφερθούν σε ποτάμια και λίμνες, επηρεάζοντας την ποιότητα των υδάτων.

- Πλαστικές Μεμβράνες

Οι πλαστικές μεμβράνες που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των καλλιεργειών, γνωστές και ως αγροπλαστικά, συχνά περιέχουν φθαλικούς εστέρες ως πλαστικοποιητές. Κατά τη διάρκεια της χρήσης τους στα χωράφια, αυτές οι μεμβράνες εκτίθενται σε περιβαλλοντικές συνθήκες που μπορούν να προκαλέσουν τη φθορά και την αποσύνθεσή τους. Οι φθαλικοί εστέρες μπορούν να εκχυλιστούν από αυτές τις μεμβράνες και να ενταχθούν στα επιφανειακά ή υπόγεια νερά μέσω της διάβρωσης και απορροής νερού.

- Εφαρμογές Λυμάτων

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα λύματα και η λάσπη από τις μονάδες επεξεργασίας αστικών αποβλήτων χρησιμοποιούνται ως λίπασμα σε γεωργικές εκτάσεις. Αυτά τα λύματα μπορεί να περιέχουν φθαλικούς εστέρες, οι οποίοι μπορούν να εισχωρήσουν στο έδαφος και να καταλήξουν στα υδάτινα συστήματα μέσω της διήθησης και της απορροής.

2.4.3.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΥΔΑΤΙΝΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Οι φθαλικοί εστέρες είναι γνωστοί για την τοξική τους δράση σε ποικίλα υδρόβια είδη. Αυτή η τοξικότητα μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την αναπαραγωγική ικανότητα των ψαριών. Τα ψάρια από λιμνοθάλασσες και ποτάμια που έρχονται σε επαφή με υψηλές συγκεντρώσεις αυτών εμφανίζουν μείωση της γονιμότητας και ανωμαλίες στην ανάπτυξη των εμβρύων. Επιπλέον, ορισμένες μελέτες έχουν δείξει ότι οι φθαλικοί εστέρες δύνανται να επιφέρουν κακώσεις στο ηπατικό και ενδοκρινικό σύστημα των ψαριών, επηρεάζοντας τις ορμονικές λειτουργίες τους και οδηγώντας σε σοβαρές αναπαραγωγικές διαταραχές. Τα μαλάκια, όπως τα μύδια και οι αχιβάδες, είναι ιδιαίτερα ευάλωτα. Αυτοί οι οργανισμοί τρέφονται μέσω της διήθησης του νερού, καθιστώντας τους εξαιρετικά ευαίσθητους στη ρύπανση αυτού. Οι φθαλικοί εστέρες μπορούν να προκαλέσουν δυσλειτουργίες στη διαδικασία της ανάπτυξης, να μειώσουν την ικανότητα αναπαραγωγής και να οδηγήσουν σε υψηλά ποσοστά θνησιμότητας. Η τοξικότητα αυτή προκύπτει κυρίως από τις διαταραχές που προκαλούν οι φθαλικοί εστέρες στα κύτταρα και στους ιστούς των μαλακίων. Επιπρόσθετα πέρα από τα ψάρια και τα μαλάκια, οι φθαλικοί εστέρες επηρεάζουν και άλλα υδρόβια είδη, όπως τα αμφίβια και τα καρκινοειδή. Η έκθεση τους μπορεί να προκαλέσει ανωμαλίες στην ανάπτυξη εμβρύων και αμφιβίων μειώνοντας την αντοχή τους σε ασθένειες. Στα καρκινοειδή, η τοξικότητα πιθανόν να επιδράσει στην ανάπτυξη του κελύφους και τη γενική υγεία των οργανισμών αυτών.

Ένα από τα πιο ανησυχητικά φαινόμενα σχετικά με τους φθαλικούς εστέρες είναι η ικανότητά τους να βιοσυσσωρεύονται στους ιστούς των υδρόβιων οργανισμών και να μεταφέρονται στην τροφική αλυσίδα. Στην βιοσυσσώρευση οι ουσίες αυτές δεν διασπώνται εύκολα και παραμένουν στο σώμα των οργανισμών για μεγάλο χρονικό διάστημα. Καθώς οι φθαλικοί εστέρες συσσωρεύονται στους ιστούς, οι συγκεντρώσεις τους αυξάνονται, καθιστώντας τους οργανισμούς πιο τοξικούς και επηρεάζοντας αρνητικά τη φυσιολογία τους. Παράλληλα οι φθαλικοί εστέρες συσσωρεύονται στους υδρόβιους οργανισμούς και μπορούν να μεταφερθούν στην τροφική αλυσίδα όταν οι οργανισμοί αυτοί καταναλώνονται από άλλους θηρευτές. Για παράδειγμα, τα μικρά ψάρια που περιέχουν φθαλικούς εστέρες μπορούν να καταναλωθούν από μεγαλύτερα ψάρια, τα οποία στη συνέχεια μπορεί να καταναλωθούν από πουλιά ή θηλαστικά. Τελικά, οι φθαλικοί εστέρες μπορούν να φτάσουν στους ανθρώπους μέσω της κατανάλωσης μολυσμένων θαλασσινών και ψαριών. Η συσσώρευση τους στην ανθρώπινη διατροφή αποτελεί σοβαρή απειλή για την υγεία, καθώς αυτοί οι χημικοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν το ενδοκρινικό σύστημα, να προκαλέσουν αναπαραγωγικές δυσλειτουργίες και να αυξήσουν τον κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου.

2.4.3.4 ΤΡΟΠΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ

Οι φθαλικοί εστέρες μπορούν να εισέλθουν στο ανθρώπινο σώμα μέσω διαφόρων οδών.

i) Κατανάλωση Τροφίμων και Νερού

Μολυσμένα Τρόφιμα

Οι φθαλικοί εστέρες μπορούν να συσσωρεύονται σε υδρόβια τρόφιμα, όπως ψάρια και θαλασσινά, εξαιτίας της ρύπανσης των υδάτων όπου ζουν αυτοί οι οργανισμοί. Η συσσώρευση αυτή συμβαίνει επειδή οι φθαλικοί εστέρες είναι λιπόφιλοι, δηλαδή έχουν τάση να προσκολλώνται και να αποθηκεύονται σε λιπαρούς ιστούς. Όταν καταναλώνονται μολυσμένα ψάρια και θαλασσινά, οι φθαλικοί εστέρες μεταφέρονται στον ανθρώπινο οργανισμό. Επιπλέον, η χρήση πλαστικών συσκευασιών για την αποθήκευση και μεταφορά τροφίμων μπορεί να συμβάλλει στη μόλυνση αυτών με φθαλικούς εστέρες, ειδικά όταν οι συσκευασίες αυτές εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες ή όταν τα τρόφιμα είναι λιπαρά, διότι οι φθαλικοί εστέρες μπορούν να μεταναστεύσουν από το πλαστικό στο τρόφιμο.

Πόσιμο Νερό

Η παρουσία φθαλικών εστέρων στο πόσιμο νερό μπορεί να προκύψει από διάφορες πηγές μόλυνσης. Οι φθαλικοί εστέρες μπορούν να διαρρεύσουν στο νερό από πλαστικές σωληνώσεις, ιδιαίτερα όταν αυτές είναι παλαιές ή εκτεθειμένες σε ακραίες θερμοκρασίες. Επιπλέον, μπορούν να βρεθούν στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα λόγω της βιομηχανικής ρύπανσης, της απόρριψης πλαστικών αποβλήτων και της διήθησης από χώρους υγειονομικής ταφής. Όταν το μολυσμένο νερό χρησιμοποιείται για πόση ή μαγείρεμα, οι φθαλικοί εστέρες εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό.

ii) Εισπνοή

Αέρας Εσωτερικών Χώρων

Οι φθαλικοί εστέρες που περιέχονται σε διάφορα προϊόντα, όπως πλαστικές κουρτίνες, δάπεδα βινυλίου, καλλυντικά και συσκευές διάχυσης αρώματος, μπορούν να απελευθερωθούν στον αέρα εσωτερικών χώρων μέσω της εξάτμισης. Αυτή η διαδικασία, γνωστή ως εκτόνωση, επιτρέπει στους φθαλικούς εστέρες να μετατρέπονται σε αέρια ή να προσκολλώνται σε αιωρούμενα σωματίδια στον αέρα. Η εισπνοή αυτών των αερίων και σωματιδίων αποτελεί σημαντική πηγή έκθεσης, ιδιαίτερα σε κλειστούς χώρους με ανεπαρκή αερισμό, όπου οι συγκεντρώσεις των φθαλικών εστέρων μπορούν να φτάσουν σε υψηλά επίπεδα.

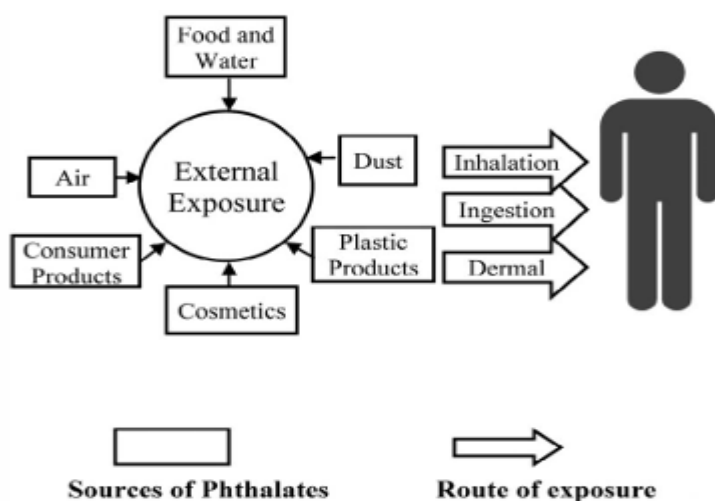
iii) Δερματική Απορρόφηση

Προϊόντα Περιποίησης και Καλλυντικά

Πολλά προϊόντα περιποίησης και καλλυντικά, όπως κρέμες, λοσιόν, σαμπουάν και αρώματα, περιέχουν φθαλικούς εστέρες ως συστατικά. Οι φθαλικοί εστέρες προστίθενται σε αυτά τα προϊόντα για να βελτιώσουν την υφή, την σταθερότητα και την διάχυση των αρωμάτων. Κατά την εφαρμογή αυτών των προϊόντων στο δέρμα, οι φθαλικοί εστέρες μπορούν να απορροφηθούν διαμέσου της επιδερμίδας και να διεισδύσουν στην αιματική κυκλοφορία. Η δερματική απορρόφηση αυτών των ουσιών αυξάνεται με τη συχνή και παρατεταμένη χρήση των προϊόντων, καθώς και με την εφαρμογή σε μεγάλες επιφάνειες του δέρματος.

Επαφή με Πλαστικά Προϊόντα

Η παρατεταμένη επαφή με πλαστικά προϊόντα που περιέχουν φθαλικούς εστέρες, όπως παιχνίδια, ρούχα, και οικιακά αντικείμενα, μπορεί επίσης να οδηγήσει σε απορρόφηση μέσω του δέρματος. Τα παιδιά είναι ιδιαίτερα ευάλωτα σε αυτή τη μορφή έκθεσης, καθώς συχνά βάζουν πλαστικά παιχνίδια στο στόμα τους και έχουν αυξημένη δερματική επαφή με τέτοιου είδους αντικείμενα. Επιπλέον, οι ενήλικες που εργάζονται σε βιομηχανίες παραγωγής πλαστικών ή που χρησιμοποιούν πλαστικά προϊόντα στην εργασία τους (όπως κομμωτές και τεχνίτες) μπορεί επίσης να εκτεθούν σε υψηλά επίπεδα φθαλικών εστέρων μέσω της δερματικής επαφής.



Εικόνα 10: κατάληξη των φθαλικών εστερών στον ανθρώπινο οργανισμό ([Presentation University of Thessaly_240413\[1464\].pdf](#))

2.4.3.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

i) Ενδοκρινικές Διαταραχές

Διαταραχή Ορμονών

Οι φθαλικοί εστέρες είναι γνωστοί ενδοκρινικοί διαταράκτες, δηλαδή χημικές ουσίες που αντιγράφουν ή αναστείλουν την λειτουργία των φυσικών ορμονών στο σώμα. Οι ορμόνες είναι ουσίες που εκκρίνονται από τους ενδοκρινείς αδένες και ρυθμίζουν ποικίλες λειτουργίες του οργανισμού, όπως την ανάπτυξη, τον μεταβολισμό και την αναπαραγωγή. Οι φθαλικοί εστέρες μπορούν να επηρεάσουν τη σύνθεση, την απελευθέρωση, τη μεταφορά, τη δράση ή τον μεταβολισμό των φυσικών ορμονών, οδηγώντας σε διαταραχές του ορμονικού συστήματος.

Ανωμαλίες στην Ανάπτυξη του Εμβρύου

Η έκθεση σε φθαλικούς εστέρες κατά την διάρκεια της εγκυμοσύνης επιδρά στην ανάπτυξη του εμβρύου, αυξάνοντας τον κίνδυνο αποβολών και συγγενών ανωμαλιών. Οι φθαλικοί εστέρες μπορούν να διαπεράσουν τον πλακούντα και να επηρεάσουν την ανάπτυξη των οργάνων και των συστημάτων του εμβρύου.

ii) Αναπαραγωγικές Διαταραχές

Επιπτώσεις Στην Αναπαραγωγική Υγεία Του Άνδρα

Οι φθαλικοί εστέρες έχουν συνδεθεί με τη μείωση της ποιότητας του σπέρματος, συμπεριλαμβανομένης της ελάττωσης του αριθμού και της κινητικότητας των σπερματοζωαρίων. Αυτές οι αλλαγές επηρεάζουν αρνητικά την ανδρική γονιμότητα, οδηγώντας σε δυσκολίες στη σύλληψη. Επιπλέον, μελέτες έχουν δείξει ότι η έκθεση σε φθαλικούς εστέρες οδηγεί σε αύξηση των ανωμαλιών των σπερματοζωαρίων, όπως οι δομικές ανωμαλίες των σπερματικών κυττάρων.

Επιπτώσεις Στην Αναπαραγωγική Υγεία Της Γυναίκας

Η έκθεση σε φθαλικούς εστέρες μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργίες του εμμηνορροϊκού κύκλου, επηρεάζοντας την κανονικότητα και την ένταση της περιόδου. Επιπλέον, η προγεννητική έκθεση σε φθαλικούς εστέρες έχει συνδεθεί με επιπλοκές στην ανάπτυξη του εμβρύου, αυξάνοντας τον κίνδυνο αποβολών και συγγενών ανωμαλιών, όπως η υποσπαδία (μια ανωμαλία στην ανάπτυξη της ουρήθρας στα αγόρια).

iii) Αναπτυξιακές Ανωμαλίες στα Παιδιά

Επιπτώσεις Στη Νευροανάπτυξη

Η προγεννητική έκθεση σε φθαλικούς εστέρες έχει συνδεθεί με νευροαναπτυξιακές διαταραχές στα παιδιά. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα παιδιά που εκτίθενται σε υψηλά επίπεδα φθαλικών εστέρων στη μήτρα παρουσιάζουν καθυστέρηση στη γλωσσική ανάπτυξη, διαταραχές στη συμπεριφορά, και χαμηλότερες επιδόσεις στις γνωστικές λειτουργίες, όπως η μνήμη και η προσοχή. Αυτές οι επιπτώσεις μπορεί να έχουν

μακροχρόνιες συνέπειες στην εκπαιδευτική πορεία και την κοινωνική ανάπτυξη των παιδιών.

Ανωμαλίες Στη Σωματική Ανάπτυξη

Τα παιδιά που βρίσκονται σε περιβάλλον με υψηλά επίπεδα φθαικών εστέρων εμφανίζουν καθυστερημένη σωματική ανάπτυξη. Μελέτες έχουν δείξει ότι η έκθεση σε φθαικούς εστέρες μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη των οστών και των μυών, οδηγώντας σε χαμηλότερο βάρος και ύψος σε σχέση με συνομηλίκους τους. Επιπλέον, η έκθεση αυτή μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο εμφάνισης ασθενειών κατά την ενήλικη ζωή, όπως η παχυσαρκία και ο διαβήτης.

iv) Καρκινογένεση

Αυξημένος Κίνδυνος Καρκίνου

Ορισμένοι φθαικοί εστέρες έχουν κατηγορηθεί για καρκινογένεση. Έρευνες σε ζώα και ανθρώπους έχουν αποδείξει ότι η μακροχρόνια έκθεση σε αυτές τις χημικές ουσίες αυξάνει τον κίνδυνο ανάπτυξης καρκίνου του ήπατος, των νεφρών και άλλων οργάνων. Οι φθαικοί εστέρες ενδέχεται να επιφέρουν βλάβες στο DNA, να επηρεάσουν την κυτταρική διαίρεση και να προωθήσουν την ανάπτυξη καρκινικών κυττάρων. Επιπλέον, η ικανότητα των φθαικών εστέρων να δρουν ως ενδοκρινικοί διαταράκτες συμβάλλει στην καρκινογένεση μέσω της διαταραχής των ορμονών που ρυθμίζουν την κυτταρική ανάπτυξη και τον θάνατο.

2.4.4 ΥΠΕΡΦΘΟΡΟΑΛΚΥΛΙΩΜΕΝΕΣ ΧΗΜΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ (PFAS)

Οι υπερφθοριωμένες και πολυφθοριωμένες αλκυλιωμένες ενώσεις (PFAS) είναι μια κατηγορία συνθετικών χημικών ενώσεων που χαρακτηρίζονται από μια αλυσίδα άνθρακα, η οποία είναι πλήρως ή μερικώς φθοριωμένη και συνδέεται με διάφορες λειτουργικές ομάδες. Σύμφωνα με τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ), οι PFAS περιλαμβάνουν φθοριούχες ουσίες που περιέχουν τουλάχιστον μία πλήρως φθοριωμένη ομάδα μεθυλίου ή μεθυλενίου, δηλαδή, χημικές ουσίες με τουλάχιστον μία υπερφθοριωμένη μεθυλομάδα ($-\text{CF}_3$) ή μία υπερφθοριωμένη ομάδα μεθυλενίου ($-\text{CF}_2-$).

Ο ανανεωμένος ορισμός αυτών των ενώσεων συμπεριλαμβάνει τόσο τις ενώσεις με λειτουργικές ομάδες και στα δύο άκρα των πλήρως φθοριωμένων τμημάτων κορεσμένου άνθρακα, όσο και εκείνες με κυκλική δομή στα άκρα αυτών των τμημάτων. Αυτές οι χημικές ουσίες έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για πάνω από 70 χρόνια σε διάφορα βιομηχανικά και καταναλωτικά προϊόντα λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων τους, όπως η ανθεκτικότητα στο νερό, το λάδι και τη θερμότητα.

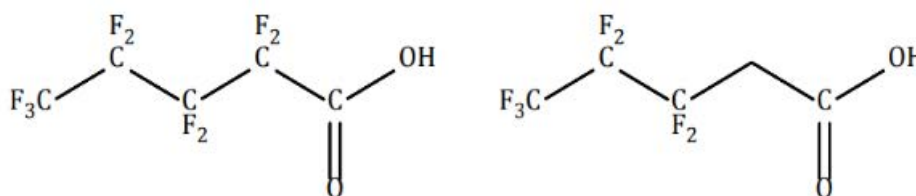
Λόγω των ισχυρών δεσμών άνθρακα-φθορίου που περιέχουν, οι PFAS είναι εξαιρετικά ανθεκτικές στη διάσπαση, γεγονός που τις καθιστά επίμονες στο περιβάλλον και δύσκολες να αποδομηθούν. Αυτή η ανθεκτικότητα έχει ως αποτέλεσμα την παρατεταμένη παραμονή τους στο οικοσύστημα και τη συσσώρευσή τους στους οργανισμούς, προκαλώντας ανησυχίες για πιθανές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

2.4.4.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ PFAS

Οι PFAS ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες με βάση τα χαρακτηριστικά τους, έτσι ώστε να επιτευχθεί καλύτερη κατανόηση και αποτελεσματικότερη διαχείριση αυτών. Συγκεκριμένα, διακρίνονται σε πολυμερή και μη πολυμερή.

Τα πολυμερή PFAS αποτελούνται από ένα ή περισσότερα μονομερή PFAS. Κατά τη διάρκεια χρήσης ή απόρριψή τους, αυτά τα πολυμερή μπορούν να αποικοδομηθούν σε μονομερή PFAS, τα οποία απελευθερώνονται στο περιβάλλον.

Τα μη πολυμερή PFAS διαχωρίζονται σε υπερφθοροαλκυλικές και πολυφθοροαλκυλικές ουσίες. Η βασική απόκλιση αυτών των δύο κατηγοριών είναι ότι οι υπερφθοροαλκυλικές διαθέτουν μια λειτουργική ομάδα και μια αλυσίδα άνθρακα, όπου όλα τα άτομα υδρογόνου έχουν αντικατασταθεί από άτομα φθορίου, ενώ οι πολυφθοροαλκυλικές αποτελούνται από τουλάχιστον ένα πλήρως φθοριωμένο άτομο άνθρακα εντός της ανθρακικής αλυσίδας.



Εικόνα 11: Χημική δομή από υπερφθοροαλκυλική ουσία (αριστερά). Χημική δομή από πολυφθοροαλκυλική ουσία (δεξιά) (<https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/82284/27665.pdf?sequence=4>)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ (ΟΝΟΜΑΣΙΑ)	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ
Φθοροπολυμερή	PTFE, PVDF, PVF, FEP	$-(CF_2CF_2)_n$, $-(CH_2CF_2)_n$, $-(CH_2CHF)_n$, $-(CF_2CF_2)_n-(CF(CF_3)CF_2)_m$
Υπερφθοροπολυαιθέρες (PFPEs)		$F-(C_mF_{2m}O)_nCF_3$ $HOCH_2O-[C_mF_{2m}O]_nCH_2OH$
Φθοριωμένα πολυμερή πλευρικής αλυσίδας	Φθοριωμένα ακρυλικά και μεθακρυλικά πολυμερή	$-CH-C(O)O-X-C_nF_{2n+1}$ $-C(CH_3)-C(O)O-X-C_nF_{2n+1}$
	Πολυμερή φθοριωμένης ουρεθάνης	$-NHC(O)O-X-C_nF_{2n+1}$
	Πολυμερή φθοριωμένου οξετανίου	$-CH_2OCH_2-R$

Εικόνα 12: Πίνακας κατηγοριοποίησης πολυμερών PFAS (<https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/82284/27665.pdf?sequence=4>)

ΥΠΕΡΦΘΟΡΟΑΛΚΥΛΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ		
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ (ΟΝΟΜΑΣΙΑ)	$C_nF_{2n+1}R$, όπου $R=$
Υπερφθοροαλκυλικά οξέα (PFAA)	Υπερφθοροαλκυλικά καρβοξυλικά οξέα (PFCA)	-COOH
	Υπερφθοροαλκυλικά καρβοξυλικά (PFCA)	-COO ⁻
	Υπερφθοροαλκυλικά θειώδη οξέα (PFSA)	-SO ₃ H
	Υπερφθοροαλκυλικά θειώδη (PFSA)	-SO ₃ ⁻
	Υπερφθοροαλκυλικά υποθειώδη οξέα (PFSIA)	-SO ₂ H
	Υπερφθοροαλκυλικά φωσφονικά οξέα (PFPA)	-P(=O)(OH) ₂
	Υπερφθοροαλκυλικά φωσφινικά οξέα (PFPIA)	-P(=O)(OH)(C _m F _{2m+1})
Υπερφθοροαλκυλικά σουλφονικά φθορίδια (PASF)		-SO ₂ F
Υπερφθοροαλκυλικές σουλφοναμίνες (PASA)		-SO ₂ NH ₂
Υπερφθοροαλκυλικά φθορίδια (PAF)		-COF
Υπερφθοροαλκυλικά ιωδιδια (PFAl)		-I
Υπερφθοροαλκυλικές αλδεΐδες (PFAL) και ένυδρες (PFAL·H ₂ O)		-CHO and -CH(OH) ₂

Εικόνα 13: πίνακας κατηγοριοποίησης μη πολυμερών PFAS
(<https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/82284/27665.pdf?sequence=4>)

ΠΟΛΥΦΘΟΡΟΑΛΚΥΛΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ		
Υπερφθοροαλκυλικές σουλφοναμιδικές ουσίες	N-αλκυλουπερφθοροαλκυλικές σουλφοναμίδες (MeFASA, EtFASA, BuFASA)	-SO ₂ NH(R') όπου R' = C _m H _{2m+1} (m=1,2,4)
	Υπερφθοροαλκυλικές σουλφοναμιδο-αιθανόλες & N-αλκυλο-υπερφθοροαλκυλικές σουλφοναμιδο-αιθανόλες (FASE & MeFASE, EtFASE, BuFASE)	-SO ₂ NH(R')CH ₂ CH ₂ OH όπου R' = C _m H _{2m+1} (m=0,1,2,4)
	N-αλκυλουπερφθοροαλκυλικά σουλφοναμιδο-αιθυλο-ακρυλικά & μεθακρυλικά (MeFAS(M)AC, EtFAS(M)AC, BuFAS(M)AC)	-SO ₂ N(R')CH ₂ CH ₂ OC(O)CH=CH ₂ & -SO ₂ N(R')CH ₂ CH ₂ OC(O)C(CH ₃)=CH ₂ όπου R' = C _m H _{2m+1} (m=1,2,4)
	Υπερφθοροαλκυλικά σουλφοναμιδο-οξικά οξέα & N-αλκυλο υπερφθοροαλκανο σουλφοναμιδο-οξικά οξέα (FASAA και MeFASAA, EtFASAA, BuFASAA)	-SO ₂ N(R')CH ₂ COOH όπου R' = C _m H _{2m+1} (m=1,2,4)
	Ημιφθοριωμένα n-αλκάνια & αλκένια (SFA, SFAenes)	-(CH ₂) _m H & -CH=CH(CH ₂) _{m-2} H, με m=2-16 και n=6-16

Εικόνα 14: 1ος πίνακας πολυφθοροαλκυλικών ουσιών, μη πολυμερών PFAS
(<https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/82284/27665.pdf?sequence=4>)

Φθοροτελομερείς ουσίες	n:2 Φθοροτελομερείς ιωδιδια (n:2 FTI)	-CH ₂ CH ₂ I
	n:2 Φθοροτελομερείς ολεφίνες (n:2 FTO)	-CH=CH ₂
	n:2 Φθοροτελομερείς αλκοόλες (n:2 FTOH)	-CH ₂ CH ₂ OH
	n:2 Ακόρεστες φθοροτελομερείς αλκοόλες (n:2 FTUOH)	-CF=CHCH ₂ OH
	n:2 Αλκυλικά φθοροτελομερή n:2 μεθακρυλικοί εστέρες (n:2 FTAC, n:2 FTMAC)	-CH ₂ CH ₂ OC(O)CH=CH ₂ -CH ₂ CH ₂ OC(O)C(CH ₃)=CH ₂
	n:2 Εστέρες πολυφθοροαλκυλοφωσφορικού οξέος, πολυφθοροαλκυλικά φωσφορικά, φθοροτελομερή φωσφορικά (PAP)	(-CH ₂ CH ₂ O) _x P(=O)(OH) _{3-x} όπου x=1 ή 2
	n:2 Φθοροτελομερείς αλδεΐδες & ακόρεστες αλδεΐδες (n:2 FTAL, n:2 FTUAL)	-CH ₂ CHO & -CF=CHCHO
	n:2 Φθοροτελομερείς καρβοξυλικά οξέα & ακόρεστες καρβοξυλικά οξέα (n:2 FTCA, n:2 FTUCA)	-CH ₂ COOH & -CF=CHCOOH
	n:3 Κορεσμένα οξέα (n:3 Acids) n:3 ακόρεστα οξέα (n:3 UAcids)	CH ₂ CH ₂ COOH -CH=CHCOOH
	n:2 Φθοροτελομερή σουλφονικά οξέα (n:2 FTSA)	-CH ₂ CH ₂ SO ₃ H

Εικόνα 15: 2ος πίνακας πολυφθοροαλκυλικών ουσιών, μη πολυμερών PFAS (<https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/82284/27665.pdf?sequence=4>)

2.4.4.2 ΟΔΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΑ ΥΔΑΤΙΝΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Οι υπερφθοριωμένες και πολυφθοριωμένες αλκυλιωμένες ενώσεις (PFAS) εισέρχονται στα υδάτινα οικοσυστήματα μέσα από διάφορους μηχανισμούς και πηγές, οι οποίοι συμβάλλουν στην διασπορά και συσσώρευση τους στο περιβάλλον. Οι κύριοι τρόποι εισόδου αναφέρονται αναλυτικότερα παρακάτω :

- Βιομηχανικά Απόβλητα

Οι βιομηχανίες που παράγουν ή χρησιμοποιούν PFAS σε διάφορες εφαρμογές (όπως η κατασκευή χημικών, η παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, η επεξεργασία χαρτιού και η κατασκευή ηλεκτρονικών), παράγουν απόβλητα που περιέχουν αυτές τις ουσίες. Τα απόβλητα αυτά συχνά απορρίπτονται σε υδάτινους πόρους, είτε με άμεσο τρόπο είτε μέσω περιορισμένης επεξεργασίας.

- Απόβλητα Επεξεργασίας Λυμάτων

Τα αστικά και βιομηχανικά λύματα που περιέχουν PFAS καταλήγουν στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Ωστόσο, οι συμβατικές μονάδες επεξεργασίας δεν είναι σχεδιασμένες να απομακρύνουν πλήρως αυτές τις χημικές ενώσεις, με αποτέλεσμα τα επεξεργασμένα λύματα να εξακολουθούν να περιέχουν PFAS και να απελευθερώνονται στα ποτάμια, τις λίμνες και τις θάλασσες.

- Πυροσβεστικοί Αφροί

Οι αφροί πυρόσβεσης που περιέχουν PFAS χρησιμοποιούνται για την κατάσβεση πυρκαγιών, καυσίμων και σε εκπαιδευτικά σενάρια. Κατά τη χρήση τους, αυτοί οι αφροί διαχέονται στο έδαφος και μέσω της απορροής από τις βροχοπτώσεις και τις άλλες καιρικές συνθήκες, καταλήγουν στους υδάτινους πόρους.

- Απορρίμματα Καταναλωτικών Προϊόντων

Πολλά καθημερινά προϊόντα όπως τα μη κολλητικά μαγειρικά σκεύη, τα αδιάβροχα ρούχα, τα χαλιά με ανθεκτική επιφάνεια και οι συσκευασίες τροφίμων περιέχουν PFAS. Κατά τη χρήση ή την απόρριψη αυτών των προϊόντων, οι PFAS μπορούν να απελευθερωθούν στο περιβάλλον και τελικά να καταλήξουν στα υδάτινα συστήματα.

- Ατμοσφαιρική Κατακρήμνιση

Οι PFAS μπορούν να μεταφερθούν στον αέρα μέσω της εξάτμισης και να διασκορπιστούν μέσω των ατμοσφαιρικών ρευμάτων. Με την κατακρήμνιση, αυτές οι ουσίες επαναποτίθενται στο έδαφος και στους υδάτινους πόρους, συμβάλλοντας στη διασπορά τους ακόμα και σε απομακρυσμένες περιοχές.



Εικόνα 16 : προϊόντα τα οποία περιέχουν PFAS([Presentation University of Thessaly_240413\[1464\].pdf](#))

2.4.4.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΥΔΑΤΙΝΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Οι επιπτώσεις των υπερφθωριωμένων και πολυφθωριωμένων αλκυλιωμένων ενώσεων (PFAS) στα υδάτινα οικοσυστήματα είναι πολυδιάστατες και προκαλούν ανησυχία λόγω της ανθεκτικότητάς και τοξικότητάς τους. Αναλυτικά, οι κύριες επιπτώσεις περιλαμβάνουν:

- Τοξικότητα στους Υδρόβιους Οργανισμούς**

Ψάρια

Η έκθεση των ψαριών σε PFAS μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξή τους, προκαλώντας καθυστέρηση στην ανάπτυξη, μειωμένη σωματική μάζα και αναπτυξιακές ανωμαλίες στα έμβρυα και τις προνύμφες των ψαριών. Η παρουσία PFAS έχει συνδεθεί με μειωμένη γονιμότητα, χαμηλότερη παραγωγή αυγών και υψηλότερα ποσοστά θνησιμότητας στις προνύμφες. Οι διαταραχές αυτές οφείλονται στη δυνατότητα των PFAS να επηρεάζουν το ενδοκρινικό σύστημα των ψαριών, διαταράσσοντας την παραγωγή και τη λειτουργία των ορμονών που είναι κρίσιμες για την αναπαραγωγή. Σύγχρονος μπορούν να λειτουργήσουν ως ενδοκρινικοί διαταράκτες, επηρεάζοντας την ορμονική ισορροπία. Αυτό επιφέρει αλλαγές στο φύλο των ψαριών, μειωμένη παραγωγή ορμονών και άλλες ανωμαλίες που επηρεάζουν την αναπαραγωγική επιτυχία και τη γενική υγεία των πληθυσμών.

Ασπόνδυλα

Η βιωσιμότητα ασπόνδυλων, όπως τα καρκινοειδή και τα μαλάκια μειώνεται σημαντικά από την έκθεση τους σε PFAS. Αυτό οφείλεται στη βιοχημική και φυσιολογική τοξικότητα των PFAS, που μπορεί να προκαλέσει κυτταρικές βλάβες, μεταβολικές διαταραχές και οξειδωτικό στρες. Επιπρόσθετα δύνανται να επηρεάσουν τη συμπεριφορά των ασπόνδυλων, όπως η κινητικότητα και η λήψη τροφής. Για παράδειγμα, τα καρκινοειδή μπορεί να παρουσιάζουν μειωμένη ικανότητα αναζήτησης τροφής, ενώ τα μαλάκια μπορεί να εμφανίζουν μειωμένη δραστηριότητα, γεγονός που επηρεάζει την οικολογική τους λειτουργία και την αλληλεπίδρασή τους με άλλους οργανισμούς.

Μικροσκοπικοί Οργανισμοί

Η παρουσία PFAS έχει την ικανότητα να εμποδίσει την εξέλιξη και την αναπαραγωγή του φυτοπλαγκτού και του ζωοπλαγκτού, κάτι το οποίο επηρεάζει την πρωτογενή παραγωγή και την ενεργειακή ροή του οικοσυστήματος. Η τοξικότητα τους μειώνει την ποικιλότητα και την πυκνότητα του πλαγκτόν. Επομένως αυτές οι αλλαγές επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα τροφής για τους ανώτερους θηρευτές και διαταράσσουν τις οικολογικές αλληλεπιδράσεις καθώς οι μικροσκοπικοί οργανισμοί αποτελούν τη βάση της υδάτινης τροφικής αλυσίδας.

ii) Βιοσυσσώρευση και Βιομεγέθυνση

Τα PFAS συγκεντρώνονται στους λιπώδεις ιστούς επηρεάζοντας τη λειτουργία κυττάρων και οργάνων, οδηγώντας σε χρόνιες τοξικές επιδράσεις. Παράλληλα μέσω της τροφικής αλυσίδας καταφέρνουν να συγκεντρώνονται και να συσσωρεύονται στα ανώτερα τροφικά επίπεδα. Αυτό σημαίνει ότι οι ανώτεροι θηρευτές, όπως τα μεγάλα ψάρια και τα θαλάσσια θηλαστικά, μπορεί να περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις PFAS, θέτοντας σε κίνδυνο την υγεία τους.

iii) Ευρύτερες Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Τα PFAS έχουν ανιχνευτεί σε ποτάμια, λίμνες, υδροφόρους ορίζοντες και ωκεανούς παγκοσμίως. Η ρύπανση αυτή καθιστά το νερό ακατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση και για χρήση σε γεωργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Τα PFAS είναι ανθεκτικά στη διάσπαση και η απομάκρυνσή τους από το νερό είναι δύσκολη και

δαπανηρή. Αυτό δημιουργεί μακροπρόθεσμες προκλήσεις για τη διαχείριση και την αποκατάσταση των υδάτινων πόρων.

Η τοξικότητα τους στους υδρόβιους οργανισμούς ενδέχεται να μειώσει τη βιοποικιλότητα και να αλλάξει τη δομή των οικοσυστημάτων. Οι επιπτώσεις αυτές μπορεί να επηρεάσουν την τροφική αλυσίδα, την ενεργειακή ροή ακόμα και την οικολογική ισορροπία, οδηγώντας με αυτών τον τρόπο σε απώλεια οικολογικών υπηρεσιών, όπως ο καθαρισμός του νερού, η παραγωγή τροφής και η διατήρηση της γενετικής ποικιλότητας.

2.4.4.3 ΤΡΟΠΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ

1. Κατανάλωση Μολυσμένου Πόσιμου Νερού

Οι PFAS μπορούν να εισέλθουν στα υπόγεια και επιφανειακά νερά μέσω βιομηχανικών απορρίψεων, διαρροών από χώρους ταφής απορριμμάτων, χρήσης πυροσβεστικών αφρών και γεωργικών πρακτικών. Αυτές οι πηγές ρύπανσης οδηγούν στη διάχυτη μόλυνση των υδάτινων πηγών που χρησιμοποιούνται για την παροχή πόσιμου νερού.

Τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας νερού συχνά δεν είναι αποτελεσματικά στην αφαίρεση των PFAS λόγω της ανθεκτικότητάς τους στη διάσπαση. Επομένως, οι PFAS παραμένουν στο επεξεργασμένο πόσιμο νερό που φτάνει στους καταναλωτές. Η κατανάλωση αυτού του νερού μπορεί να οδηγήσει στη συσσώρευση των PFAS στον ανθρώπινο οργανισμό.

2. Κατανάλωση Τροφίμων από Μολυσμένα Υδάτινα Οικοσυστήματα

Τα ψάρια και τα θαλασσινά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στη συσσώρευση των PFAS. Οι PFAS που υπάρχουν στο νερό απορροφώνται από τα ψάρια μέσω των βραγχίων και του δέρματος, και συσσωρεύονται στους ιστούς τους. Οι ανώτεροι θηρευτές, όπως τα μεγάλα αρπακτικά ψάρια, εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις PFAS λόγω της βιομεγέθυνσης. Οι άνθρωποι που καταναλώνουν αυτά τα ψάρια και θαλασσινά εκτίθενται σε υψηλότερα επίπεδα PFAS.

3. Καλλιέργειες

Η άρδευση καλλιεργειών με μολυσμένο νερό μπορεί να οδηγήσει στη μεταφορά PFAS στους βρώσιμους ιστούς των φυτών. Τα PFAS που βρίσκονται στο νερό της άρδευσης μπορούν να απορροφηθούν από το έδαφος και να μεταφερθούν στους φυτικούς ιστούς μέσω των ριζών. Αυτό σημαίνει ότι τα φυτά που καταναλώνονται από τους ανθρώπους μπορεί να περιέχουν PFAS. Παράλληλα η χρήση λυμάτων και βιοστερεών (λυματολάσπη) που περιέχουν PFAS ως λίπασμα στις καλλιέργειες μπορεί να οδηγήσει στη μόλυνση των φυτών και κατ' επέκταση των τροφίμων.

4. Επαφή με Μολυσμένο Νερό

Η κολύμβηση σε μολυσμένα νερά μπορεί να οδηγήσει σε άμεση απορρόφηση των PFAS μέσω του δέρματος. Αν και η δερματική απορρόφηση είναι γενικά μικρότερη

συγκριτικά με την κατάποση, η παρατεταμένη ή επαναλαμβανόμενη επαφή μπορεί να αυξήσει την έκθεση. Κατά τη διάρκεια διάφορων υδάτινων δραστηριοτήτων όπως το ψαροντούφεκο, προσθέτετε μια άλλη οδός έκθεσης η οποία είναι η ακούσια κατάποση νερού που περιέχει PFAS.

5. Κατανάλωση Προϊόντων από Μολυσμένα Ζώα

Τα PFAS συσσωρεύονται σε λιπώδεις και άλλους ιστούς των ζώων. Αυτά τα ζώα περιέχουν PFAS και αυξάνουν τα επίπεδα έκθεσης για τους καταναλωτές τους. Τα γαλακτοκομικά προϊόντα (όπως για παράδειγμα το γάλα και το τυρί) και τα κρεατικά προϊόντα (κρέας, λουκάνικα).

6. Εισπνοή Μολυσμένων Αερολυμάτων

Σε περιοχές κοντά σε μολυσμένα υδάτινα συστήματα, οι άνθρωποι μπορούν να εισπνεύσουν αερολύματα που περιέχουν PFAS. Αυτό μπορεί να συμβεί ιδιαίτερα αν πραγματοποιούνται δραστηριότητες που αναδεύουν το νερό, όπως βιομηχανικές διαδικασίες ή ψεκασμοί.

2.4.4.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

α) Ενδοκρινικές Διαταραχές

Οι ενδοκρινικές διαταραχές προκαλούνται από τη διαταραχή των ορμονικών συστημάτων, τα οποία έχουν την ευθύνη για τη ρύθμιση πολλών φυσιολογικών λειτουργιών.

i) Διαταραχή της Θυρεοειδικής Λειτουργίας

Τα PFAS μπορούν να επηρεάσουν τον μεταβολισμό των θυρεοειδικών ορμονών, όπως η θυροξίνη (T4) και η τριϊωδοθυρονίνη (T3). Αυτό συμβαίνει μέσω της δέσμευσης των PFAS στους υποδοχείς των θυρεοειδικών ορμονών ή της παρέμβασης στις πρωτεΐνες που μεταφέρουν αυτές τις ορμόνες στο αίμα. Οι αλλαγές στα επίπεδα των θυρεοειδικών ορμονών μπορούν να προκαλέσουν υποθυρεοειδισμό (χαμηλά επίπεδα θυρεοειδικών ορμονών) ή υπερθυρεοειδισμό (υψηλά επίπεδα θυρεοειδικών ορμονών). Αυτές οι καταστάσεις επηρεάζουν τον μεταβολισμό, την ανάπτυξη, τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος, την καρδιακή λειτουργία και τη συνολική ενεργειακή ισορροπία.

ii) Αναπαραγωγικές Διαταραχές

Η έκθεση σε PFAS μπορεί να επηρεάσει την αναπαραγωγική ικανότητα ανδρών και γυναικών. Στους άνδρες, τα PFAS μπορούν να μειώσουν την ποιότητα του σπέρματος, μειώνοντας την κινητικότητα και τον αριθμό των σπερματοζωαρίων. Στις γυναίκες, μπορεί να διαταραχθεί ο κύκλος της ωορρηξίας, οδηγώντας σε δυσκολίες σύλληψης. Ακόμα Οι PFAS έχουν συνδεθεί με αυξημένο κίνδυνο επιπλοκών κατά την εγκυμοσύνη, όπως πρόωρο τοκετό, χαμηλό βάρος γέννησης και υπέρταση της

εγκυμοσύνης (προεκλαμψία). Οι επιπλοκές αυτές ενδέχεται να έχουν μακροπρόθεσμες επιδράσεις στην υγεία των νεογνών και μητέρων.

β) Καρκινογένεση

Οι PFAS έχουν χαρακτηριστεί από διάφορους οργανισμούς δημόσιας υγείας, όπως η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA) ύποπτα για καρκινογένεση στον άνθρωπο .

ι) Καρκίνος των Νεφρών και του Ήπατος

Τα PFAS μπορούν να προκαλέσουν οξειδωτικό στρες και φλεγμονή στους ιστούς, αυξάνοντας την παραγωγή ελεύθερων ριζών οξυγόνου (ROS) και προκαλώντας βλάβες στο DNA. Αυτές οι διαδικασίες μπορούν να οδηγήσουν σε ανεξέλεγκτη κυτταρική ανάπτυξη και καρκινογένεση. Μελέτες σε ανθρώπινους πληθυσμούς έχουν δείξει αυξημένο κίνδυνο για ανάπτυξη καρκίνου των νεφρών και του ήπατος σε άτομα με υψηλά επίπεδα PFAS στο αίμα. Εκτός από τον καρκίνο των νεφρών και του ήπατος, υπάρχουν ενδείξεις ότι τα PFAS μπορεί να σχετίζονται και με άλλες μορφές, όπως ο καρκίνος του όρχεως και του προστάτη. Παρόλο που οι έρευνες συνεχίζονται, οι υπάρχουσες μελέτες δείχνουν ότι η μακροχρόνια έκθεση σε PFAS μεγαλώνει την πιθανότητα να παρουσιαστούν αυτές οι μορφές καρκίνου.

Το ήπαρ είναι το κύριο όργανο μεταβολισμού και αποτοξίνωσης του σώματος και μέσω της έκθεσης σε PFAS μπορεί να επηρεάσει τον μεταβολισμό των λιπιδίων του, προκαλώντας συσσώρευση λίπους στα ηπατικά κύτταρα. Αυτό μπορεί να συμβεί μέσω της διαταραχής των ενζύμων που εμπλέκονται στη λιπογένεση και τη λιπόλυση. Η συσσώρευση λίπους στο ήπαρ είναι δυνατόν να οδηγήσει σε μη αλκοολική λιπώδη ηπατική νόσο (NAFLD). Η NAFLD μπορεί να εξελιχθεί προκαλώντας φλεγμονή και ίνωση του ήπατος, και τελικά να οδηγήσει σε κίρρωση ή ηπατοκυτταρικό καρκίνωμα.

γ) Διαταραχές του Ανοσοποιητικού Συστήματος

Επηρεάζουν το ανοσοποιητικό σύστημα, το οποίο προστατεύει το σώμα από λοιμώξεις και ασθένειες.

ι) Μειωμένη Ανοσολογική Απόκριση

Η έκθεση των παιδιών σε PFAS έχει συνδεθεί με μειωμένη απόκριση στα εμβόλια, με αποτέλεσμα να υπάρχει πιθανότητα να είναι λιγότερο αποτελεσματικά όσον αφορά την προστασία. Επιπλέον, τα παιδιά μπορεί να έχουν αυξημένη ευπάθεια σε λοιμώξεις και ασθένειες.

ii) Αυτοάνοσα Νοσήματα

Η χρόνια έκθεση σε PFAS οδηγεί σε δυσλειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος, αυξάνοντας τον κίνδυνο ανάπτυξης αυτοάνοσων νοσημάτων όπως η ρευματοειδής αρθρίτιδα και η νόσος του θυρεοειδούς (π.χ., η θυρεοειδίτιδα Hashimoto).

δ) Μεταβολικές Διαταραχές

iii) Δυσλιπιδαιμία

Η έκθεση σε PFAS επιδρά στα λιπίδια του αίματος, καθώς έχει συσχετιστεί με αυξημένα επίπεδα χοληστερόλης (LDL και συνολική χοληστερόλη) και τριγλυκεριδίων στο αίμα. Τα PFAS μπορεί να επηρεάζουν τη ρύθμιση των γονιδίων που συμμετέχουν στο μεταβολισμό των λιπιδίων.

iv) Καρδιαγγειακά Νοσήματα

Αλλαγές στα επίπεδα των λιπιδίων μπορούν να αυξήσουν τον κίνδυνο ανάπτυξης καρδιαγγειακών νοσημάτων, όπως αθηροσκλήρωση, καρδιακή νόσος και εγκεφαλικό επεισόδιο.

ε) Νεφρικές Διαταραχές

Οι PFAS μπορούν να επηρεάσουν τα νεφρικά κύτταρα, μειώνοντας την ικανότητα των νεφρών να φιλτράρουν το αίμα και να αποβάλλουν τα απόβλητα από το σώμα. Αυτό μπορεί να συμβεί μέσω της διαταραχής των πρωτεϊνών που εμπλέκονται στην νεφρική λειτουργία. Η μακροχρόνια έκθεση σε PFAS μπορεί να οδηγήσει σε χρόνια νεφρική νόσο, η οποία χαρακτηρίζεται από προοδευτική μείωση της νεφρικής λειτουργίας. Η ΧΝΝ μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία, καθώς τα νεφρά δεν μπορούν να αποβάλλουν επαρκώς τα απόβλητα και τις τοξίνες από το σώμα.

στ) Αναπνευστικές Διαταραχές

Οι PFAS μπορούν να προκαλέσουν φλεγμονώδεις αντιδράσεις στους πνεύμονες, οδηγώντας σε συμπτώματα άσθματος και άλλες αναπνευστικές αλλεργίες. Τα συμπτώματα περιλαμβάνουν δύσπνοια, βήχα και σφύριγμα κατά την αναπνοή. Οι φλεγμονώδεις αντιδράσεις προκαλούνται από την ενεργοποίηση των ανοσοκυττάρων στους πνεύμονες, τα οποία παράγουν φλεγμονώδεις κυτοκίνες και χημικές ουσίες που προκαλούν διόγκωση και στένωση των αεραγωγών.

2.5 ΝΕΑ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (2023)

Η Οδηγία ΕΕ 2020/2184 και το ΦΕΚ 3525/2023 είναι δύο θεμελιώδη νομοθετικά κείμενα που αποσκοπούν στη διασφάλιση της ποιότητας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, αντανakλώντας τις αυξανόμενες ανάγκες για την προστασία της δημόσιας υγείας και την αειφορία των υδάτινων πόρων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, μέσω της Οδηγίας ΕΕ 2020/2184, θέτει νέες προδιαγραφές και απαιτήσεις για την ποιότητα του πόσιμου νερού, ενώ το ΦΕΚ 3525/2023 ενσωματώνει αυτές τις απαιτήσεις στο ελληνικό δίκαιο.

2.5.1. Οδηγία ΕΕ 2020/2184

Η Οδηγία ΕΕ 2020/2184 εκδόθηκε στις 16 Δεκεμβρίου 2020, αντικαθιστώντας την προηγούμενη Οδηγία 98/83/ΕΚ, και εισάγει εκσυγχρονισμένα και αυστηρότερα πρότυπα για την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης. Οι βασικοί στόχοι της οδηγίας περιλαμβάνουν:

1. Βελτίωση της Ποιότητας του Νερού

Η νέα οδηγία αυστηροποιεί τα όρια για διάφορους ρύπους, συμπεριλαμβανομένων των βαρέων μετάλλων, των χημικών ουσιών, και των μικροβιολογικών παραμέτρων, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι το νερό είναι ασφαλές για κατανάλωση.

2. Πρόσβαση σε Ασφαλές Νερό

Ενισχύει τη δέσμευση της ΕΕ να εξασφαλίσει την πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό για όλους τους πολίτες, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση σε ευπαθείς και μειονεκτούσες ομάδες.

3. Διαφάνεια και Πληροφόρηση

Υποχρεώνει τις αρμόδιες αρχές να παρέχουν σαφείς και κατανοητές πληροφορίες στους καταναλωτές σχετικά με την ποιότητα του νερού, αυξάνοντας έτσι την εμπιστοσύνη του κοινού.

4. Επιτήρηση και Διαχείριση Κινδύνων

Εισάγει ένα σύστημα διαχείρισης κινδύνων που καλύπτει ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού, από την πηγή μέχρι τον τελικό χρήστη, για την πρόληψη και την αντιμετώπιση τυχόν κινδύνων.

Συγχρόνως η Οδηγία ΕΕ 2020/2184 περιλαμβάνει μια σειρά από νέες προδιαγραφές οι οποίες είναι οι παρακάτω.

- **Αυστηρότερα Όρια Ρύπων**

Αναθεωρεί τα επιτρεπτά όρια για επιβλαβείς ουσίες όπως ο μόλυβδος, το κάδμιο και το χρώμιο.

- **Μικροπλαστικά**

Εισάγει νέες απαιτήσεις για την παρακολούθηση της παρουσίας μικροπλαστικών στο πόσιμο νερό.

- **Νέες Χημικές Ουσίες**

Προσθέτει νέες χημικές παραμέτρους, όπως οι PFAS (υπερφθοροαλκυλικές ουσίες), που πρέπει να παρακολουθούνται και να ρυθμίζονται.

2.5.2. ΦΕΚ 3525/2023

Το ΦΕΚ 3525/2023, το οποίο δημοσιεύθηκε στις 25 Ιουλίου 2023, αποτελεί την εθνική ενσωμάτωση της Οδηγίας ΕΕ 2020/2184 στο ελληνικό δίκαιο. Περιλαμβάνει λεπτομερείς διατάξεις και κανονισμούς για την εφαρμογή των ευρωπαϊκών προτύπων στη χώρα, προσαρμόζοντας τις εθνικές πολιτικές και πρακτικές στις νέες απαιτήσεις.

Κύριες Προβλέψεις του ΦΕΚ

1. **Προσαρμογή των Ορίων Ρύπων:** Υιοθετεί τα αυστηρότερα όρια για τις συγκεντρώσεις επιβλαβών ουσιών, όπως καθορίζονται στην Οδηγία ΕΕ 2020/2184, και εξασφαλίζει τη συμμόρφωση με τα ευρωπαϊκά πρότυπα.
2. **Ενίσχυση των Ελεγκτικών Μηχανισμών:** Προβλέπει την ενίσχυση των ελεγκτικών μηχανισμών και των διαδικασιών παρακολούθησης της ποιότητας του νερού, με τακτικούς ελέγχους και αναφορές.
3. **Εκπαίδευση και Ευαισθητοποίηση:** Περιλαμβάνει δράσεις για την εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση των πολιτών σχετικά με τα οφέλη της καθαρής και ασφαλούς κατανάλωσης νερού, καθώς και για τους κινδύνους από την έκθεση σε ρυπαντές.
4. **Διαχείριση Υδάτινων Πόρων:** Ενθαρρύνει τη βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων, υιοθετώντας πρακτικές που μειώνουν τη ρύπανση και εξασφαλίζουν την αειφορία των υδάτινων αποθεμάτων.

Η Οδηγία ΕΕ 2020/2184 και το ΦΕΚ 3525/2023 σηματοδοτούν μια νέα εποχή στη διαχείριση και την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση και ειδικότερα στην Ελλάδα. Οι νέες αυτές νομοθετικές ρυθμίσεις εισάγουν αυστηρότερα πρότυπα και βέλτιστες πρακτικές, με στόχο την προστασία της δημόσιας υγείας και την προαγωγή της βιώσιμης διαχείρισης των υδάτινων πόρων. Η επιτυχής εφαρμογή των νέων αυτών κανονισμών απαιτεί συνεργασία μεταξύ των αρμόδιων αρχών, των παρόχων υπηρεσιών ύδρευσης και των πολιτών. Οι αρχές πρέπει να διασφαλίσουν την τήρηση των προτύπων μέσω αποτελεσματικών ελεγκτικών μηχανισμών και να υποστηρίξουν την εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση του κοινού. Οι πολίτες, από την πλευρά τους, πρέπει να ενημερώνονται και να συμμετέχουν ενεργά στις διαδικασίες που αφορούν την ποιότητα του νερού. Συνοψίζοντας, η Οδηγία ΕΕ 2020/2184 και το ΦΕΚ 3525/2023 αποτελούν σημαντικά βήματα για τη διασφάλιση της ποιότητας του πόσιμου νερού και την προστασία της δημόσιας υγείας στην Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 -ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΕΚΧΥΛΙΣΗ

Η εκχύλιση είναι μια φυσικοχημική διεργασία που αποσκοπεί στην απομόνωση ενός ή περισσότερων συστατικών από ένα στερεό ή υγρό μείγμα με τη χρήση ενός κατάλληλου διαλύτη. Στη διαδικασία αυτή, το συστατικό που ζητάτε να απομονωθεί (το διαλυμένο συστατικό) μεταφέρεται από την αρχική φάση του μείγματος στη φάση του διαλύτη.

Η επιλογή του διαλύτη είναι κρίσιμη στη διαδικασία της εκχύλισης. Ο διαλύτης θα πρέπει να διαθέτει την ιδιότητα να διαλύει επιλεκτικά το επιθυμητό συστατικό χωρίς να επηρεάζει σημαντικά τα υπόλοιπα συστατικά του μείγματος. Αυτό σημαίνει ότι ο διαλύτης πρέπει να παρουσιάζει μεγάλη διαλυτότητα για το συγκεκριμένο συστατικό

και ταυτόχρονα να έχει μικρή διαλυτότητα για τα ανεπιθύμητα συστατικά. Στην συνέχεια θα γίνει αναφορά για τα βήματα της διαδικασίας της εκχύλισης τα οποία είναι τα εξής :

1. Επιλογή Διαλύτη

Ο κατάλληλος διαλύτης επιλέγεται με βάση τη χημική φύση του συστατικού που αποζητάτε να απομονωθεί. Ο διαλύτης πρέπει να επιλέγεται έτσι ώστε να έχει την ικανότητα να διαλύει το επιθυμητό συστατικό ενώ ταυτόχρονα να παραμένει σχεδόν αδιάλυτος για τα υπόλοιπα συστατικά του μείγματος.

2. Επαφή των Φάσεων

Το μείγμα που περιέχει το συστατικό προς απομόνωση αναμειγνύεται με τον διαλύτη. Η επαφή αυτή επιτρέπει στο επιθυμητό συστατικό να διαλυθεί στον διαλύτη. Η ανάδευση ή η ανακίνηση της μίξης μπορεί να επιταχύνει τη διαδικασία μεταφοράς του συστατικού από την αρχική φάση στη φάση του διαλύτη.

3. Διαχωρισμός των Φάσεων

Μετά την επαρκή επαφή και την ολοκλήρωση της διάλυσης, οι δύο φάσεις (η φάση του αρχικού μείγματος και η φάση του διαλύτη) διαχωρίζονται. Οι διαλύτες είναι συνήθως μη αναμίξιμοι και διαχωρίζονται εύκολα λόγω της διαφοράς στην πυκνότητά τους, σχηματίζοντας δύο διακριτές στιβάδες.

4. Ανάκτηση του Συστατικού

Η φάση του διαλύτη, η οποία περιέχει το διαλυμένο επιθυμητό συστατικό, μπορεί να υποβληθεί σε περαιτέρω επεξεργασία για την ανάκτηση του καθαρού συστατικού. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την εξάτμιση του διαλύτη, την κρυστάλλωση ή άλλες μεθόδους διαχωρισμού.

5. Ανάκτηση του Διαλύτη (αν απαιτείται)

Ο διαλύτης μπορεί να ανακτηθεί και να επαναχρησιμοποιηθεί, καθιστώντας τη διαδικασία πιο οικονομική και περιβαλλοντικά φιλική. Η ανάκτηση του διαλύτη επιτυγχάνεται συνήθως με εξάτμιση ή άλλες μεθόδους διαχωρισμού που επιτρέπουν την επαναχρησιμοποίησή του χωρίς να χάνει τις ιδιότητές του.

3.2 ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ

Η εκχύλιση των οργανικών ρύπων αποτελεί μία σημαντική διαδικασία για την απομάκρυνση επιβλαβών ουσιών από το περιβάλλον, όπως είναι το νερό, το έδαφος και τα βιομηχανικά απόβλητα. Η διαδικασία αυτή εφαρμόζεται ευρέως στην περιβαλλοντική μηχανική και στη διαχείριση αποβλήτων με σκοπό την προάσπιση του περιβάλλοντος και την υγεία του πληθυσμού. Η διαδικασία εκχύλισης οργανικών ρύπων θα αναλυθεί παρακάτω.

1. Επιλογή Διαλύτη

Η επιλογή του κατάλληλου διαλύτη είναι το πρώτο και ίσως το πιο κρίσιμο βήμα στη διαδικασία εκχύλισης. Ο διαλύτης πρέπει να έχει υψηλή ικανότητα διάλυσης για τους συγκεκριμένους ρύπους και να είναι μη αναμίξιμος με το μέσο από το οποίο θα γίνει η εκχύλιση (π.χ. νερό). Συνήθεις διαλύτες που χρησιμοποιούνται για την εκχύλιση οργανικών ρύπων περιλαμβάνουν το εξαάνιο, το διχλωρομεθάνιο και τον αιθυλαιθέρα. Η επιλογή του διαλύτη καθορίζεται από τη χημική φύση των ρύπων, καθώς και από την αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια του διαλύτη.

2. Στάδιο Επαφής και Ανάδευσης

Στη συνέχεια, το δείγμα που περιέχει τους ρύπους αναμιγνύεται με τον διαλύτη. Η ανάδευση ή η ανακίνηση του μείγματος είναι απαραίτητη για την επιτάχυνση της μεταφοράς των ρύπων από την αρχική φάση (π.χ. υδάτινη φάση) στη φάση του διαλύτη. Αυτή η επαφή επιτρέπει την εξισορρόπηση των συγκεντρώσεων των ρύπων μεταξύ των δύο φάσεων, διευκολύνοντας τη μέγιστη απορρόφηση των ρύπων από τον διαλύτη.

3. Διαχωρισμός των Φάσεων

Μετά την επαρκή επαφή και ανάδευση, οι δύο φάσεις διαχωρίζονται. Ο διαλύτης, ο οποίος έχει απορροφήσει τους οργανικούς ρύπους, διαχωρίζεται από την αρχική φάση λόγω της διαφοράς στην πυκνότητα και τις χημικές τους ιδιότητες. Συνήθως, οι δύο φάσεις σχηματίζουν διακριτές στιβάδες, με τον οργανικό διαλύτη να βρίσκεται επάνω ή κάτω από την υδάτινη φάση, ανάλογα με τις πυκνότητες τους.

4. Συμπύκνωση και Χημική Ανάλυση

Η φάση του διαλύτη που περιέχει τους ρύπους μπορεί να υποβληθεί σε περαιτέρω επεξεργασία, όπως συμπύκνωση, για την αύξηση της συγκέντρωσης των ρύπων. Η συμπύκνωση επιτυγχάνεται συνήθως με εξάτμιση του διαλύτη υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Μετά τη συμπύκνωση, οι οργανικοί ρύποι αναλύονται χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές χημικής ανάλυσης. Κοινές μέθοδοι περιλαμβάνουν την αέρια χρωματογραφία (GC) και την υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC), που επιτρέπουν την ποσοτική και ποιοτική ανάλυση των ρύπων.

5. Ανάκτηση και Ανακύκλωση Διαλύτη

Σε πολλές περιπτώσεις, ο διαλύτης μπορεί να ανακτηθεί και να επαναχρησιμοποιηθεί, καθιστώντας τη διαδικασία πιο οικονομική και περιβαλλοντικά φιλική. Η ανάκτηση του διαλύτη πραγματοποιείται μέσω διαδικασιών όπως η απόσταξη ή η εξάτμιση. Η επαναχρησιμοποίηση του διαλύτη μειώνει την ανάγκη για συνεχή προμήθεια νέων χημικών και ελαχιστοποιεί την παραγωγή αποβλήτων.

Παράλληλα η εκχύλιση οργανικών ρύπων έχει ευρείες εφαρμογές σε διάφορους τομείς, όπως:

- **Καθαρισμός Νερού**

Χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση οργανικών ρύπων από πόσιμο νερό και βιομηχανικά λύματα, διασφαλίζοντας την καθαρότητα του νερού και τη διατήρηση της δημόσιας υγείας. Η διαδικασία αυτή είναι κρίσιμη για την επεξεργασία του νερού που προορίζεται για κατανάλωση ή για απόρριψη στο περιβάλλον.

- **Ανάλυση και Αποκατάσταση Εδάφους**

Εφαρμόζεται για την απομόνωση και ανάλυση οργανικών ρύπων στο έδαφος, βοηθώντας στην αξιολόγηση της ρύπανσης και στην ανάπτυξη στρατηγικών αποκατάστασης. Η εκχύλιση μπορεί να προσδιορίσει την παρουσία τοξικών ουσιών στο έδαφος και να καθορίσει τις κατάλληλες μεθόδους αποκατάστασης.

- **Βιομηχανικά Απόβλητα**

Χρησιμοποιείται για την επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων, απομακρύνοντας επιβλαβείς οργανικές ουσίες πριν την απόρριψή τους στο περιβάλλον. Η εκχύλιση συμβάλλει στη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης και στην προστασία των οικοσυστημάτων.

- **Περιβαλλοντική Παρακολούθηση**

Αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την επισκόπηση της κατάστασης του περιβάλλοντος, και την ανίχνευση ρύπων σε αέρα, νερό και έδαφος. Οι μετρήσεις των οργανικών ρύπων βοηθούν στον έλεγχο της ρύπανσης και στη λήψη κατάλληλων μέτρων πρόληψης και αποκατάστασης.

Η εκχύλιση των οργανικών ρύπων είναι αναγκαία για τη διασφάλιση του περιβάλλοντος και της υγείας των ανθρώπων. Με την αδιάκοπη εξέλιξη της τεχνολογίας και την εμφάνιση καινοτόμων μεθόδων, η αποτελεσματικότητα και η ακρίβεια της εκχύλισης βελτιώνονται συνεχώς, παρέχοντας καλύτερα αποτελέσματα και συμβάλλοντας στην αειφορία και την περιβαλλοντική διαχείριση.

Παρακάτω γίνεται αναφορά στις δυο μεθόδους καθαρισμού που υπάρχουν ανάλογα με τα επιθυμητά αποτελέσματα τα οποία θέλουν να έχουν οι ερευνητές. Η πρώτη είναι για πλήρη καθαρισμό από ανεπιθύμητες ουσίες (cleanup) και η δεύτερη είναι για απομόνωση μιας συγκεκριμένης ουσίας (extraction). Αυτές οι δυο μέθοδοι θα αναλυθούν περαιτέρω στην συνέχεια με μεγαλύτερη έμφαση στο extraction καθώς εκεί βασίζεται το πειραματικό στάδιο της πτυχιακής.

3.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ (CLEANUP)

Η μέθοδος εκχύλισης και καθαρισμού (cleanup) είναι μια κρίσιμη διαδικασία στη χημική ανάλυση, ιδιαίτερα στην ανίχνευση και ποσοτικοποίηση οργανικών ενώσεων σε πολύπλοκα δείγματα, όπως τρόφιμα, περιβαλλοντικά δείγματα, και βιολογικά υγρά. Η μέθοδος αυτή στοχεύει στη διαχωριστική απομόνωση των αναλυτών από τα υπόλοιπα συστατικά του δείγματος που μπορεί να παρεμποδίζουν την ανάλυση. Μετά την εκχύλιση, το εκχύλισμα μπορεί να περιέχει ανεπιθύμητα συστατικά όπως λιπίδια, πρωτεΐνες, ή άλλες οργανικές και ανόργανες ακαθαρσίες που μπορούν να επηρεάσουν την ευαισθησία και την ακρίβεια της ανάλυσης. Το στάδιο του cleanup περιλαμβάνει την απομάκρυνση αυτών των ουσιών χρησιμοποιώντας τις παρακάτω τεχνικές.

1. **Διαχωρισμός Οξέος-Βάσης (acid-base partitioning)**

Η μέθοδος Διαχωρισμού Οξέος-Βάσης είναι μια σημαντική τεχνική στη χημική ανάλυση, χρησιμοποιούμενη για τον διαχωρισμό και την καθαρή απομόνωση οργανικών ενώσεων από ένα μείγμα με βάση τις όξινες ή βασικές τους ιδιότητες.

Αυτή η μέθοδος βασίζεται στη μεταβολή της διαλυτότητας των ενώσεων σε υδατικά και οργανικά διαλύματα υπό διαφορετικές συνθήκες pH. Εκμεταλλεύεται δηλαδή την ικανότητα ορισμένων οργανικών ενώσεων να αλλάζουν τη χημική τους μορφή (ιοντική ή μη ιοντική) ανάλογα με το pH του διαλύματος. Για παράδειγμα, μια οργανική ένωση που περιέχει καρβοξυλική ομάδα (-COOH) ενδέχεται να είναι μη ιοντική σε όξινο περιβάλλον, αλλά να ιονίζεται σε βασικό περιβάλλον σχηματίζοντας ένα ανιόν (R-COO^-). Αυτή η αλλαγή επηρεάζει τη διαλυτότητα της ένωσης στο νερό και στους οργανικούς διαλύτες.

Κύρια εφαρμογή της είναι για τον διαχωρισμό όξινων ή βασικών οργανικών ενώσεων από ουδέτερες οργανικές ενώσεις. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την ανακίνηση του διαλύματος που περιέχει τις οργανικές ενώσεις με υδατικό διάλυμα, το οποίο είναι ισχυρά βασικό. Κατά τη διαδικασία αυτή, οι όξινες οργανικές ενώσεις (που μπορεί να περιέχουν ομάδες όπως -COOH) ιονίζονται και διαχωρίζονται στην υδατική φάση, λόγω της αυξημένης διαλυτότητάς τους στο νερό σε βασικό pH. Οι βασικές και ουδέτερες οργανικές ενώσεις, που δεν ιονίζονται σε αυτές τις συνθήκες, παραμένουν στο οργανικό στρώμα, διαχωρίζοντας έτσι τα δύο κλάσματα.

Αφού ολοκληρωθεί ο διαχωρισμός, η υδατική φάση, η οποία περιέχει τις ιονισμένες όξινες ενώσεις, οξύνεται σε pH χαμηλότερο από δύο. Αυτή η όξινη μεταβολή προκαλεί την επαναφορά των όξινων ενώσεων στην μη ιονισμένη μορφή τους, μειώνοντας τη διαλυτότητά τους στο νερό και αυξάνοντας την τάση τους να μεταφερθούν στο οργανικό στρώμα. Στη συνέχεια, η εκχύλιση επαναλαμβάνεται με έναν οργανικό διαλύτη όπως το διχλωρομεθάνιο (μεθυλενοχλωρίδιο), όπου οι όξινες ενώσεις μεταφέρονται τώρα στο οργανικό στρώμα. Έτσι, το οργανικό στρώμα περιέχει πλέον το κλάσμα των όξινων ενώσεων, καθαρισμένο από τις υπόλοιπες ουσίες.

Αυτή η διαδικασία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον καθαρισμό και τον διαχωρισμό συγκεκριμένων κατηγοριών οργανικών ρύπων, όπως οι φαινόλες, τα χλωροφαινοξυζικά ζιζανιοκτόνα και άλλοι ημιπτητικοί οργανικοί ρύποι. Οι ρύποι αυτοί μπορούν να διαχωριστούν και να καθαριστούν αποτελεσματικά μέσω αυτής της μεθόδου, η οποία εκμεταλλεύεται τις αλλαγές στη διαλυτότητα που προκαλούνται από τις μεταβολές στο pH.

2. Καθαρισμός Στήλης Αλουμίνας (alumina column cleanup)

Η μέθοδος καθαρισμός στήλης αλουμίνας είναι μια χρωματογραφική τεχνική που χρησιμοποιείται ευρέως για τον καθαρισμό οργανικών ενώσεων από μίγματα. Η τεχνική αυτή βασίζεται στις προσροφητικές ιδιότητες της αλουμίνας (Al_2O_3), ενός στερεού προσροφητικού υλικού, το οποίο χρησιμοποιείται ως στάσιμη φάση σε μια χρωματογραφική στήλη.

Η αλουμίνα είναι ένα ανόργανο υλικό με υψηλή προσροφητική ικανότητα, που χρησιμοποιείται συχνά σε χρωματογραφία στήλης εξαιτίας της δυνατότητας που έχει να δεσμεύει και να διαχωρίζει οργανικές ενώσεις με βάση τις χημικές τους ιδιότητες. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αλουμίνας, ανάλογα με το pH της επιφάνειάς της (όξινη, ουδέτερη, βασική), και η επιλογή του κατάλληλου τύπου βασίζεται στην φύση των ενώσεων που πρόκειται να καθαριστούν.

Στην εκχύλιση των ενώσεων καθώς προστίθεται φρέσκος διαλύτης στη στήλη, οι ενώσεις ξεπλένονται (εκχυλίζονται) με διαδοχικό τρόπο από τη στήλη. Οι ουσίες με χαμηλότερη συγγένεια προς την αλουμίνα ξεπλένονται πρώτες, ενώ οι ουσίες με υψηλότερη συγγένεια παραμένουν στη στήλη για περισσότερο χρόνο. Το διαχωρισμένο υλικό συλλέγεται σταδιακά σε διαφορετικά κλάσματα καθώς εκχυλίζεται από τη στήλη. Η επιλογή του διαλύτη είναι κρίσιμη για τον επιτυχή διαχωρισμό. Συχνά χρησιμοποιούνται πολικοί διαλύτες όπως ο διχλωρομεθάνιο ή η ακετόνη, ανάλογα με τις φυσικοχημικές ιδιότητες των αναλυτών. Ο διαλύτης μπορεί να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας (gradient elution) για να επιτευχθεί καλύτερος διαχωρισμός.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η ικανότητά της να διαχωρίζει αποτελεσματικά και να απομακρύνει τις ακαθαρσίες που μπορεί να επηρεάσουν την ανάλυση. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα της μεθόδου συνδέεται με την επιλογή του σωστού τύπου αλουμίνας και διαλύτη, καθώς και από τον ακριβή έλεγχο των συνθηκών κατά τη διάρκεια της εκχύλισης. Τέλος Η μέθοδος χρησιμοποιείται εκτενώς για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων προσμίξεων από δείγματα πριν από την ανάλυση τους με τεχνικές όπως η αέρια χρωματογραφία (GC) ή η υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC). Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον καθαρισμό πολικών ενώσεων, όπως φυτοφάρμακα, πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), καθώς και άλλων ημιπτητικών και μη πτητικών οργανικών ρύπων.

3. Καθαρισμός Silica Gel (silica gel cleanup)

Η μέθοδος Καθαρισμού Silica Gel αποτελεί μια χρωματογραφική τεχνική η οποία εφαρμόζεται ευρέως για τον καθαρισμό και τον διαχωρισμό οργανικών ενώσεων από πολύπλοκα μίγματα. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην προσροφητική ικανότητα του πυριτικού άλατος (silica gel), το οποίο χρησιμοποιείται ως σταθερή φάση σε μια χρωματογραφική στήλη.

Το silica gel είναι ένα αμφοτερικό, πορώδες υλικό, αποτελούμενο κυρίως από διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2). Έχει μια επιφάνεια με υψηλή ενεργότητα λόγω των υδροξυλομάδων ($-\text{OH}$) που βρίσκονται στην επιφάνειά του, γεγονός που του προσδίδει ισχυρές προσροφητικές ιδιότητες. Το silica gel είναι ελαφρώς όξινο, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για τον διαχωρισμό και τον καθαρισμό ενώσεων ανάλογα με την πολικότητα και την όξινη/βασική τους φύση.

Η μέθοδος περιλαμβάνει την τοποθέτηση του δείγματος στην κορυφή μιας στήλης γεμάτης με silica gel. Το δείγμα, το οποίο διαλύεται σε έναν κατάλληλο οργανικό διαλύτη, προσροφάται στην επιφάνεια του silica gel. Ανάλογα με την πολικότητα και την αλληλεπίδραση των ενώσεων με την επιφάνεια του silica gel, οι ουσίες

προσροφώνται με διαφορετική ισχύ. Κατά τη διάρκεια της εκχύλισης, προστίθεται φρέσκος διαλύτης στη στήλη, ο οποίος περνά μέσα από το silica gel, ξεπλένοντας τις προσροφημένες ενώσεις με διαφορετικό ρυθμό. Οι ενώσεις που αλληλεπιδρούν ασθενέστερα με το silica gel (π.χ., μη πολικές ενώσεις) απομακρύνονται πρώτες από τη στήλη, ενώ οι ισχυρότερα προσροφημένες (π.χ., πολικές ενώσεις) παραμένουν στη στήλη για περισσότερο χρόνο.

Η επιλογή του διαλύτη είναι κρίσιμη για τον επιτυχή διαχωρισμό και εξαρτάται από τις ιδιότητες των ενώσεων που πρόκειται να διαχωριστούν. Συχνά χρησιμοποιούνται μη πολικοί ή μέτρια πολικοί διαλύτες, όπως το εξάνιο, το διχλωρομεθάνιο ή η αιθυλενοχλωρίδιο. Σε πολλές περιπτώσεις, χρησιμοποιείται ένα μίγμα διαλυτών ή μια διαδοχική αλλαγή διαλυτών (gradient elution) για την επίτευξη καλύτερου διαχωρισμού.

Επίσης προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η ικανότητα διαχωρισμού ενός ευρέως φάσματος οργανικών ενώσεων με βάση την πολικότητά τους. Ενώ είναι μια ευέλικτη μέθοδος που μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τον τύπο του δείγματος και τις ανάγκες της ανάλυσης. Ωστόσο, υπάρχουν περιορισμοί, όπως η ανάγκη για ακριβή επιλογή διαλύτη και η πιθανή ανάγκη για αρκετούς κύκλους καθαρισμού για την επίτευξη του επιθυμητού επιπέδου καθαρότητας.

Τέλος μπορεί να εφαρμοστεί ευρέως στον καθαρισμό δειγμάτων πριν από την ανάλυση με χρωματογραφικές τεχνικές όπως η αέρια χρωματογραφία (GC) ή η υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC). Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για τον διαχωρισμό και τον καθαρισμό πολικών και μη πολικών ενώσεων, όπως φυτοφάρμακα, βιολογικά δραστικές ουσίες και διάφορους οργανικούς ρύπους.

4. Εκκαθάριση στήλης Florisil (florisil column cleanup)

Η μέθοδος εκκαθάρισης στήλης Florisil αποτελεί μια χρωματογραφική τεχνική η οποία αξιοποιείται στον καθαρισμό και διαχωρισμό οργανικών ενώσεων από πολύπλοκα μίγματα. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη χρήση του Florisil, ενός προσροφητικού υλικού που αποτελείται από υδρομαγνησιούχο πυριτικό άλας (magnesium silicate), το οποίο χρησιμοποιείται ως σταθερή φάση σε χρωματογραφικές στήλες.

Το Florisil είναι ένα ανόργανο, πορώδες υλικό με υψηλή προσροφητική ικανότητα. Αποτελείται από υδρομαγνησιούχο πυριτικό άλας με ιδιαίτερα μεγάλες επιφάνειες και εξαιρετική ικανότητα προσρόφησης πολικών και ημιπολικών ενώσεων. Το Florisil είναι ένα ήπιο, ελαφρώς βασικό υλικό, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για την απομάκρυνση πολικών ενώσεων και άλλων οργανικών ρύπων από δείγματα.

Στη μέθοδο αυτή το δείγμα, το οποίο περιέχει το μίγμα των οργανικών ενώσεων, διαλύεται σε έναν κατάλληλο οργανικό διαλύτη και εφαρμόζεται στην κορυφή μιας χρωματογραφικής στήλης που είναι γεμισμένη με Florisil. Οι ενώσεις προσροφώνται στην επιφάνεια του Florisil με διαφορετική ισχύ, ανάλογα με τη χημική τους φύση. Μετά την εφαρμογή του δείγματος στη στήλη, προστίθεται οργανικός διαλύτης, ο οποίος περνά μέσα από το Florisil και εκχυλίζει τις προσροφημένες ενώσεις με διαφορετικούς ρυθμούς. Οι λιγότερο πολικές ενώσεις, που αλληλεπιδρούν ασθενέστερα με το Florisil, απομακρύνονται πρώτες από τη στήλη. Οι πιο πολικές ενώσεις παραμένουν προσροφημένες για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και

εκχυλίζονται αργότερα, είτε με τον ίδιο είτε με διαφορετικό διαλύτη. Η επιλογή του διαλύτη είναι κρίσιμη για τον αποτελεσματικό διαχωρισμό και εξαρτάται από τις χημικές ιδιότητες των ενώσεων που πρόκειται να διαχωριστούν. Συνήθως χρησιμοποιούνται μη πολικοί έως μέτρια πολικοί διαλύτες, όπως το εξάνιο, το διχλωρομεθάνιο ή το αιθυλενοχλωρίδιο, σε συνδυασμό με πολικότερους διαλύτες, όπως η ακετόνη, για τη διαδοχική εκχύλιση των ενώσεων.

Το Florisil προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα ως προσροφητικό υλικό, καθώς επιτρέπει τον διαχωρισμό και τον καθαρισμό ενός ευρέος φάσματος οργανικών ενώσεων, ενώ παράλληλα διασφαλίζει την απομάκρυνση ανεπιθύμητων προσμίξεων. Παρ' όλα αυτά, η αποτελεσματικότητα της μεθόδου επηρεάζεται σημαντικά από την επιλογή του κατάλληλου διαλύτη και τις συνθήκες εκχύλισης.

Παράλληλα η μέθοδος εφαρμόζεται εκτενώς για τον καθαρισμό οργανικών ενώσεων πριν από την ανάλυσή τους με τεχνικές όπως η αέρια χρωματογραφία (GC) ή η υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC). Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για την απομάκρυνση λιπαρών ενώσεων, φυτοφαρμάκων, πολυχλωριωμένων διφαινυλίων (PCBs), καθώς και άλλων ημιπτητικών οργανικών ρύπων από περιβαλλοντικά δείγματα.

5. Καθαρισμός Gel – Permeation (gel – permeation cleanup)

Η μέθοδος καθαρισμού Gel – Permeation (GPC), γνωστή και ως χρωματογραφία πηκτής διήθησης (gel filtration chromatography ή size exclusion chromatography), καθίσταται η μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό και τον καθαρισμό οργανικών ενώσεων με βάση το μοριακό τους μέγεθος. Εφαρμόζεται κυρίως για την απομάκρυνση μακρομορίων, όπως λίπη, έλαια και πολυμερή, από ένα δείγμα, προκειμένου να επιτευχθεί καθαρισμός των ενώσεων χαμηλού μοριακού βάρους οι οποίες κεντρίζουν το ενδιαφέρον για ανάλυση.

Η GPC βασίζεται στην αρχή της διήθησης μέσω πηκτής, όπου τα μόρια ενός δείγματος διαχωρίζονται σύμφωνα με το μοριακό τους μέγεθος καθώς διέρχονται από μια χρωματογραφική στήλη γεμάτη με ένα πορώδες υλικό (π.χ., πολυμερές πηκτής). Τα μικρότερα μόρια μπορούν να εισχωρήσουν σε βαθύτερα στρώματα μέσα στους πόρους του υλικού, καθυστερώντας με αυτόν τον τρόπο την έξοδο τους από αυτό, ενώ τα μεγαλύτερα μόρια δεν μπορούν να εισέλθουν στους πόρους και φεύγουν πιο γρήγορα από το υλικό. Το σταθερό φάσμα που χρησιμοποιείται στη GPC είναι συνήθως πολυμερές με γνωστή κατανομή μεγέθους πόρων, όπως το πολυστυρένιο-διβινυλοβενζόλιο ή άλλες παρόμοιες ρητίνες. Ο διαλύτης που χρησιμοποιείται για την εκρόφιση είναι συνήθως ένας μη πολικός οργανικός διαλύτης, όπως το χλωροφόρμιο ή το διχλωρομεθάνιο, ανάλογα με τη φύση των ενώσεων που πρόκειται να διαχωριστούν.

Στη μέθοδο GPC, το δείγμα διαλύεται σε κατάλληλο διαλύτη και τοποθετείται στην κορυφή της χρωματογραφικής στήλης. Καθώς το διάλυμα περνάει μέσα από τη στήλη, τα μόρια διαχωρίζονται ανάλογα με το μέγεθός τους. Οι μεγαλύτερες ενώσεις (όπως τα λίπη, τα πολυμερή, και οι πρωτεΐνες) περνούν ταχύτερα από τη στήλη και εκκλύονται πρώτες, ενώ οι μικρότερες ενώσεις, οι οποίες εισέρχονται στους πόρους του υλικού, εκκλύονται αργότερα. Καθώς οι ενώσεις εκκλύονται από τη στήλη, συλλέγονται σε

ξεχωριστά κλάσματα, με τα μεγάλα μόρια να συλλέγονται πρώτα και τα μικρότερα στη συνέχεια. Τα κλάσματα που περιέχουν τις ενώσεις ενδιαφέροντος μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω αναλυτικές διαδικασίες, ενώ τα ανεπιθύμητα μακρομόρια απορρίπτονται.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της είναι η ικανότητά της να διαχωρίζει και να καθαρίζει ενώσεις με βάση το μέγεθός τους χωρίς να επηρεάζει τη χημική τους σύσταση. Αυτό την καθιστά ιδανική για τον καθαρισμό πολύπλοκων δειγμάτων. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην ανάλυση περιβαλλοντικών δειγμάτων, όπως το έδαφος, το νερό και τα βιολογικά δείγματα, όπου απαιτείται ο καθαρισμός από μεγαλομοριακούς ρύπους πριν από την ανάλυση. Εφαρμόζεται επίσης στη βιομηχανία τροφίμων για την απομάκρυνση λιπών και ελαίων, καθώς και στη φαρμακευτική χημεία για τον καθαρισμό συνθετικών προϊόντων.

6. Καθαρισμός Θείου (sulfur cleanup)

Η μέθοδος καθαρισμού Θείου (Sulfur Cleanup) αποτελεί μια μέθοδο η οποία εφαρμόζεται για την απομάκρυνση του στοιχειακού θείου (S_8) από δείγματα, ιδιαίτερα σε περιβαλλοντικές αναλύσεις, όπως η ανίχνευση οργανικών ρύπων σε δείγματα εδάφους, ιζημάτων ή πετρελαϊκών προϊόντων. Το θείο μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ανάλυση αυτών των δειγμάτων, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται τεχνικές όπως η αέρια χρωματογραφία (GC), προκαλώντας απώλειες στην ευαισθησία και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Το στοιχειακό θείο είναι ένα κίτρινο, άοσμο και κρυσταλλικό στερεό που μπορεί να βρίσκεται σε περιβαλλοντικά δείγματα λόγω φυσικών διεργασιών ή ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως η διύλιση πετρελαίου και η χρήση φυτοφαρμάκων. Στις αναλύσεις, το θείο αποτελεί συχνά παρεμβατική ουσία, καθώς μπορεί να αλληλεπιδράσει με τους ανιχνευτές των αναλυτικών συστημάτων, ιδιαίτερα στην αέρια χρωματογραφία με ανιχνευτές καταλληλότητας φλόγας (FID) ή φασματομετρία μάζας (MS).

Η μέθοδος καθαρισμού Θείου στοχεύει στην επιλεκτική απομάκρυνση του θείου από το δείγμα χωρίς να επηρεάζει τις υπόλοιπες οργανικές ενώσεις. Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για την επίτευξη αυτού του στόχου, με τις πιο κοινές να περιλαμβάνουν τη χρήση ενεργού χαλκού (Copper) ή την εφαρμογή υλικών παγίδευσης θείου.

Η χρήση ενεργού χαλκού αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους για την απομάκρυνση του θείου. Ο χαλκός αντιδρά με το στοιχειακό θείο σχηματίζοντας θειούχα άλατα (CuS), τα οποία είναι αδιάλυτα και μπορούν να απομακρυνθούν από το δείγμα. Συνήθως, ο ενεργός χαλκός προστίθεται στο εκχύλισμα του δείγματος και το μίγμα αναδεύεται για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ώστε να ολοκληρωθεί η αντίδραση. Στη συνέχεια, το εκχύλισμα διηθείται ή διαχωρίζεται από τον χαλκό. Άλλη προσέγγιση είναι η χρήση υλικών που προσροφούν επιλεκτικά το θείο από το δείγμα. Αυτά τα υλικά μπορούν να προστεθούν στο εκχύλισμα, όπου προσροφούν το θείο, αφήνοντας τις οργανικές ενώσεις να παραμείνουν στο διάλυμα για περαιτέρω ανάλυση.

Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η ικανότητά της να απομακρύνει το θείο χωρίς να επηρεάζει την ανάλυση των υπόλοιπων οργανικών ενώσεων στο δείγμα. Είναι ιδιαίτερα σημαντική στην ανάλυση περιβαλλοντικών δειγμάτων, όπως εδάφη,

ιζήματα και νερά, όπου το θείο μπορεί να υπάρχει σε σημαντικές συγκεντρώσεις λόγω βιογεωχημικών διεργασιών ή μόλυνσης από πετροχημικά προϊόντα. Η απομάκρυνση του θείου είναι απαραίτητη για την ακριβή ανάλυση οργανικών ρύπων, όπως οι πολυχλωριωμένοι διφαινύλια (PCBs), οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs), και άλλοι ημιπτητικοί οργανικοί ρύποι.

7. Καθαρισμός υπερμαγγανικού – θεικού οξέος (permanganate- sulfuric acid cleanup)

Η μέθοδος καθαρισμού υπερμαγγανικού – θεικού οξέος (Permanganate-Sulfuric Acid Cleanup) καθίσταται μια χημική διαδικασία που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό δειγμάτων, ιδιαίτερα για την απομάκρυνση οργανικών ρύπων και ανεπιθύμητων προσμίξεων πριν από την ανάλυση. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στη χρήση υπερμαγγανικού καλίου (KMnO_4) σε συνδυασμό με θεικό οξύ (H_2SO_4) για την οξειδωτική αποδόμηση συγκεκριμένων οργανικών ενώσεων, με σκοπό τον καθαρισμό του δείγματος και την προετοιμασία του για περαιτέρω αναλύσεις.

Οι χημικές ιδιότητες των αντιδραστηρίων θα αναφερθούν παρακάτω

- Το Υπερμαγγανικό Κάλιο (KMnO_4) είναι ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο που χρησιμοποιείται ευρέως σε χημικές διεργασίες για την οξείδωση οργανικών ενώσεων. Σε όξινο περιβάλλον, το KMnO_4 μπορεί να διασπάσει αρωματικές ενώσεις και άλλους ρύπους σε απλούστερα μόρια, τα οποία είναι είτε πιο εύκολα διαχωρίσιμα είτε λιγότερο παρεμβατικά στην ανάλυση.
- Το Θεικό Οξύ (H_2SO_4) λειτουργεί ως καταλύτης και παρέχει το όξινο περιβάλλον που απαιτείται για τη μέγιστη οξειδωτική ικανότητα του υπερμαγγανικού καλίου. Το H_2SO_4 διασφαλίζει ότι η αντίδραση μεταξύ του KMnO_4 και των οργανικών ρύπων είναι αποτελεσματική και ολοκληρωμένη.

Το δείγμα, το οποίο μπορεί να περιέχει οργανικούς ρύπους, διαλύεται ή αναστέλλεται σε έναν κατάλληλο διαλύτη, συνήθως οργανικό ή υδατικό. Στη συνέχεια, προστίθεται διάλυμα KMnO_4 , ακολουθούμενο από την προσθήκη H_2SO_4 . Το KMnO_4 σε όξινο περιβάλλον οξειδώνει τους οργανικούς ρύπους, διασπώντας τους σε πιο απλά και λιγότερο επιβλαβή προϊόντα. Αυτή η οξείδωση ενδέχεται να διαρκέσει από μερικά λεπτά έως αρκετές ώρες και αυτό εξαρτάται από τη φύση των ρύπων και τη συγκέντρωσή τους. Μετά την ολοκλήρωση της οξειδωτικής αντίδρασης, το δείγμα μπορεί να περάσει από διαδικασία διήθησης ή φυγοκέντρησης για να αφαιρεθούν τα παραπροϊόντα της αντίδρασης, όπως το MnO_2 (διοξείδιο του μαγγανίου), το οποίο είναι αδιάλυτο στο υδατικό μέσο.

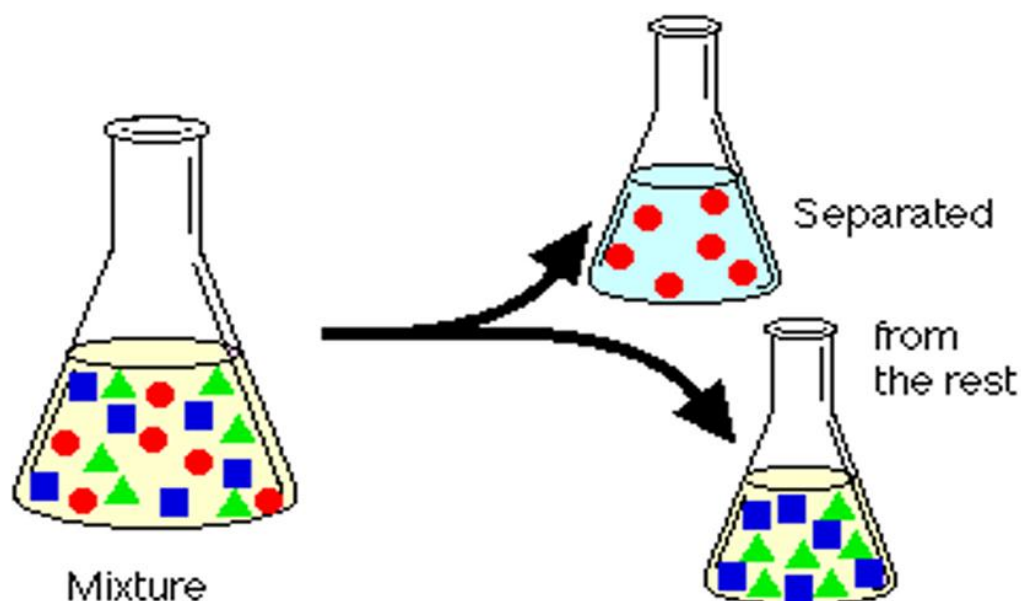
Η μέθοδος αυτή είναι πολύ αποτελεσματική για την απομάκρυνση αρωματικών ενώσεων και άλλων επίμονων οργανικών ρύπων. Το KMnO_4 είναι οικονομικό και διαθέσιμο αντιδραστήριο, ενώ η χρήση θεικού οξέος εξασφαλίζει γρήγορη και πλήρη αντίδραση. Επιπρόσθετα χρησιμοποιείται κυρίως για τον καθαρισμό δειγμάτων σε περιβαλλοντικές αναλύσεις, όπως η ανάλυση νερού, εδάφους και ιζημάτων, όπου τα δείγματα μπορεί να περιέχουν οργανικούς ρύπους που παρεμβαίνουν στην ακρίβεια των μετρήσεων. Επιπλέον, χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων και φαρμακευτικών προϊόντων για τον καθαρισμό πρώτων υλών και προϊόντων.

3.2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ (EXTRACTION)

Η μέθοδος εκχύλισης (extraction) είναι μια διαδικασία διαχωρισμού που χρησιμοποιείται για την απομόνωση ή τον διαχωρισμό μιας ή περισσότερων ουσιών από ένα μείγμα, χρησιμοποιώντας έναν διαλύτη. Η εκχύλιση βασίζεται στην αρχή ότι οι διάφορες ουσίες έχουν διαφορετική διαλυτότητα σε δύο μη αναμίξιμα υγρά ή φάσεις, τα οποία είναι συνήθως ένας οργανικός διαλύτης και ένα υδατικό διάλυμα. Στην συνέχεια θα γίνει αναφορά για τους τέσσερεις κυριότερους τύπους εκχύλισης.

1. Υγρή – Υγρή Εκχύλιση (liquid-liquid extraction)

Η μέθοδος εκχύλισης υγρού-υγρού (Liquid-Liquid Extraction) αποτελεί μια αναλυτική μέθοδο διαχωρισμού η οποία είναι κατάλληλη για την απομόνωση ή τον διαχωρισμό διαλυμένων ουσιών μεταξύ δύο μη αναμίξιμων υγρών φάσεων. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στη διαφορά διαλυτότητας των ουσιών στις δύο φάσεις, επιτρέποντας την απομόνωση των επιθυμητών συστατικών από το αρχικό μείγμα.



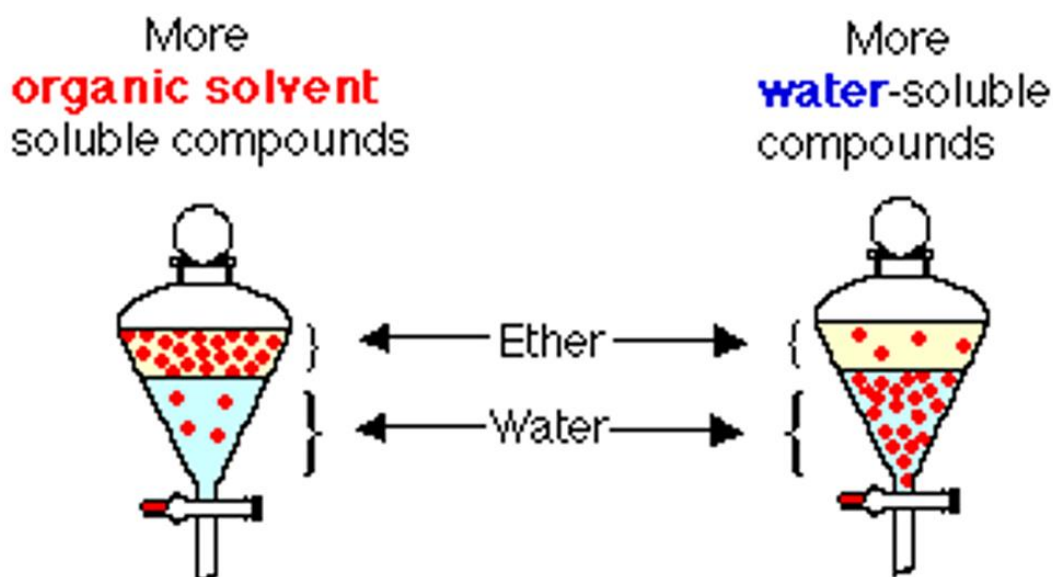
Εικόνα 17: Liquid-liquid extraction ([ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΕΚΧΥΛΙΣΗ - SPE\[1616\].pdf](#))

Στην εκχύλιση υγρού-υγρού, δύο μη αναμίξιμοι διαλύτες χρησιμοποιούνται για να διαχωρίσουν τις ενώσεις από ένα υγρό μείγμα. Αυτές οι φάσεις συνήθως περιλαμβάνουν έναν οργανικό διαλύτη (π.χ., χλωροφόρμιο, διχλωρομεθάνιο) και έναν υδατικό διαλύτη (π.χ., νερό). Οι διαλυμένες ουσίες μεταφέρονται από τον έναν διαλύτη στον άλλο με βάση τις διαφορές στη διαλυτότητά τους.

Η διαδικασία εκχύλισης περιλαμβάνει την προετοιμασία, στην οποία το δείγμα διαλύεται στον αρχικό διαλύτη (π.χ., υδατικός διάλυτης) που περιέχει τις ενώσεις οι οποίες πρόκειται να διαχωριστούν. Στη συνέχεια, προστίθεται ο δεύτερος διαλύτης (π.χ., οργανικός) που είναι μη αναμίξιμος με τον πρώτο. Το μείγμα ανακινείται ή αναδεύεται για να επιτραπεί στην ουσία να μεταφερθεί από τον αρχικό διαλύτη στον δεύτερο διαλύτη. Μετά την ανάμιξη, οι δύο φάσεις διαχωρίζονται φυσικά, συνήθως με

τη βοήθεια ενός διαχωριστικού χωνιού και κάθε φάση περιέχει διαφορετικές συγκεντρώσεις των ουσιών που διαλύονται σε αυτήν.

Κάθε φάση συλλέγεται ξεχωριστά και η ουσία που διαλύθηκε στον οργανικό διαλύτη (ή υδατικό διαλύτη) μπορεί να απομονωθεί μέσω κατάλληλων μεθόδων, όπως η εξάτμιση του διαλύτη.



Εικόνα 18: Διαδικασία liquid-liquid extraction([ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΕΚΧΥΛΙΣΗ - SPE\[1616\].pdf](#))

Η επιλογή των κατάλληλων διαλυτών είναι κρίσιμη για την επιτυχία της εκχύλισης. Οι διαλύτες πρέπει να είναι μη αναμίξιμοι και να έχουν διαφορετικές ικανότητες διαλυτότητας για τις ουσίες που θα διαχωριστούν. Συνήθως, χρησιμοποιούνται ένας οργανικός διαλύτης (όπως το χλωροφόρμιο ή το διχλωρομεθάνιο) και ένας υδατικός διαλύτης (όπως το νερό).

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι:

- Η αποτελεσματικότητα ,καθώς έχει την ικανότητα υψηλής καθαρότητας και διαχωρισμού.
- Ευελιξία, αφού εφαρμόζεται σε διάφορους τύπους δειγμάτων και αναλυτικών τεχνικών.
- Καθώς και η Απλότητα, διότι η διαδικασία είναι σχετικά απλή και δεν απαιτεί πολύπλοκο εξοπλισμό.

Υπάρχουν όμως και περιορισμοί όπως στην επιλογή διαλυτών, καθώς υπάρχει κίνδυνος απώλειας της ουσίας κατά τη διάρκεια της εκχύλισης και στην διαχείριση αυτών, καθώς οι οργανικοί διαλύτες μπορεί να είναι τοξικοί ή επικίνδυνοι, απαιτώντας προσεκτική διαχείριση και αποθήκευση.

Η μέθοδος εκχύλισης υγρού-υγρού μπορεί να εφαρμοστεί στην Χημική Ανάλυση (απομόνωση και διαχωρισμός χημικών ενώσεων από σύνθετα μείγματα όπως για ανάλυση φαρμακευτικών ουσιών, περιβαλλοντικών ρύπων, ή βιολογικών δειγμάτων.), στην Φαρμακευτική Βιομηχανία (απομόνωση και καθαρισμός δραστικών συστατικών από φυτικά εκχυλίσματα ή συνθετικά μείγματα), στην Βιομηχανία Τροφίμων (απομάκρυνση ανεπιθύμητων ουσιών και τη βελτίωση της ποιότητας τροφίμων) και σε Περιβαλλοντικές Εφαρμογές (ανάλυση νερού και εδάφους για τον εντοπισμό και τον διαχωρισμό τοξικών ρύπων).

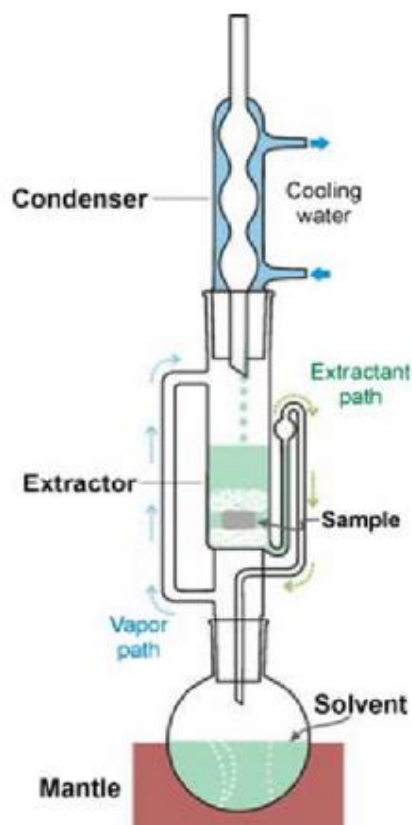
Ακόμα αποτελεί μια θεμελιώδη τεχνική διαχωρισμού που επιτρέπει την απομόνωση και καθαρισμό ουσιών από διάφορα δείγματα, αξιοποιώντας τη διαφορά στη διαλυτότητα μεταξύ δύο μη αναμίξιμων υγρών φάσεων. Με την κατάλληλη επιλογή διαλυτών και την προσεκτική εφαρμογή της διαδικασίας, μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματικός διαχωρισμός και καθαρισμός για διάφορες εφαρμογές σε χημική ανάλυση, φαρμακευτική βιομηχανία, βιομηχανία τροφίμων και περιβαλλοντικές εξετάσεις.

2. Εκχύλιση Soxhlet (Soxhlet extraction)

Η εκχύλιση Soxhlet αποτελεί μια σημαντική και ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική που αναπτύχθηκε από τον Franz Ritter von Soxhlet το 1879, με σκοπό αρχικά την εκχύλιση λιπιδίων. Σήμερα, αποτελεί μία από τις πλέον διαδεδομένες μεθόδους εκχύλισης, ιδανική για την απομόνωση βιοδραστικών ενώσεων από ποικίλες φυσικές πηγές (Manousi et al., 2019).

Σε ένα τυπικό σύστημα Soxhlet, όπως αυτό απεικονίζεται παρακάτω, το φυτικό υλικό τοποθετείται μέσα σε ένα πορώδες δοχείο, γνωστό ως "δακτυλήθρα", το οποίο συνήθως κατασκευάζεται από υλικά όπως διηθητικό χαρτί ή κυτταρίνη. Η δακτυλήθρα, μαζί με το φυτικό υλικό, τοποθετείται σε έναν θάλαμο, ο οποίος γεμίζει με τον διαλύτη εκχύλισης. Ο διαλύτης βρίσκεται σε μία φιάλη, όπου θερμαίνεται, εξατμίζεται και ανυψώνεται προς τον ψυκτήρα. Στον ψυκτήρα, ο ατμός του διαλύτη συμπυκνώνεται και ρέει πίσω στον θάλαμο που περιέχει τη δακτυλήθρα με το φυτικό υλικό.

Μόλις το υγρό μείγμα του διαλύτη φτάσει στο σημείο υπερχείλισης, ενεργοποιείται ένα σιφόνι που αναρροφά το διάλυμα και το μεταφέρει πίσω στη φιάλη απόσταξης. Στη φιάλη αυτή, το διάλυμα των διαλυτών και των εκχυλισμένων ενώσεων συγκεντρώνεται, ενώ η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς μέχρις ότου ολοκληρωθεί η εκχύλιση των επιθυμητών συστατικών (Majenkodunmi, 2015).



Εικόνα 19: Συσκευή απόσταξης Soxhlet (πηγή: Dabbs et al., 2006)

Η εκχύλιση Soxhlet προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα (Majenkodunmi, 2015):

- Η αποδοτικότητα της εκχύλισης ενισχύεται σημαντικά, καθώς ο διαλύτης έρχεται επανειλημμένα σε επαφή με το στερεό φυτικό υλικό, επιτρέποντας την καλύτερη απομάκρυνση των επιθυμητών ενώσεων.
- Η θερμοκρασία εκχύλισης παραμένει σχετικά υψηλή κατά το χρονικό διάστημα της διαδικασίας, καθώς η θερμότητα που παράγεται στη φιάλη απόσταξης μεταφέρεται στον θάλαμο εκχύλισης, διευκολύνοντας την εκχύλιση των ενώσεων.
- Στο τέλος της διαδικασίας, δεν απαιτείται διήθηση του εκχυλίσματος, καθώς η εκχύλιση πραγματοποιείται μέσα στο κλειστό σύστημα του Soxhlet.

Ωστόσο, η μέθοδος Soxhlet έχει και ορισμένα μειονεκτήματα (Majenkodunmi, 2015; Manousi, 2019):

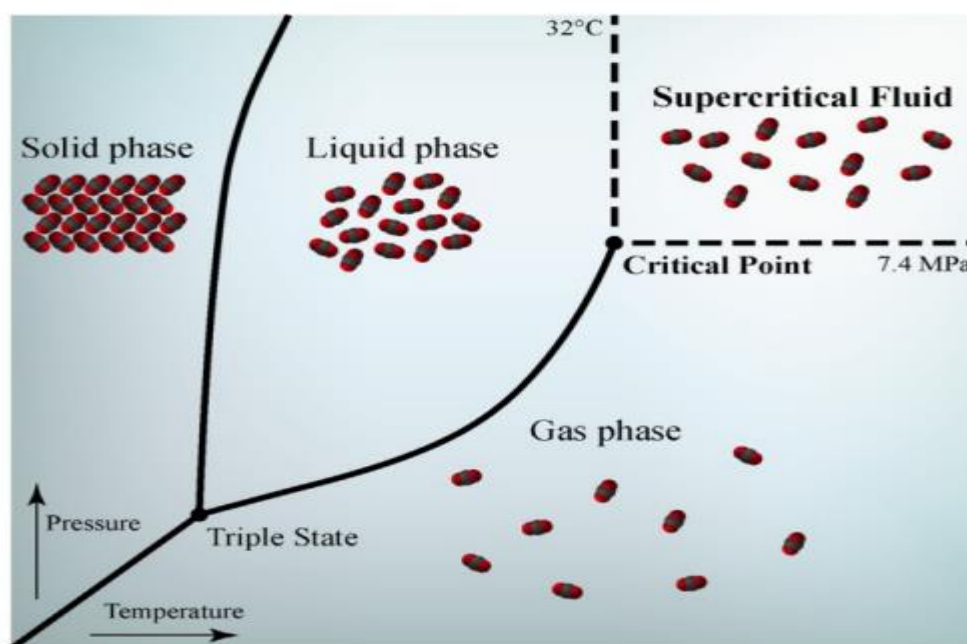
- Στο σύστημα Soxhlet δεν υπάρχει δυνατότητα ανάδευσης, κάτι που μπορεί να επηρεάσει την ομοιογένεια της εκχύλισης.
- Η ανάγκη για συνεχή θέρμανση του διαλύτη στο σημείο βρασμού του για μεγάλο χρονικό διάστημα ενέχει τον κίνδυνο μερικής θερμικής αποσύνθεσης των ενώσεων-στόχων.

- Οι διαλύτες που χρησιμοποιούνται συχνά είναι τοξικοί και εύφλεκτοι, καθιστώντας τη διαδικασία λιγότερο φιλική προς το περιβάλλον και αυξάνοντας τους κινδύνους για τον χειριστή.
- Η χρήση διαλυτών υψηλής καθαρότητας είναι απαραίτητη, γεγονός που αυξάνει το συνολικό κόστος της διαδικασίας.

3. Εκχύλιση με υπερκρίσιμα ρευστά (supercritical fluid extraction)

Η εκχύλιση με υπερκρίσιμα ρευστά (Supercritical Fluid Extraction – SFE) είναι μια σύγχρονη και αποδοτική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την απομόνωση βιοδραστικών ενώσεων από διάφορες πρώτες ύλες. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στη χρήση υπερκρίσιμων ρευστών ως διαλυτών, τα οποία βρίσκονται σε μια ειδική φυσική κατάσταση που υπερβαίνει το κρίσιμο σημείο θερμοκρασίας και πίεσης (Εικόνα 4). Σε αυτή την υπερκρίσιμη κατάσταση, το ρευστό αποκτά ιδιότητες που είναι ενδιάμεσες μεταξύ αερίου και υγρού, δηλαδή έχει πυκνότητα παρόμοια με υγρών και ιξώδες παρόμοιο με αερίων. Οι ιδιότητες αυτές καθιστούν τα υπερκρίσιμα ρευστά εξαιρετικά αποτελεσματικούς διαλύτες για την εκχύλιση διάφορων ενώσεων.

Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο υπερκρίσιμο ρευστό είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Το CO_2 είναι ιδιαίτερα ελκυστικό για την εκχύλιση, καθώς είναι φθηνό, μη τοξικό, χημικά αδρανές και διαθέσιμο σε μεγάλες ποσότητες. Το κρίσιμο σημείο του CO_2 επιτυγχάνεται εύκολα σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία (31.1°C) και πίεση (7.38 MPa), γεγονός που επιτρέπει την εκχύλιση ευαίσθητων ενώσεων που θα μπορούσαν να αποσυντεθούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Επιπλέον, το CO_2 είναι μη αναφλέξιμο και εύκολα ανακυκλώσιμο, καθιστώντας την τεχνική SFE μια περισσότερο φιλική προς το περιβάλλον επιλογή σε σύγκριση με παραδοσιακές μεθόδους που χρησιμοποιούν τοξικούς οργανικούς διαλύτες.



Εικόνα 20: Διάγραμμα φάσεων για μία καθαρή ουσία (CO_2) σε ένα κλειστό σύστημα. (Πηγή: Caruzzo et al., 2013)

Η διαδικασία SFE ξεκινά με την ανύψωση της θερμοκρασίας και της πίεσης του διαλύτη (συνήθως CO₂) πάνω από το κρίσιμο σημείο του, μετατρέποντάς τον σε υπερκρίσιμο ρευστό. Στη συνέχεια, το υπερκρίσιμο ρευστό διοχετεύεται μέσα από το υλικό που πρόκειται να εκχυλιστεί, διαλύοντας τις επιθυμητές ενώσεις. Λόγω των ιδιοτήτων του υπερκρίσιμου ρευστού, η εκχύλιση είναι ταχεία και εξαιρετικά αποδοτική. Μετά την εκχύλιση, το υπερκρίσιμο ρευστό αποσυμπιέζεται, επιστρέφοντας στην αέρια κατάσταση, αφήνοντας πίσω τις εκχυλισμένες ενώσεις. Το αέριο CO₂ μπορεί στη συνέχεια να συλλεχθεί και να ανακυκλωθεί για επαναχρησιμοποίηση, καθιστώντας την διαδικασία ακόμα πιο οικονομική και βιώσιμη.

Η εκχύλιση με υπερκρίσιμα ρευστά προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με παραδοσιακές μεθόδους εκχύλισης, όπως η Soxhlet ή η εκχύλιση με οργανικούς διαλύτες. Πρώτον, εξαλείφει την ανάγκη για επιπρόσθετα στάδια καθαρισμού του εκχυλίσματος, καθώς τα υπερκρίσιμα ρευστά είναι ιδιαίτερα επιλεκτικά και δεν αφήνουν ανεπιθύμητα υπολείμματα. Δεύτερον, οι ήπιες θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται μειώνουν τον κίνδυνο θερμικής αποσύνθεσης των βιοδραστικών ενώσεων, διατηρώντας την ποιότητά τους. Τρίτον, η SFE είναι μια πιο φιλική προς το περιβάλλον τεχνική, καθώς δεν χρησιμοποιεί τοξικούς διαλύτες και επιτρέπει την ανακύκλωση του CO₂.

Ωστόσο, η SFE παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα. Το αρχικό κόστος εγκατάστασης των συσκευών μπορεί να είναι υψηλό, καθώς απαιτείται εξοπλισμός που αντέχει σε υψηλές πιέσεις. Επιπλέον, ενώ το CO₂ είναι αποτελεσματικό για την εκχύλιση μη πολικών ή ελαφρώς πολικών ενώσεων, μπορεί να μην είναι εξίσου αποτελεσματικό για την εκχύλιση ισχυρά πολικών ουσιών χωρίς την προσθήκη συνεκχυλιστών. Παρά τα μειονεκτήματα αυτά, η SFE παραμένει μια από τις πιο καινοτόμες και περιβαλλοντικά φιλικές μεθόδους εκχύλισης, με ευρεία εφαρμογή στη βιομηχανία τροφίμων, φαρμακευτικών προϊόντων και καλλυντικών.

4. Εκχύλιση Στερεάς Φάσης (solid phase extraction)

Η εκχύλιση στερεάς φάσης (Solid Phase Extraction – SPE) αποτελεί μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική προετοιμασίας δειγμάτων, η οποία εφαρμόζεται για την απομόνωση, καθαρισμό και συγκέντρωση αναλυτών από πολύπλοκα δείγματα. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη διαχωριστική ικανότητα μιας στερεάς προσροφητικής φάσης, η οποία έχει την ικανότητα να παγιδεύει τις ζητούμενες ενώσεις από ένα υγρό δείγμα, καθιστώντας δυνατή έτσι την απομάκρυνση ανεπιθύμητων συστατικών και τη συγκέντρωση των αναλυτών ενδιαφέροντος.

Η διαδικασία της εκχύλισης στερεάς φάσης (SPE) περιλαμβάνει αρκετά στάδια που είναι κρίσιμα για την αποτελεσματική απομόνωση και καθαρισμό των αναλυτών από ένα δείγμα. Αναλυτικά, τα στάδια αυτά περιγράφονται ως εξής:

i) Εξισορρόπηση της στερεάς φάσης

Πριν από την εφαρμογή του δείγματος, είναι απαραίτητο να προετοιμαστεί η στερεή φάση για να ενεργοποιηθούν οι δραστικές ομάδες του προσροφητικού υλικού. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της διαβίβασης ενός κατάλληλου διαλύτη μέσω της στήλης. Ο

διαλύτης αυτός επιλέγεται έτσι ώστε να προσομοιώνει το περιβάλλον του δείγματος, διασφαλίζοντας ότι οι δραστικές θέσεις στο προσροφητικό υλικό είναι πλήρως ενεργοποιημένες και έτοιμες να αλληλεπιδράσουν με τους αναλύτες. Αυτή η διαδικασία, γνωστή και ως «εξισορρόπηση» (conditioning), είναι κρίσιμη για την επίτευξη ομοιογενούς και αναπαραγωγίμης αλληλεπίδρασης μεταξύ του προσροφητικού υλικού και του δείγματος.

ii) Διαβίβαση του διαλύματος δείγματος

Στο επόμενο στάδιο, το διάλυμα που περιέχει το δείγμα διοχετεύεται μέσω της στήλης SPE. Κατά τη διαβίβαση αυτή, οι επιθυμητές ενώσεις του δείγματος αλληλεπιδρούν με τις δραστικές ομάδες του προσροφητικού υλικού και κατακρατούνται πάνω στη στερεή φάση. Η αλληλεπίδραση αυτή βασίζεται σε μηχανισμούς όπως η προσρόφηση, η ανταλλαγή ιόντων ή η κατανομή, ανάλογα με τη φύση του προσροφητικού υλικού και των αναλυτών.

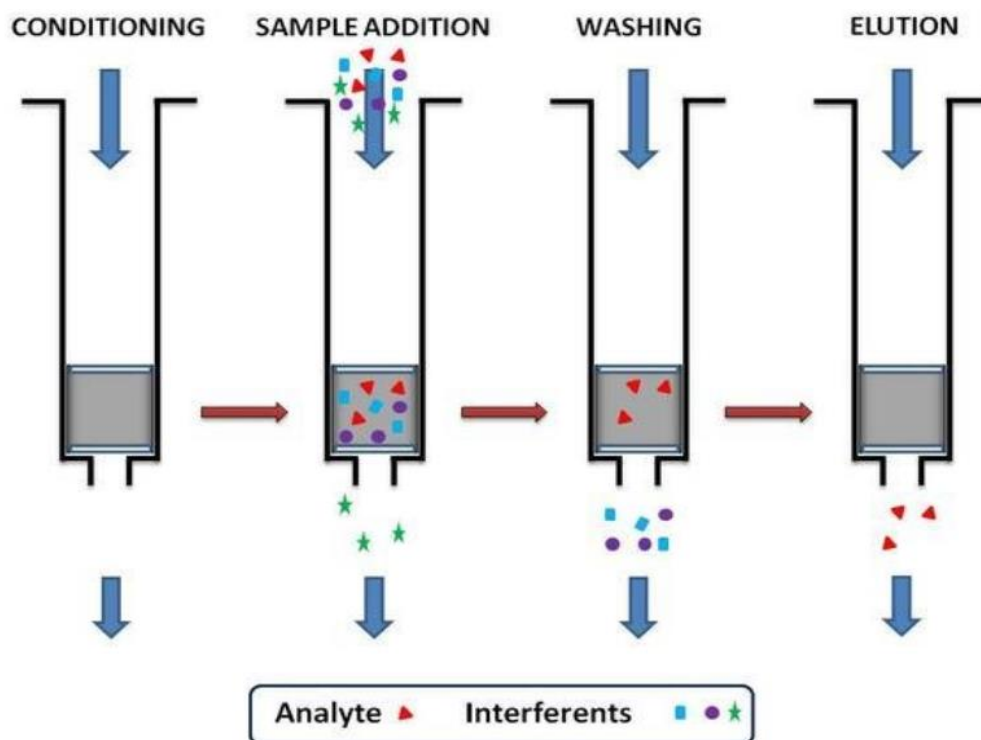
iii) Έκπλυση με διαλύτη

Αφού κατακρατηθούν οι επιθυμητές ουσίες, οι ανεπιθύμητες ενώσεις που δεν έχουν προσροφηθεί πλήρως στη στερεή φάση πρέπει να απομακρυνθούν. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διαβίβαση ενός κατάλληλου διαλύτη που εκπλένει τις ανεπιθύμητες ουσίες χωρίς να διαταράσσει τους δεσμούς μεταξύ των αναλυτών και του προσροφητικού υλικού. Η επιλογή του διαλύτη έκπλυσης είναι κρίσιμη, καθώς πρέπει να είναι αρκετά επιλεκτικός ώστε να απομακρύνει τα ανεπιθύμητα συστατικά, ενώ ταυτόχρονα να διατηρεί τις επιθυμητές ενώσεις προσροφημένες στη στερεή φάση.

iv) Εκλεκτική έκλουση (παραλαβή) των αναλυτών

Το τελικό στάδιο της διαδικασίας περιλαμβάνει την εκλεκτική έκλουση των κατακρατημένων αναλυτών από τη στερεή φάση. Αυτό πραγματοποιείται με τη διαβίβαση ενός διαλύτη, ο οποίος έχει τη δυνατότητα να διασπάσει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αναλυτών και του προσροφητικού υλικού, απελευθερώνοντάς τους έτσι στο διάλυμα. Ο διαλύτης αυτός πρέπει να επιλέγεται προσεκτικά ώστε να διασφαλίζεται η πλήρης ανάκτηση των επιθυμητών ουσιών, χωρίς να απομακρύνει τυχόν ρυπαντές ή ακαθαρσίες που μπορεί να επηρεάσουν την ανάλυση.

Η επιτυχία της εκχύλισης στερεάς φάσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την σωστή επιλογή των υλικών και των συνθηκών σε κάθε ένα από αυτά τα στάδια. Η σωστή προετοιμασία και βελτιστοποίηση κάθε βήματος διασφαλίζει ότι οι αναλυτές μπορούν να απομονωθούν και να αναλυθούν με υψηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα.

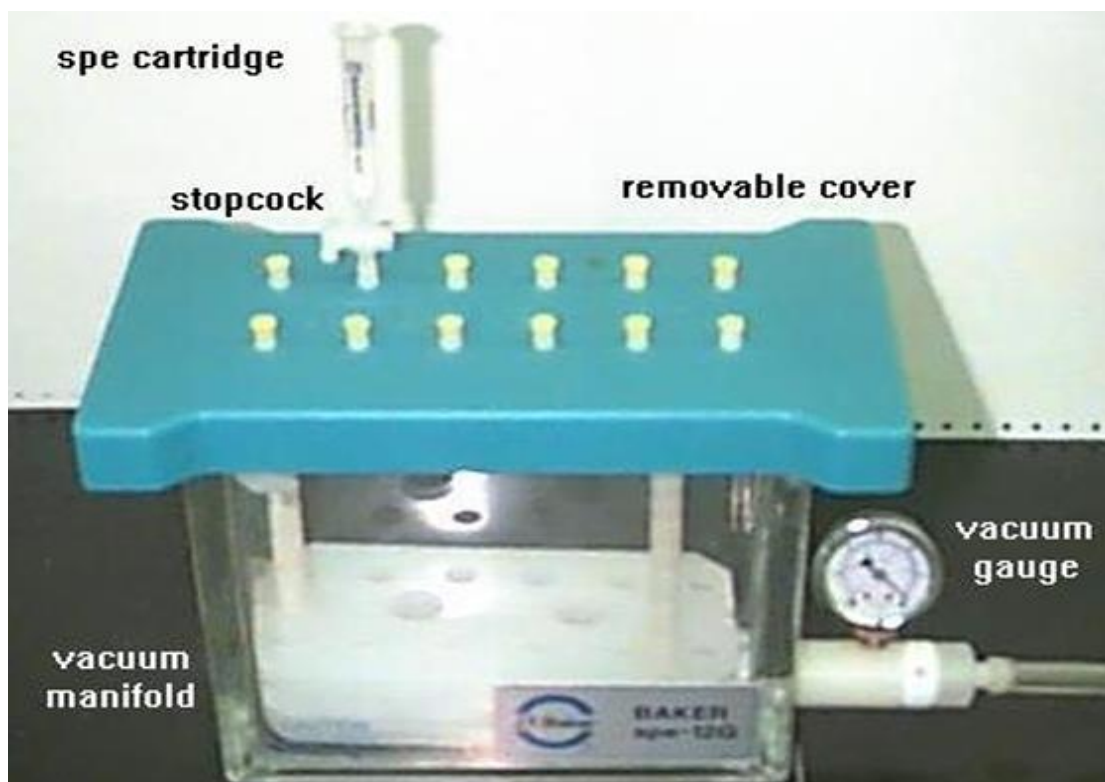


Εικόνα 21: εκχύλιση στερεάς φάσης. (πηγή : https://www.researchgate.net/figure/Stages-of-solid-phase-extraction-SPE_fig3_312498761)

Στην εκχύλιση στερεάς φάσης (Solid Phase Extraction - SPE), η διαβίβαση των διαλυτών μέσω της στήλης SPE είναι ένα κρίσιμο στάδιο, καθώς επηρεάζει άμεσα την αποτελεσματικότητα της εκχύλισης και την ανάκτηση των επιθυμητών ενώσεων. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για τη διαβίβαση των διαλυτών, καθεμία από τις οποίες προσφέρει διαφορετικά πλεονεκτήματα ανάλογα με τις απαιτήσεις της ανάλυσης. Οι κύριες τεχνικές περιλαμβάνουν:

1. Διαβίβαση Διαλυτών Υπό Κενό σε Ειδικές Συσκευές

Η χρήση κενού για τη διαβίβαση των διαλυτών είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική στην εκχύλιση στερεάς φάσης ενώ παράλληλα αποτελεί την τεχνική που χρησιμοποιήθηκε στο πειραματικό στάδιο της συγκεκριμένης πτυχιακής. Σε αυτή την προσέγγιση, δημιουργείται ένα κενό στην κάτω πλευρά της συσκευής SPE, το οποίο μειώνει την πίεση εντός της στήλης και διευκολύνει την ταχεία και ελεγχόμενη ροή του διαλύτη μέσω της στερεάς φάσης. Η τεχνική αυτή προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως η αυξημένη ταχύτητα επεξεργασίας και η δυνατότητα χειρισμού μεγάλου αριθμού δειγμάτων ταυτόχρονα, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται πολυκαναλικές συσκευές SPE. Επιπλέον, το κενό βοηθά στη διατήρηση της ομοιομορφίας στη ροή του διαλύτη, μειώνοντας τις πιθανότητες εγκλωβισμού αέρα και διασφαλίζοντας την πλήρη επαφή του διαλύτη με το προσροφητικό υλικό.



Εικόνα 22: Διαβίβαση διαλύτη από φυσίγγια SPE με τη βοήθεια κενού σε ειδική συσκευή. (πηγή : [ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΕΚΧΥΛΙΣΗ - SPE\[1623\].pdf](#))

2. Διαβίβαση Διαλυτών με Φυγοκέντρωση

Η φυγοκέντρωση αποτελεί μια εναλλακτική τεχνική που μπορεί να εφαρμοστεί για τη διαβίβαση διαλυτών στις συσκευές SPE. Σε αυτή την τεχνική, οι στήλες SPE τοποθετούνται σε ένα φυγοκεντρικό σωλήνα, και ο διαλύτης διαβιβάζεται μέσω της στερεάς φάσης με τη βοήθεια της φυγοκεντρικής δύναμης που παράγεται από τη γρήγορη περιστροφή του φυγοκεντρητή. Αυτή η τεχνική είναι εξαιρετικά αποτελεσματική για την επεξεργασία μικρών όγκων δειγμάτων και για περιπτώσεις όπου απαιτείται εξαιρετικά χαμηλή πίεση. Η φυγοκέντρωση επιτρέπει την ταυτόχρονη επεξεργασία πολλών δειγμάτων, ενώ εξασφαλίζει σταθερή και ελεγχόμενη ροή του διαλύτη, μειώνοντας τον κίνδυνο ανομοιογενούς διαβίβασης ή κατακράτησης του διαλύτη.

3. Μηχανική Άσκηση Πίεσης

Η μηχανική άσκηση πίεσης είναι μια μέθοδος κατά την οποία εφαρμόζεται εξωτερική πίεση στη στήλη SPE, συνήθως μέσω μιας σύριγγας ή αντλίας, για να διευκολυνθεί η διαβίβαση του διαλύτη μέσω της στερεάς φάσης. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν η διαβίβαση του διαλύτη είναι αργή λόγω της υψηλής ιξώδους του δείγματος ή όταν απαιτείται μεγαλύτερος έλεγχος στην πίεση που εφαρμόζεται στη στήλη. Η μηχανική πίεση επιτρέπει την ακριβή ρύθμιση της ροής του διαλύτη, γεγονός που μπορεί να βελτιώσει την απόδοση της εκχύλισης και να επιτευχθεί η βέλτιστη ανάκτηση των αναλυτών. Επιπλέον, αυτή η μέθοδος μπορεί να προσαρμοστεί για να επιτύχει τις επιθυμητές συνθήκες πίεσης ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του δείγματος και του προσροφητικού υλικού.

Κάθε μία από αυτές τις τεχνικές προσφέρει μοναδικά πλεονεκτήματα και η κατάλληλη μέθοδος επιλέγεται με βάση τις συγκεκριμένες ανάγκες της ανάλυσης, όπως ο όγκος του δείγματος, το ιξώδες του διαλύτη, και η ανάγκη για ταχύτητα ή ακρίβεια στη διαβίβαση των διαλυτών. Οι κατάλληλες ρυθμίσεις και βελτιστοποίηση της διαδικασίας διαβίβασης είναι κρίσιμες για τη διασφάλιση της ποιότητας και της αναπαραγωγιμότητας των αποτελεσμάτων στην εκχύλιση στερεάς φάσης.

Οι εφαρμογές της εκχύλισης στερεάς φάσης (Solid Phase Extraction - SPE) είναι ευρέως διαδεδομένες και καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα αναλυτικών διαδικασιών σε διάφορους τομείς της επιστήμης και της τεχνολογίας. Αναλυτικά, οι εφαρμογές της SPE διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες.

Εφαρμογές SPE (1)

Η SPE χρησιμοποιείται ευρέως για την κατεργασία, καθαρισμό και απομόνωση δειγμάτων από διάφορες πηγές, όπως:

- Φυτικά δείγματα

Η μέθοδος εφαρμόζεται για την απομόνωση βιοδραστικών ενώσεων από φυτικά εκχυλίσματα, επιτρέποντας τον διαχωρισμό των επιθυμητών ουσιών από τις ακαθαρσίες.

- Βιολογικά υγρά (αίμα, ούρα)

Η SPE αποτελεί μια βασική μέθοδο για τον καθαρισμό και την απομόνωση ουσιών από αίμα και ούρα, βοηθώντας στον προσδιορισμό φαρμακευτικών ουσιών, μεταβολιτών, και άλλων βιοδεικτών με υψηλή ευαισθησία.

- Φαρμακευτικά προϊόντα

Η SPE χρησιμοποιείται για την κατεργασία σκόνης δισκίων, προκειμένου να απομονωθούν οι δραστικές φαρμακευτικές ουσίες από τα έκδοχα και τις προσμείξεις.

- Έλαια

Εφαρμόζεται για τον καθαρισμό και την απομόνωση ενώσεων από έλαια, επιτρέποντας την ανάλυση λιποδιαλυτών βιταμινών, φυτοφαρμάκων και άλλων χημικών ενώσεων.

Επιπλέον, η SPE είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την απομόνωση συγκεκριμένων ουσιών που πρόκειται να προσδιοριστούν μέσω αναλυτικών μεθόδων:

- Φάρμακα και μεταβολίτες

Η μέθοδος χρησιμοποιείται για την απομόνωση φαρμάκων και των μεταβολιτών τους από βιολογικά δείγματα, διευκολύνοντας τον ποσοτικό προσδιορισμό τους.

- Φυτοφάρμακα

Η SPE επιτρέπει την απομόνωση και συγκέντρωση φυτοφαρμάκων από δείγματα περιβάλλοντος ή τροφίμων, βελτιώνοντας την ανιχνευσιμότητά τους.

- Χρωστικές και πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs)

Η μέθοδος εφαρμόζεται για την απομόνωση χρωστικών και PAHs από περιβαλλοντικά δείγματα, επιτρέποντας την ανάλυση τους σε χαμηλές συγκεντρώσεις.

- Βιταμίνες

Η SPE χρησιμοποιείται για την απομόνωση και καθαρισμό λιποδιαλυτών και υδατοδιαλυτών βιταμινών από τρόφιμα και βιολογικά δείγματα.

Εφαρμογές SPE (2)

Πέρα από την κατεργασία συγκεκριμένων δειγμάτων, η SPE εφαρμόζεται σε διάφορες διαδικασίες ανάλυσης, όπως:

- Απομόνωση αναλυτών από σύνθετα μίγματα

Η SPE είναι ιδανική για την απομόνωση συγκεκριμένων αναλυτών από πολύπλοκα μίγματα, επιτρέποντας την αποτελεσματική απομάκρυνση των ανεπιθύμητων συστατικών.

- Διαχωρισμός συστατικών με βαθμιδωτή εκχύλιση

Η μέθοδος επιτρέπει τον διαχωρισμό συστατικών ενός δείγματος με βάση την εκλεκτική τους αλληλεπίδραση με το προσροφητικό υλικό, μέσω διαδοχικών εκχυλίσεων με διαφορετικούς διαλύτες.

- Απομάκρυνση παρεμποδιστικών συστατικών

Η SPE χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση συστατικών τα οποία παρεμποδίζουν την ανάλυση, βελτιώνοντας έτσι την ακρίβεια και την ευαισθησία της μεθόδου.

- Εμπλουτισμός (pre-concentration)

Η μέθοδος επιτρέπει τη συγκέντρωση αναλυτών από αραιά διαλύματα, αυξάνοντας την ευαισθησία των αναλυτικών τεχνικών που ακολουθούν.

- Απομάκρυνση αλάτων από δείγματα μεγαλομορίων

Η SPE χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση αλάτων και άλλων μικρών μορίων από δείγματα που περιέχουν μεγαλομόρια, όπως πρωτεΐνες, διευκολύνοντας έτσι την περαιτέρω ανάλυσή τους.

- In situ παραγωγοποίηση

Η SPE επιτρέπει την πραγματοποίηση χημικών αντιδράσεων απευθείας στη στερεή φάση, όπως η παραγωγοποίηση αναλυτών πριν από την ανάλυση τους.

- Φύλαξη δείγματος και μεταφορά

Η SPE χρησιμοποιείται για την απομόνωση και σταθεροποίηση αναλυτών, επιτρέποντας την ασφαλή φύλαξη και μεταφορά τους πριν από την τελική ανάλυση.

Αυτές οι εφαρμογές καταδεικνύουν την ευελιξία και τη σημασία της SPE σε ένα ευρύ φάσμα αναλυτικών διαδικασιών, καθιστώντας την μια αναπόσπαστη τεχνική στην ποιοτική και ποσοτική ανάλυση χημικών ενώσεων σε διάφορους τομείς της έρευνας και της βιομηχανίας.

Η τεχνική SPE προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με παραδοσιακές μεθόδους εκχύλισης, όπως η υγρο-υγρή εκχύλιση. Πρώτον, είναι πιο αποτελεσματική στην απομόνωση και τον καθαρισμό των αναλυτών από περίπλοκα δείγματα, καθώς οι επιθυμητές ενώσεις μπορούν να συγκεντρωθούν και να καθαριστούν σε ένα βήμα, μειώνοντας έτσι τον χρόνο και το κόστος ανάλυσης. Δεύτερον, απαιτείται μικρότερη ποσότητα οργανικών διαλυτών, καθιστώντας την τεχνική πιο φιλική προς το περιβάλλον. Επιπλέον, η SPE είναι συμβατή με υδατικά δείγματα, γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμη για αναλύσεις περιβαλλοντικών και βιολογικών δειγμάτων.

Παρά τα πλεονεκτήματα, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα στη χρήση της SPE. Η επιλογή του κατάλληλου προσροφητικού υλικού και των διαλυτών είναι κρίσιμη για την επιτυχία της μεθόδου και μπορεί να απαιτεί δοκιμές και βελτιστοποίηση για κάθε τύπο δείγματος. Επίσης, η χωρητικότητα των στήλων είναι περιορισμένη, αυτό μπορεί να επηρεάσει την αποτελεσματικότητα της τεχνικής όταν χρησιμοποιούνται μεγάλοι όγκοι δειγμάτων ή πολύπλοκα μείγματα.

Συνολικά, η εκχύλιση στερεάς φάσης είναι μια ευέλικτη, αποδοτική και αξιόπιστη τεχνική, που συνεχίζει να εξελίσσεται με την ανάπτυξη νέων υλικών και τεχνολογιών, καθιστώντας την μία από τις κύριες μεθόδους προετοιμασίας δειγμάτων για σύγχρονες αναλυτικές εφαρμογές.

3.3 ΥΓΡΗ ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΜΑΖΑΣ (LC-MS-MS)

Η υγρή χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας (LC-MS/MS) είναι μια προηγμένη αναλυτική τεχνική που συνδυάζει τις διαχωριστικές ικανότητες της υγρής χρωματογραφίας (LC) με την ευαισθησία και την εξειδίκευση της φασματομετρίας μάζας (MS). Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται ευρέως για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό βιολογικών, φαρμακευτικών, περιβαλλοντικών και τροφικών δειγμάτων.



Εικόνα 23: Υγρή χρωματογραφία μάζας (πηγή : [Υγρή χρωματογραφία μάζας](#))

- **Αρχές της Υγρής Χρωματογραφίας (LC)**

Η υγρή χρωματογραφία είναι μια τεχνική διαχωρισμού που βασίζεται στη διαφορική αλληλεπίδραση των αναλυτών με τη στατική και την κινητή φάση. Σε ένα τυπικό σύστημα LC, το δείγμα διαλύεται σε έναν κατάλληλο διαλύτη και εισάγεται στη στήλη χρωματογραφίας, η οποία περιέχει τη στατική φάση. Η κινητή φάση, συνήθως ένας υγρός διαλύτης ή μείγμα διαλυτών, διοχετεύεται στη στήλη υπό υψηλή πίεση, και οι αναλύτες διαχωρίζονται με βάση τις διαφορές στη συγγένειά τους προς τη στατική και την κινητή φάση. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει την απομόνωση των επιμέρους συστατικών του δείγματος.

- **Αρχές της Φασματομετρίας Μάζας (MS)**

Η φασματομετρία μάζας είναι μια τεχνική ανάλυσης που επιτρέπει τον προσδιορισμό της μάζας των μορίων και τη δομική τους ταυτοποίηση. Στο σύστημα MS, τα μόρια του δείγματος ιονίζονται, μετατρέπονται δηλαδή σε φορτισμένα σωματίδια (ιόντα). Στη συνέχεια, τα ιόντα επιταχύνονται και διαχωρίζονται με βάση τη μάζα τους (m) και το φορτίο τους (z) σε ένα μαγνητικό ή ηλεκτρικό πεδίο. Το αποτέλεσμα είναι ένα φάσμα μάζας, το οποίο παρουσιάζει την ένταση των ανιχνευμένων ιόντων σε συνάρτηση με το λόγο m/z . Αυτό το φάσμα παρέχει πληροφορίες για τη μοριακή μάζα και τη δομή των ενώσεων.

- **Συνδυασμός LC-MS/MS**

Ο συνδυασμός της υγρής χρωματογραφίας με τη φασματομετρία μάζας (LC-MS/MS) προσφέρει τη δυνατότητα ταυτόχρονου διαχωρισμού και ανάλυσης σύνθετων μειγμάτων. Σε ένα σύστημα LC-MS/MS, η στήλη LC διαχωρίζει τα συστατικά του δείγματος, τα οποία στη συνέχεια εισάγονται διαδοχικά στο σύστημα MS για ανάλυση. Το MS/MS, γνωστό και ως Tandem MS, περιλαμβάνει δύο στάδια μαζικής ανάλυσης που διαχωρίζονται από ένα στάδιο κατακερματισμού (fragmentation). Στο πρώτο στάδιο, τα ιόντα του αναλύτη διαχωρίζονται με βάση τον λόγο m/z , και στη συνέχεια

επιλέγονται τα ιόντα-πρόδρομοι (precursor ions) για περαιτέρω κατακερματισμό. Στο δεύτερο στάδιο, τα ιόντα-θυγατέρες (product ions) που προκύπτουν από τον κατακερματισμό αναλύονται και παρέχουν πληροφορίες για τη δομή του μορίου.

- **Εφαρμογές της LC-MS/MS**

Η LC-MS/MS είναι εξαιρετικά ευέλικτη και βρίσκει εφαρμογή σε ποικίλους τομείς. Στη φαρμακευτική βιομηχανία, χρησιμοποιείται για την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση φαρμακευτικών σκευασμάτων και μεταβολιτών στο αίμα, τα ούρα και άλλα βιολογικά υγρά. Στον τομέα της διατροφής, εφαρμόζεται για τον έλεγχο ρύπων, προσθέτων και άλλων ουσιών στα τρόφιμα. Στην περιβαλλοντική χημεία, η LC-MS/MS χρησιμοποιείται για την ανίχνευση και ποσοτικοποίηση ρύπων, όπως τα φυτοφάρμακα και οι οργανικοί ρύποι, σε δείγματα νερού και εδάφους. Επιπλέον, η τεχνική αυτή είναι χρήσιμη στη βιοτεχνολογία και στην μελέτη μεταβολιτών και βιολογικών δεικτών.

- **Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα**

Η LC-MS/MS προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως υψηλή ευαισθησία, εξειδίκευση και ικανότητα ανάλυσης πολυάριθμων ενώσεων σε ένα μόνο δείγμα. Είναι ικανή να ανιχνεύσει και να ποσοτικοποιήσει ουσίες σε εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις (π.χ. ppb ή ppt επίπεδα), καθιστώντας την ιδανική για την ανάλυση ιχνών. Επιπλέον, η τεχνική παρέχει πληροφορίες για τη μοριακή δομή, επιτρέποντας την ταυτοποίηση άγνωστων ενώσεων.

Ωστόσο, η LC-MS/MS έχει και ορισμένα μειονεκτήματα. Η πολυπλοκότητα και το υψηλό κόστος του εξοπλισμού, καθώς και η ανάγκη για εξειδικευμένο προσωπικό, μπορούν να αποτελέσουν περιοριστικούς παράγοντες. Επίσης, η τεχνική απαιτεί προσεκτική βελτιστοποίηση των συνθηκών ανάλυσης, όπως η επιλογή της κινητής φάσης, της στήλης LC, και των παραμέτρων ιονισμού, για να επιτευχθούν ακριβή και επαναλήψιμα αποτελέσματα.

Συνοψίζοντας, η LC-MS/MS είναι μια κρίσιμη τεχνική για τον σύγχρονο αναλυτικό εργαστηριακό έλεγχο, προσφέροντας αξεπέραστη ευαισθησία και εξειδίκευση σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από την ιατρική και τη φαρμακευτική μέχρι την περιβαλλοντική ανάλυση και την επιστήμη των τροφίμων.

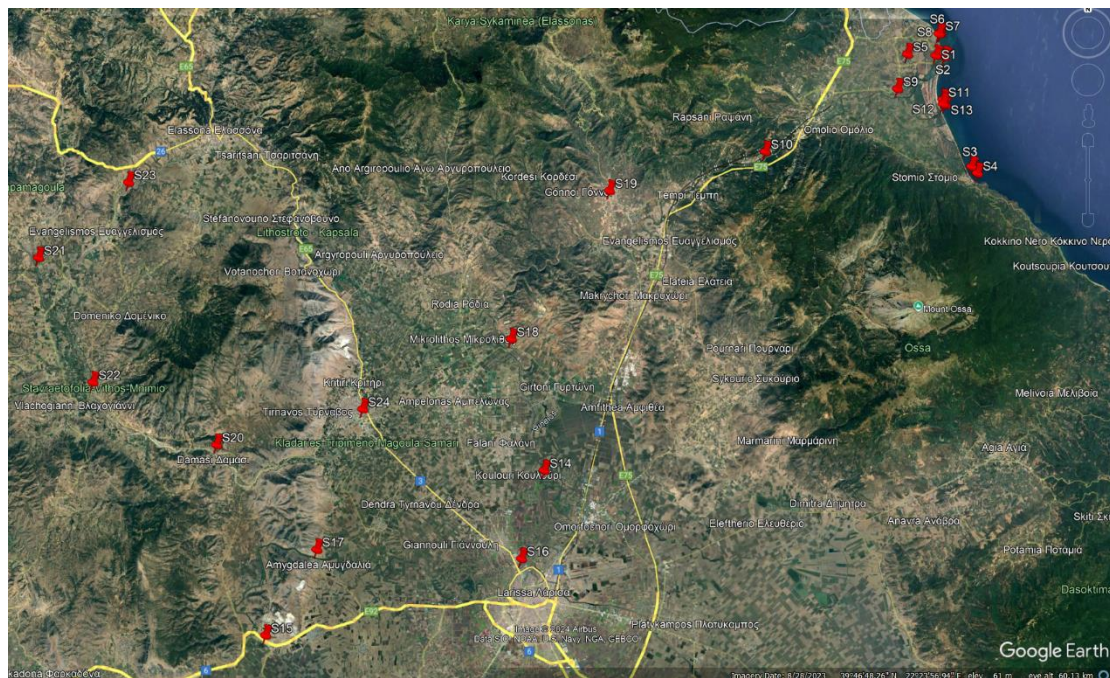
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 -ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

4.1 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

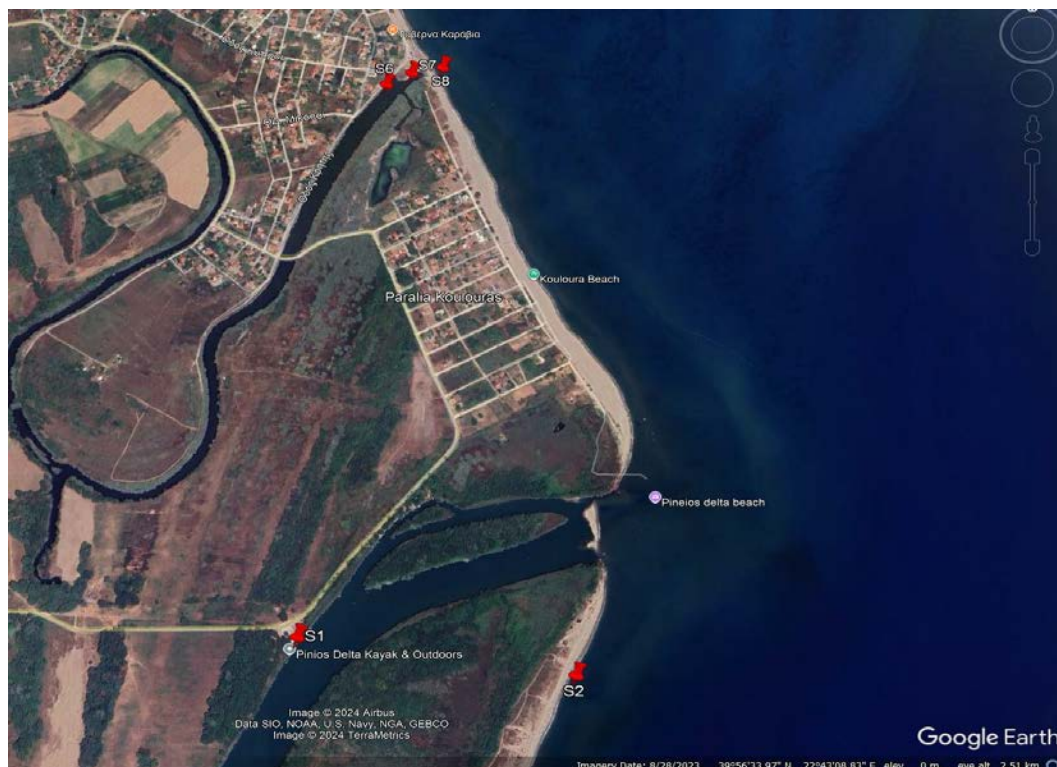
Η συλλογή των δειγμάτων ξεκίνησε τον Μάρτιο του 2023 και ολοκληρώθηκε κατά τον Φεβρουάριο του 2024. Συνολικά αυτή τη περίοδο συλλέχτηκαν 52 δείγματα από 24 περιοχές της Θεσσαλίας. Οι συγκεκριμένες δειγματοληψίες περιλάμβαναν επιφανειακά ύδατα από τα εσωτερικά τμήματα του Πηνειού, από εκβολές του Πηνειού αλλά και

ύδατα από παραθαλάσσιες περιοχές της Θεσσαλίας. Επομένως, οι δειγματοληψίες περιλάμβαναν γλυκό καθώς και αλμυρό νερό. Όσον αφορά τη διαδικασία συλλογής των δειγμάτων, έγιναν πρωινές ώρες με γυάλινα αποστειρωμένα μπουκάλια, των οποίων τα πώματα καλύφθηκαν με αλουμινόχαρτο. Η μεταφορά τους έγινε με φορητό ψυγείο και στη συνέχεια αποθηκευτήκαν στο ψυγείο που διατίθεται στο εργαστήριο του Πανεπιστημίου.

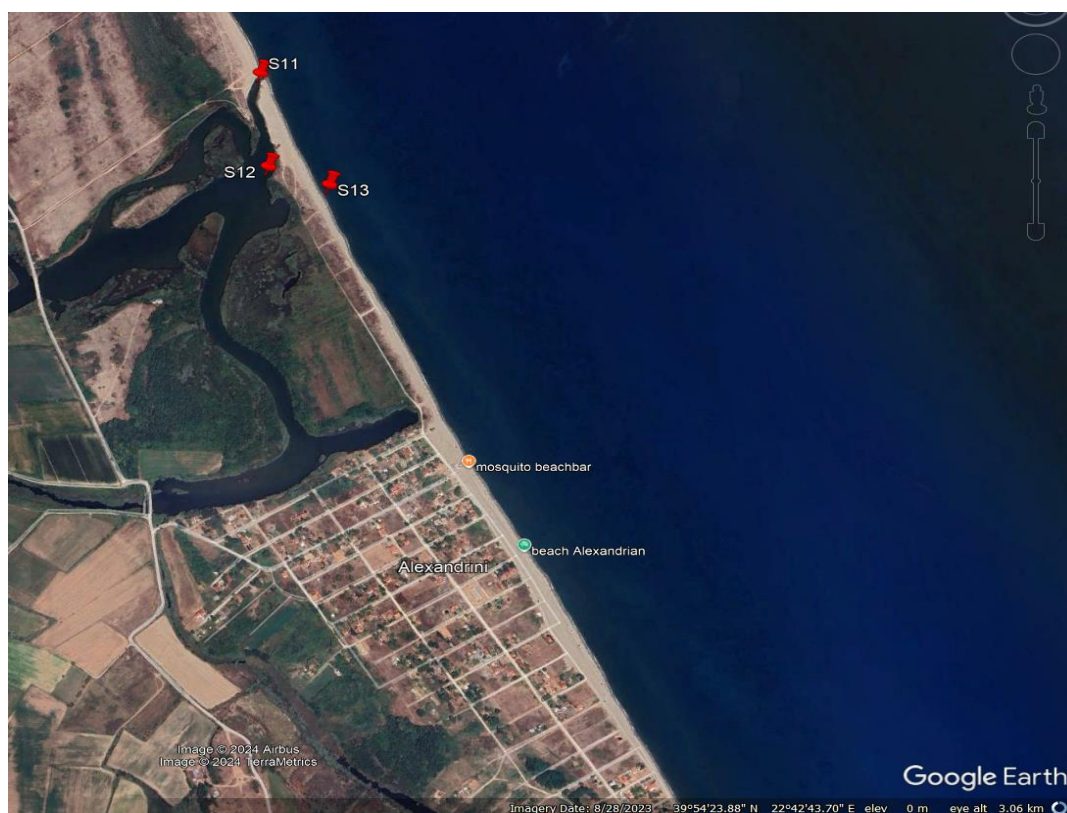
4.2 ΣΤΑΘΜΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ



Εικόνα 24 : Σταθμοί Δειγματοληψίας



Εικόνα 25: Σταθμοί δειγματοληψίας



Εικόνα 26: Σταθμοί δειγματοληψίας

ΥΠΟΜΝΗΜΑ	
ΣΗΜΕΙΑ	ΠΕΡΙΟΧΗ
S1	Αλεξανδρινή εκβολές Πηνειού
S2	Αλεξανδρινή εκβολές - θαλασσινό
S3	Στόμιο - Κατασκηνώσεις Αγία Παρασκευή - θαλασσινό
S4	Στόμιο - Φάρος - θαλασσινό
S5	Κουλούρα – Ποταμίσιο
S6	Νέα Μεσσαγγάλα 300μ. πριν τη θάλασσα (ποταμίσιο)
S7	Νέα Μεσσαγγάλα εκβολές Zbuka - ποταμίσιο
S8	Νέα Μεσσαγγάλα Zbuka - θαλασσινό
S9	Παλαιόπυργος Γέφυρα - ποταμίσιο
S10	Γέφυρα Τεμπών - ποταμίσιο
S11	Αλεξανδρινή εκβολές
S12	Αλεξανδρινή εκβολές - ποταμίσιο
S13	Αλεξανδρινή 300m από εκβολές - θαλασσινό
S14	Κουλούρι - Δασοχώρι μετά την πόλη της Λάρισας
S15	Κουτσόχειρο παλαιά γέφυρα πριν την πόλη της Λάρισας
S16	Γιάννουλη - Άλσος
S17	Αμυγδαλέα εκκλησία Αγ. Νικόλαος (ΚΤΕΟ)
S18	Μικρόλιθος - Γυρτώνη
S19	Παραπόταμος - Γόννοι
S20	Δαμάσι - Τύρναβος
S21	Συκιά Ελασσόνα - Γέφυρα
S22	Ελασσόνα - Μεσοχώρι
S23	Ελασσόνα - Αγιονέρι
S24	Τύρναβος - Τιταρήσιος

Τα σημεία που συλλέχτηκαν σε κάθε δειγματοληψία έχουν ως εξής:

- Δειγματοληψία 10/05/23: 6 σημεία

Σημεία: S1, S4, S5, S9, S11, S12

- Δειγματοληψία 16/05/23: 6 σημεία

Σημεία: S1, S2, S3, S4, S12, S13

- Δειγματοληψία 14/06/23: 8 σημεία

Σημεία: S10, S14, S15, S16, S17, S18, S19, S22

- Δειγματοληψία 26/06/23: 4 σημεία

Σημεία: S20, S21, S23, S24

- Δειγματοληψία 22/08/23: 9 σημεία

Σημεία: S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9

- Δειγματοληψία 06/11/23: 9 σημεία

Σημεία: S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9

- Δειγματοληψία 28/02/24: 10 σημεία

Σημεία: S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10

1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Η συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία ασχολήθηκε με την ανίχνευση οργανικών έμμονων ρύπων και πιο συγκεκριμένα με την ανίχνευση φθαλικών εστέρων (phthalate esters) και υπερφθοριωμένων αλκυλιωμένων ουσιών (Polyfluoroalkyl substances). Για την ανίχνευση αυτών των ουσιών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Εκχύλισης Στερεής Φάσης (Solid Phase Extraction) και στη συνέχεια για τη λήψη των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η Αέρια Χρωματογραφία (Gas Chromatography) και Φασματογραφία Μάζας (Mass Spectrometry).

4.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η Εκχύλιση Στερεής Φάσης (SPE) χρησιμοποιήθηκε για την απομόνωση φθαλικών εστέρων και υπερφθοριωμένων αλκυλιωμένων ουσιών στα δείγματα νερού που πάρθηκαν.

Η πειραματική μέθοδος είναι η εξής:

- Αρχικά τοποθετούνται στο μηχάνημα, σύριγγες μικρού μεγέθους οι οποίες περιέχουν ειδικά φίλτρα. Ανάλογα την χημική ουσία που απομονώνουν διαφέρουν τα φίλτρα μεταξύ τους.
- Στη συνέχεια, ενεργοποιείται το μηχάνημα, έτσι ώστε να δημιουργηθεί κενό αέρος μέσα σε αυτό. Αυτό το κενό αέρος τραβάει το δείγμα και επιτρέπει να περνάει μέσα από τα φίλτρα, κατακρατώντας την ουσία που έχει επιλεχθεί.

- Πριν την ρίψη των δειγμάτων, απορρίπτουμε σε δύο δόσεις 12 ml μεθανόλης, η οποία βοηθάει στην ενεργοποίηση του φίλτρου.
- Αφού περάσουν από το φίλτρο συνολικά τα 12 ml μεθανόλης, αφήνουμε τις βαλβίδες του μηχανήματος ανοιχτές για 30 sec ώστε να περάσει αέρας μέσα από τα φίλτρα.
- Μετά από αυτά τα αρχικά βήματα, ξεκινά η σταδιακή ρίψη συνολικά 200ml του δείγματος, εφόσον αυτό βρίσκεται σε επάρκεια.
- Ρυθμίζεται η βαλβίδα ώστε το δείγμα να έχει ρυθμό ροής 1-2 σταγόνες/s.
- Αφού περάσει όλο το δείγμα από το φίλτρο, τότε πάλι για λίγα δευτερόλεπτα αφήνεται η βαλβίδα ανοιχτή και απομακρύνεται ο σωλήνας από το μηχανήμα.
- Τέλος τοποθετείται parafilm στα ανοίγματα των συρίγγων και αποθηκεύονται στο ψυγείο έτοιμα για περεταίρω επεξεργασία.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ανέδειξε τη σοβαρή επίδραση των οργανικών ρύπων, όπως οι φθαλικοί εστέρες και οι υπερφθοριωμένες/πολυφθοριωμένες αλκυλιωμένες ενώσεις (PFAS), στα υδάτινα επιφανειακά οικοσυστήματα της Θεσσαλίας. Ακόμα και αν δεν πάρθηκαν τα αποτελέσματα από την πειραματική διαδικασία είναι σαφές πως αυτοί οι δυο ρύποι καθώς είναι από την φύση τους εμμονικοί αποτελούν φλέγον ζήτημα για γρήγορη αντιμετώπιση και μείωση αυτών στα υδάτινα οικοσυστήματα της Θεσσαλίας όπου πρέπει να προστατευτεί και να διασφαλιστεί η βιωσιμότητάς τους. Οι μελλοντικές έρευνες πρέπει να επικεντρωθούν στην ανάπτυξη αποτελεσματικότερων τεχνολογιών καθαρισμού και απομάκρυνσης των PFAS και άλλων οργανικών ρύπων, καθώς και στη μελέτη των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων τους στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Γ.Μενεξές, (2022). Ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος μετά από ατυχήματα δεξαμενόπλοιων. Ποιοι κανονισμοί υφίστανται για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος; Είναι η παρούσα κατάσταση ικανοποιητική και τι πρέπει να γίνει στο μέλλον;. Πειραιάς.
https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/14447/Menexes_MNSND2004_4.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Χ.Μπάρκη, (2011). Ατμοσφαιρική ρύπανση. Καλαμάτα
http://nestor.teipel.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/17557/STEG_FP_00626_Medium.pdf?sequence=1

Μ. Καρατιαναγιώτη, (2009). Παράγοντες που επηρεάζουν τη ρύπανση των εδαφών από την κατεργασία του εδάφους. Καλαμάτα.
http://nestor.teipel.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/14148/STEG_THEKA_00381_Medium.pdf?sequence=1

Δ. Καλυβάς-Αναστασίου (2024). Design and Implementation of a Recording and Monitoring System of Urban Noise. Αθήνα -Αιγάλεω
https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/6190/Kalyvas-Anastasiou_50106982.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Α. Ροδίτης (2012). Η Φωτορύπανση και οι επιδράσεις της στην υγεία, οικονομία, φύση και επιστήμη. Αθήνα
http://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/728/hlg_00623.pdf?sequence=1

Η. ΑΘ. Καλαμπαλίκη (2021). Η ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Αθήνα
https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/657/Kalampaliki_122019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Δ. Μπουλιμπάση (2023). Περιβαλλοντικές και υγειονομικές επιπτώσεις των αναδυόμενων ρύπων μέσω των υγρών αποβλήτων. Θεσσαλονίκη
<https://ikee.lib.auth.gr/record/346506/files/GRI-2023-38609.pdf>

Δ. Σκούρας. Οικονομικά της Ρύπανσης. Πάτρα
<https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/ECON1322/%CE%9F%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CF%84%CF%89%CE%BD%20%CE%A6%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD%20%CE%A0%CF%8C%CF%81%CF%89%CE%BD%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CF%84%CE%BF%CF%85%20%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%AC%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%82%20%CE%B4%CE%B9%CE%AC%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%B7%2013%CE%B7.pdf>

Brian Moss, 2008 Water pollution by agriculture
https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstb.2007.2176?casa_token=HDmt59z06ZsAAAAA%3A4-2IyRtWvEsNAy6i_nGG8-In2WyIxxIYP7ZWSfBUQy_o8VsQnKCwgJPGAfGAl8sS9eUq8hxEx8Qyz

Εισαγωγή στην Βιολογική Απορρύπανση, Κατηγορίες ρύπων. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

https://eclass.uth.gr/modules/document/file.php/BIO_U_154/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82/Lecture_3.pdf

Α. Αγραφιώτης (2017). Μελέτη της αποτοξικοποίησης χλωριωμένων οργανικών ρύπων με μυκητιακούς βιοκαταλύτες θαλάσσιας προέλευσης. Αθήνα

<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/46140/%CE%91%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CF%8E%CF%84%CE%B7%CF%82%CE%91%CE%BD%CE%B4%CF%81%CE%AD%CE%B1%CF%82%CE%94.%CE%95..pdf?sequence=1>

Ε. Χατζηδάκης (2017). Φθαλικοί Εστέρες στη σκόνη εσωτερικού χώρου σπιτιών της Κοζάνης: Εκτίμηση της ανθρώπινης έκθεσης και συσχέτιση με τα χαρακτηριστικά του κτιρίου. Κοζάνη

<https://dspace.uowm.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/806/XATZHDAKHS%20EMMANOYHL1458.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Μ. Καβουρή (2020). Ύπαρξη πλαστικοποιητών σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Χανία

<https://apothesis.lib.hmu.gr/bitstream/handle/20.500.12688/10213/KavouriMariaAntiopi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Εφημερίδα της Ελλάδος, τεύχος δεύτερό (11 Ιουλίου 2001). Αριθμός φύλλου 892

https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2019-07/b892_2001.1127472533032.pdf

Β. Φράγκου (2019). Παθογόνα πρωτόζωα στο υδάτινο περιβάλλον. Μυτιλήνη

<https://hellanicus.lib.aegean.gr/bitstream/handle/11610/25402/%ce%a0%ce%a4%ce%a5%ce%a7%ce%99%ce%91%ce%9a%ce%97%20%ce%a6%ce%a1%ce%91%ce%93%ce%9a%ce%9f%ce%a5%20%ce%92%ce%91%ce%a1%ce%92%ce%91%ce%a1%ce%91%20%ce%a4%ce%95%ce%9b%ce%99%ce%9a%ce%9f%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ε. Χατζηπαντελή (2016). Περιβαλλοντική συνείδηση του γεωργού της περιοχής Κοκκινοχωρίων, ως προς τις επιπτώσεις που προκαλεί η χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων στα υδάτινα οικοσυστήματα. Κύπρος

<https://kypseli.ouc.ac.cy/bitstream/handle/11128/2625/%ce%94%ce%a0%ce%a0-2016-00097.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Θ. Καστανιάς (2012). Η δράση των φθαλικών εστέρων, ως ενδοκρινικών διαταρακτών, στην υγεία του ανθρώπου. Κομοτηνή
<http://mail.mednet.gr/archives/2012-5/pdf/539.pdf>

Ε. Χατζιδάκης (2017). Φθαλικοί Εστέρες στη σκόνη εσωτερικού χώρου σπιτιών της Κοζάνης: Εκτίμηση της ανθρώπινης έκθεσης και συσχέτιση με τα χαρακτηριστικά του κτιρίου. Κοζάνη
<https://dspace.uowm.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/806/XATZHDAKHS%20EMMANOYHL1458.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Γ.Καββαδά (2023). Διερεύνησή της φυσικοχημικής ρύπανσης των ποταμών Ελασσονίτη και Τιταρήσιο του γεωγραφικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας. Λάρισα
<https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/82994/28373.pdf?sequence=4>

Ζέρβα, Π. (2015). Φθαλικοί εστέρες σε αποστάγματα στέμφυλων σταφύλης, ούζου και οινοπνεύματος.

Ε. Βουζαζάκη (2023). Ανάπτυξη και επικύρωση αναλυτικής μεθόδου για τον προσδιορισμό υπερφθοροακυλιωμένων ενώσεων και άλλων αναδυόμενων ρύπων σε βιολογικά υγρά. Λάρισα
<https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/82284/27665.pdf?sequence=4>

Εφημερίδα της κυβέρνησεως, τεύχος δεύτερο (25 Μαΐου 2023). Αρ. Φύλλου 3525
https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2023-05/3525%CE%B2_2023.pdf

Θ. Δαβαλά (2022). Αποδόμηση υγρών περιβαλλοντικών ρύπων σε αντιδραστήρες ατμοσφαιρικού πλάσματος. Αθήνα
<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/56638/%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%94%CE%B1%CE%B2%CE%B1%CE%BB%CE%AC.pdf?sequence=1>

Κ.Σκρίκα (2022). Εγκλωβισμός αιθερίων ελαίων σε βιοδιασπώμενους φορείς για την ανάπτυξη εντομοαπωθητικών προϊόντων. Αθήνα
https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/56440/%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B7%CC%81_%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%B9%CC%81%CE%B1_%CE%A3%CE%BA%CF%81%CE%B9%CC%81%CE%BA%CE%B1_%CE%9A%CE%B1%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%B9%CC%81%CE%BD%CE%B1.pdf

A. Κυργίδου (2009). Ανάπτυξη αναλυτικής μεθόδου για τον προσδιορισμό υπολειμμάτων οργανοχλωριωμένων εντομοκτόνων σε ιστό μυδιών. Θεσσαλονίκη <https://ikee.lib.auth.gr/record/122751/files/GRI-2010-4949.pdf>

A. Καλοδίκη (2024). Μελέτη και ταυτοποίηση σύστασης, εκχυλισιμότητας συστατικών των βοτάνων θρούμπη και δίκταμο σε τσίπουρο. Αθήνα <https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/6562/%ce%a0%ce%a4%ce%a5%ce%a7%ce%99%ce%91%ce%9a%ce%97%20%ce%9a%ce%b1%ce%bb%ce%bf%ce%b4%ce%af%ce%ba%ce%b7%20-%20%ce%9a%ce%bf%ce%bd%cf%84%ce%b1%cf%81%ce%ac%ce%ba%ce%b7%20%cf%85%cf%80%ce%bf%ce%b3%ce%b5%ce%b3%cf%81.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

E. Κοκκάλης (2005). Μελέτη της απομάκρυνσης οργανοχλωριωμένων ενώσεων (PSBs) για την αποκατάσταση εδαφών και ιζημάτων. Θεσσαλονίκη <https://ikee.lib.auth.gr/record/24812/files/gri-2005-578.pdf>

A.Βλαχάβα (2021). Δυναμική γονιδίων ανθεκτικότητας σε μικροβιακές κοινότητες εδάφους μετά από ενσωμάτωση κοπριάς χοίρων ενισχυμένης με αντιβιοτικά. Λάρισα <https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/59560/25269.pdf?sequence=1>

N. Λαμπούση (2022). Μέθοδοι εκχύλισης και βιολογικές ιδιότητες αιθέριων ελαίων και βιοδραστικών ουσιών από παραπροϊόντα αρωματικών φυτών. Αθήνα https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/3313/Lampousi_71616054.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Polish J. of Environ. Stud. Vol. 15, No. 5 (2006), 677-690. Solid Phase Extraction Technique – Trends, Opportunities and Applications <https://www.pjoes.com/pdf-87920-21779?filename=Solid%20Phase%20Extraction.pdf>

Γ. Δημήτρης , Ζ. Δημήτριος (2023). Extraction of Phenolic Compounds from Lemon Balm (*Melissa officinalis*) By Products Using Experimental Design and Liquid Chromatography-Mass Spectrometry (LC-MS/MS). Αθήνα https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/5250/%ce%93%ce%b9%ce%ac%ce%bd%ce%bd%ce%b7%cf%82_19684016%20%ce%ba%ce%b1%ce%b9%20%ce%96%cf%8e%cf%84%ce%bf%cf%82_18684030.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Solid Phase Extraction Method for Selective Determination of Phthalate Esters in the Aquatic Environment (2002).
<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1020134707450>

Παράρτημα Α14 (2013). Σχέδιο διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θράκης. https://wfdver.ypoka.gr/wp-content/uploads/2017/04/files/GR12/GR12_P14_Ekthesi_Odigias_2006_118_EK.pdf

Water Framework Directive (28 Feb 2024). The Water Framework Directive (2000/60/EC) <https://water.europa.eu/freshwater/europe-freshwater/water-framework-directive>

Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο (2022). Έμμονοι ρύποι: Ορισμός, επιπτώσεις και μέτρα της ΕΕ <https://www.europarl.europa.eu/topics/el/article/20220930STO41917/emmonoi-rupoi-orismos-epiptoseis-kai-metra-tis-ee>

Analytica Chimica Acta (29 July 2012). Overview of extraction, clean-up and detection techniques for the determination of organic pollutants in sewage sludge: A review. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003267012007271>

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

<https://ikee.lib.auth.gr/record/346506/files/GRI-2023-38609.pdf>

<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/46140/%CE%91%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CF%8E%CF%84%CE%B7%CF%82%CE%91%CE%BD%CE%B4%CF%81%CE%AD%CE%B1%CF%82%CE%94.%CE%95..pdf?sequence=1>

(<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/46140/%CE%91%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CF%8E%CF%84%CE%B7%CF%82%CE%91%CE%BD%CE%B4%CF%81%CE%AD%CE%B1%CF%82%CE%94.%CE%95..pdf?sequence=1>)

Presentation University of Thessaly_240413[1464].pdf

<https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/82284/27665.pdf?sequence=4>

ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΕΚΧΥΛΙΣΗ - SPE[1616].pdf

https://www.researchgate.net/figure/Stages-of-solid-phase-extraction-SPE_fig3_312498761

