



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΖΩΩΝ**

**ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΡΥΠΟΓΟΝΩΝ ΟΥΣΙΩΝ-
ΟΙΚΟΤΟΞΙΚΟΛΟΓΙΑ- ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ**

ΔΙΔΑΣΚΩΝ:

ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΝΤΑΙΛΙΑΝΗΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

ΠΑΤΡΑ 2020

Εισαγωγικό σημείωμα...

Το περιβάλλον αποτελεί μια θεμελιώδη παράμετρο ποιοτικής εξέλιξης και συνύπαρξης των έμβιων οργανισμών πάνω στον πλανήτη μας. Τα τελευταία όμως χρόνια, ο άνθρωπος άρχισε να αναπτύσσεται, σχεδόν μέσα σε στενά πλαίσια ανεξαρτησίας, αδιαφορώντας για το περιβάλλον που τον φιλοξενεί, καθώς και για τους υπόλοιπους οργανισμούς με τους οποίους συμβιώνει πάνω στη Γη. Έχοντας ως γνώμονα την ανθρώπινη δραστηριότητα, κοινό σημείο αναφοράς της παγκόσμιας κοινότητας αποτελεί πλέον ο υποβιβασμός της ποιότητας του περιβάλλοντος και των κυριότερων αβιοτικών στοιχείων του, όπως ο αέρας, το νερό και το έδαφος, ως αποτέλεσμα της ρύπανσης.

Ως **ρύπανση του περιβάλλοντος** μπορεί να οριστεί η είσοδος κάθε ουσίας ή ενέργειας (θερμότητας, ήχου, ραδιενέργειας κ.α.) στο περιβάλλον με ρυθμό ταχύτερο από το ρυθμό αφομοίωσης ή/και απομάκρυνσής της, με άμεσες ή έμμεσες επιπτώσεις τόσο στην ισορροπία των οικοσυστημάτων, όσο και στη φυσιολογική ομοιόσταση των έμβιων οργανισμών. Οι ουσίες αυτές ονομάζονται **ρύποι ή ρυπογόνες ουσίες**. Οι ρύποι διακρίνονται σε **πρωτογενείς**, οι οποίοι εκπέμπονται άμεσα από την ανθρώπινη δραστηριότητα και οι σημαντικότεροι είναι τα αιωρούμενα σωματίδια [σκόνη, καπνός, σωματίδια βαρέων μετάλλων, όπως μολύβδου (Pb) και νικελίου (Ni)], το διοξείδιο του θείου (SO₂), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οι υδρογονάνθρακες, το χλώριο (Cl₂) και το φθόριο (F₂), και σε **δευτερογενείς**, οι οποίοι προκύπτουν από τους πρωτογενείς μετά από αλληλεπίδραση τους με το οικοσύστημα (π.χ. μονοξείδιο του αζώτου (NO), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) και το όζον (O₃). Οι ρύποι που συσσωρεύονται στο περιβάλλον με την πάροδο του χρόνου, λόγω της ανθεκτικότητάς τους (είναι κυρίως μη διασπώμενοι ρύποι, π.χ. PCBs, βαρέα μέταλλα, κ.λπ.) είναι επιβλαβείς για το περιβάλλον και τους οργανισμούς με τους οποίους έρχονται σε επαφή (**σωρευμένοι ρύποι/stock pollutants**), φαινόμενο το οποίο παρατηρείται και στην περίπτωση ρύπων, οι οποίοι αν και βιο-διασπώμενοι (**μη σωρευμένοι ρύποι/fund pollutants**), μπορεί να γίνουν επιβλαβείς όταν η συγκέντρωσή τους στο περιβάλλον υπερβεί τη **φέρουσα περιβαλλοντική ικανότητα αφομοίωσης** (environmental absorptive capacity), δηλ. την

μέγιστη ποσότητα που μπορεί να αφομοιωθεί από το περιβάλλον, χωρίς να προκληθεί οποιαδήποτε μορφής περιβαλλοντική βλάβη.

Έχοντας λοιπόν υπόψη μας τις παραπάνω θέσεις και προβληματισμούς, δημιουργείται η ανάγκη της περαιτέρω ενημέρωσής μας για το είδος των ρυπογόνων ουσιών και τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Σε αυτό το κείμενο, έγινε μια προσπάθεια να αποδοθούν περιληπτικά οι κυριότερες κατηγορίες ρύπων που απαντούν σήμερα στο περιβάλλον, καθώς και η επιπτώσεις τους τόσο σε κυτταρικό και οργανισμικό επίπεδο, όσο και σε επίπεδο οικοσυστήματος. Επιπλέον, σκοπός των σημειώσεων είναι η ενημέρωση του αναγνώστη για τις επιστημονικές μεθόδους παρακολούθησης της ρύπανσης, με κύριο στόχο την ανάπτυξη τεχνικών και στρατηγικών προστασίας των οικοσυστημάτων.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.	ΚΥΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	10
1.1	Ανόργανα ιόντα/ρύποι	10
1.1.1	Ανόργανα μεταλλικά στοιχεία	10
1.1.1.1	Απαραίτητα μέταλλα	11
1.1.1.2	Μη απαραίτητα μέταλλα.....	15
1.1.2	Ανιόντα (νιτρικά και φωσφορικά).....	18
1.2	Οργανικά προϊόντα/ρύποι	19
1.2.1	Υδρογονάνθρακες.....	19
1.2.1.1	Υδρογονάνθρακες πετρελαίου.....	20
1.2.2	Αλογονομένοι πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες	22
1.2.2.1	Πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs).....	22
1.2.2.2	Πολυχλωριωμένες διβενζο-διοξίνες και –διβενζο φουράνια 1 (PCDDs και PCDFs)	22
1.2.2.3	Πολυβρωμοιμένα διφαινύλια ή πολυβρωμοδιφαινύλια (PBBs)	23
1.2.2.4	Οργανοχλωριωμένα εντομοκτόνα (OCs)	24
1.2.2.5	Οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα (OPs)	25
1.2.2.6	Καρβαμικά εντομοκτόνα.....	26
1.2.2.7	Πυρεθροειδή εντομοκτόνα	26
1.2.2.8	Χλωροφαινόλες (OCP)	26
1.3	Οργανομεταλλικά συστατικά	27
1.4	Απορρυπαντικά.....	27
1.5	Διαφυγόντες ρύποι από χώρους ταφής απορριμμάτων	27
1.6	Απόβλητα ελαιοτριβείων	36
1.6.1	Απόβλητα ελαιοτριβείων στο έδαφος.....	36
1.6.2	Απόβλητα ελαιοτριβείων στο υδάτινο περιβάλλον.....	37
1.7	Αέριοι ρύποι	37
1.7.1	Όζον (O ₃).....	38
1.7.2	Οξειδία του άνθρακα (CO ₂ & CO).....	40
1.7.3	Διοξείδιο του Θείου (SO ₂)	43
1.7.4	Αιωρούμενα σωματίδια (particulate matters/PMs)	46
1.7.5	Υδρογονάνθρακες (C _x H _y).....	46
1.8	Ακτινοβολίες	47
1.8.1	Ιονίζουσες ή ιοντίζουσες ακτινοβολίες/ Ραδιενέργεια.....	47
1.8.1.1	Ραδιενέργεια.....	48
1.8.2	Μη-ιονίζουσες ή μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες	52
1.9	Νανο-υλικά/νανοσωματίδια και η επίδρασή τους στο περιβάλλον	53
1.9.1	Τύχη και μεταφορά των NPs στο περιβάλλον	54
1.9.2	NPs μετάλλων και μεταλλικών οξειδίων	55

1.10	Ηχορύπανση	57
1.11	Φαρμακευτικές ουσίες στο περιβάλλον.....	58
1.11.1	Καρμπαμαζεπίνη (Carbamazepine) στο περιβάλλον	61
1.11.2	Δικλοφενάκη (Diclofenac) στο περιβάλλον	62
1.12	Πλαστικά υλικά.....	64
1.12.1	Πλαστικά και Περιβάλλον (μικροπλαστικά).....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΙΣΟΔΟΣ ΡΥΠΟΓΟΝΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΣΤΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ		66
2.1	Ρύπανση του εδάφους	67
2.2	Ρύπανση της ατμόσφαιρας	69
2.3	Ρύπανση των υδάτων	72
2.3.1	Ρύπανση επιφανειακών νερών	73
2.3.1.1	Ευτροφισμός	74
2.3.2	Ρύπανση υπόγειων υδάτων	76
2.3.3	Ρύπανση θαλασσών.....	79
2.3.3.1	Νομοθετικό πλαίσιο προστασίας των υδάτινων οικοσυστημάτων και θαλάσσια στρατηγική	83
2.4	Ρύπανση εσωτερικών χώρων	89
2.4.1	Οικιακό περιβάλλον.....	89
2.4.2	Σχολικό περιβάλλον.....	90
2.4.3	Κλειστοί Δημόσιοι Χώροι.....	91
2.4.4	Εργασιακό περιβάλλον.....	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΟΙΚΗΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ - ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ.....		93
3.1	Υγρά απόβλητα	93
3.1.1	Φυσικά συστατικά των υγρών αποβλήτων	93
3.1.2	Ανόργανα χημικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων	94
3.1.3	Οργανικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων	98
3.1.4	Βιολογικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων/λυμάτων	101
3.1.4.1	Ανίχνευση μικροβιακού φορτίου σε υγρά απόβλητα	103
3.2	Συλλογή αποβλήτων	105
3.2.1	Διάταξη αποχετευτικού δικτύου	106
3.3	Επεξεργασία αποβλήτων/λυμάτων σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού	107
3.3.1	Πρωτοβάθμια επεξεργασία (Προ-επεξεργασία και πρωτοβάθμια καθίζηση)	108
3.3.1.1	Προ-επεξεργασία	108
3.3.1.2	Πρωτοβάθμια καθίζηση	109
3.3.2	Δευτεροβάθμια επεξεργασία ή βιολογικός καθαρισμός	111
3.3.3	Τριτοβάθμια επεξεργασία.....	113
3.3.4	Επεξεργασία και διάθεση δραστικής λάσπης	116

3.3.4.1	Σταθεροποίηση δραστικής λάσπης	116
3.3.4.2	Συμπύκνωση/πάχυνση δραστικής λάσπης	117
3.3.4.3	Αφυδάτωση	117
3.4	Απολύμανση υγρών αποβλήτων	118
3.4.1	Χλωρίωση	119
3.4.2	Οζονισμός	120
3.4.3	Υπεριώδης ακτινοβολία	120
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ (ECOLOGICAL RISK ASSESSMENT)	122
4.1	Εκτίμηση οικολογικού κινδύνου – Βασικές έννοιες	122
4.2	Πλαίσιο εκτίμησης οικολογικού κινδύνου	123
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.	ΞΕΝΟΒΙΟΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ	126
5.1	Βιοδιαθεσιμότητα μιας ξενοβιοτικής ουσίας	126
5.2	Πρόσληψη διαλυμένων στο υδάτινο μέσο ξενοβιοτικών ουσιών	127
5.3	Πρόσληψη ξενοβιοτικών ουσιών από το ίζημα	129
5.4	Πρόσληψη ξενοβιοτικών ουσιών μέσω της τροφής	130
5.5	Είσοδος ξενοβιοτικών ουσιών στον οργανισμό	131
5.6	Έκφραση τοξικής δράσης ξενοβιοτικών ουσιών	133
5.7	Βιοεπιδράσεις και βιολογικές αποκρίσεις του οργανισμού	134
5.8	Βιομεταμόρφωση και Βιοενεργοποίηση ξενοβιοτικών ουσιών	137
5.9	Μεταβολισμός οργανικών ενώσεων	139
5.9.1	Λειτουργικός μεταβολισμός (φάση I)	139
5.9.2	Μεταβολισμός συζυγίας (φάση II)	142
5.10	Μεταβολισμός ανόργανων ιόντων (μεταλλικά ιόντα)	143
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΚΥΤΤΑΡΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ	146
6.1	Μοριακοί και βιοχημικοί μηχανισμοί τοξικότητας των ρυπογόνων ουσιών ...	146
6.1.1	Νευροτοξική δράση ρυπογόνων ουσιών	146
6.1.2	Αναστολή μιτοχονδριακών συστημάτων	147
6.1.3	Ανταγωνιστές βιταμινών	147
6.1.4	Ανταγωνιστές ορμονών	147
6.1.5	Αναστολή της δράσης ενζυμικών συστημάτων	148
6.1.6	Περιβαλλοντικά οιστρογόνα και ανδρογόνα	148
6.1.7	Αντιδράσεις με σουλφυδρυλικές ομάδες πρωτεϊνών	150
6.1.8	Διαταραχή φωτοσυνθετικού μηχανισμού και ανάπτυξης των φυτών	150
6.1.9	Επαγωγή φαινομένων οξειδωτικής καταπόνησης (oxidative stress)	150
6.2	Διαταραχή μεμβρανικών δομών και κυτταρικών οργανιδίων	152
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΡΥΠΟΓΟΝΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ	154
7.1	Νευροφυσιολογικές επιδράσεις	154

7.2	Επιδράσεις στη συμπεριφορά.....	155
7.3	Επιδράσεις στην αναπαραγωγή – Ενδοκρινικοί αποδιοργανωτές.....	155
7.4	Ενεργειακό κόστος	158
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΡΥΠΟΓΟΝΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΣΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΩΝ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ. ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΕ ΒΙΟΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....		
159		
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΑΡΧΕΣ ΤΟΞΙΚΟΛΟΓΙΑΣ - ΟΙΚΟΤΟΞΙΚΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ		
162		
9.1	Δοκιμασίες ελέγχου τοξικότητας	163
9.1.1	Δοκιμασία οξείας τοξικότητας.....	163
9.1.2	Υποξεία (ή χρόνια) τοξικότητα	163
9.1.3	Δοκιμασίες μεταλλαξιγένεσης	163
9.1.3.1	Μεταλλαξιγένεση-κυτταρογενετική δοκιμασία σε κύτταρα θηλαστικών in vitro	164
9.1.3.2	Μεταλλαξιγένεση-δοκιμασία μικροπυρήνων in vivo	164
9.1.4	Δοκιμασία πρόκλησης μεταλλάξεων επαναφοράς στην Escherichia coli και στη Salmonella typhimurium.	164
9.1.5	Αναπαραγωγική τοξικότητα-δοκιμασία γονιμότητας και τερατογένεσης..	167
9.1.6	Δοκιμασίες καρκινογόνου δράσης.....	167
9.2	Δοκιμασίες περιβαλλοντικής τοξικότητας και Οικοτοξικότητας-Οικοτοξικολογία (Ecotoxicology)	168
9.2.1	Οξεία τοξικότητα σε ψάρια	169
9.2.2	Οξεία τοξικότητα του υδρόβιου οργανισμού Daphnia magna.....	170
9.2.3	Οικοτοξικολογικά πειράματα με φύκια (algae)	171
9.2.4	Δοκιμασία οξείας τοξικότητας σε υδρόβια σπονδυλωτά και μακροασπόνδυλα	172
9.2.5	Προσδιορισμός της βιοσυσσώρευσης χημικών ουσιών.....	172
9.2.6	Αβιοτική αποικοδόμηση-υδρόλυση ως συνάρτηση του pH	173
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΧΡΗΣΗ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ - ΒΙΟΕΝΔΕΙΚΤΩΝ ΚΑΙ ΒΙΟΜΑΡΤΥΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ		
174		
10.1	Οργανισμοί-Βιοενδείκτες.....	174
10.1.1	Μακρόφυτα & Βρύα - Δειχίνες	175
10.1.2	Μικροοργανισμοί.....	175
10.1.3	Μακροασπόνδυλα	176
10.1.4	Ιχθύες	176
10.1.5	Δίθυρα Μαλάκια και σημασία τους σε προγράμματα Βιοπαρακολούθησης	177
10.1.5.1	Βασικά χαρακτηριστικά των Δίθυρων Μαλακίων που τα καθιστούν κατάλληλους οργανισμούς Βιο-ενδείκτες.....	178
10.2	Βιολογικοί παράμετροι και χρησιμοποίησή τους ως δείκτες stress (Βιομάρτυρες)	179
10.2.1	Χρησιμοποίηση βιολογικών παραμέτρων ως Βιομάρτυρες	183

10.2.1.1	Ενζυμική δραστικότητα της ακετυλ-χολινεστεράσης (AChE)	183
10.2.1.2	Μεταλλοθειονίνες (MTs).....	185
10.2.1.3	Λυσοσώματα (αποσταθεροποίηση λυσοσωμικής μεμβράνης)	186
10.2.1.4	Λιπίδια και λιποφουσκίνες ως βιομάρτυρες	187
10.2.1.5	Δείκτες που σχετίζονται με την πρόκληση μεταλλαξιγένεσης και γενotoξικών επιπτώσεων.....	187
10.2.1.6	Επαγωγή μικροσωμικών ενζύμων	191
10.2.1.7	Βιομάρτυρες που σχετίζονται με την επαγωγή οξειδωτικού stress	191
10.2.1.8	Σηματοδοτικά μόρια και χρησιμοποίησή τους ως Βιομάρτυρες.....	192
10.2.1.9	Δείκτες που σχετίζονται με ιστολογικές αλλοιώσεις (Tissue Damage)	195
10.2.1.10	Δείκτες που μελετούνται σε οργανισμικό επίπεδο	195
10.2.1.11	Δείκτες που σχετίζονται με την αναπαραγωγική ικανότητα και την διαταραχή του ενδοκρινικού συστήματος.....	195
10.3	Ανθρώπινη Βιοπαρακολούθηση (Human Biomonitoring).....	196
10.3.1	Δείκτες stress στην Ιατρική	197
10.3.2	Δείκτες που σχετίζονται με ασθένειες (Disease-related Biomarkers) και δείκτες που σχετίζονται με φαρμακευτικά σκευάσματα και θεραπείες (Drug-related Biomarkers).....	198
10.3.3	Δείκτες στο πεδίο της Κυτταρικής Βιολογίας και Γενετικής.....	199
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11.	ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΗΣ ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ	200
11.1	Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές μεταβολές (UNFCCC).....	200
11.2	Πρωτόκολλο του Κιότο	201
11.3	Εμπορία Ρύπων.....	202
11.3.1	Υποχρεωτική (mandatory) αγορά ρύπων	206
11.3.2	Εθελοντική (voluntary) αγορά ρύπων.....	206
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12.	ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....	207
12.1	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και περιβάλλον	207
12.2	Είδη ήπιων μορφών ενέργειας.....	208
12.2.1	Αιολική ενέργεια.....	208
12.2.2	Ηλιακή ενέργεια	209
12.2.3	Βιομάζα	210
12.2.4	Γεωθερμική ενέργεια	211
12.2.5	Ενέργεια από υδατοπτώσεις, παλίρροιες, κύματα και ωκεανούς.....	211
12.3	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης ΑΠΕ.....	211
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....		213
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ		214
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....		225

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΚΥΡΙΟΙ ΡΥΠΟΙ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Οι ρύποι είναι ουσίες (στερεές, υγρές ή αέριες, μεμονωμένες ή σε μίγματα) που εκπέμπονται από πηγές ανθρωπογενούς προέλευσης, ή προκύπτουν μετά από αλληλεπίδραση του ανθρώπου με το εκάστοτε οικοσύστημα. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές μπορεί να επιφέρουν άμεσες ή έμμεσες επιπτώσεις στην άνεση, ευεξία και υγεία τόσο του ανθρώπου, όσο και όλων των ζώντων οργανισμών (φυτικών και ζωικών) γενικότερα. Ανάλογα με τη φύση τους διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, αν και η ύπαρξή τους στο περιβάλλον, καθώς και οι επιπτώσεις τους στους έμβιους οργανισμούς είναι δύσκολο να προβλεφθούν, λόγω της πολυπλοκότητάς τους, καθώς και των αλληλεπιδράσεών τους με άλλους αβιοτικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες (π.χ. υγρασία, φως, σύσταση εδάφους και υδάτων κ.λπ.). Στις παραγράφους που ακολουθούν δίνονται περιληπτικά οι κυριότερες κατηγορίες ρυπογόνων ουσιών που συναντάμε στο περιβάλλον.

1.1 Ανόργανα ιόντα/ρύποι

Σε αυτή την κατηγορία των ανόργανων ιόντων/ρύπων θα αναφερθούμε σε μεταλλικά και μη μεταλλικά στοιχεία, τα οποία συναντούμε συχνά στη βιβλιογραφία. Η αναφορά σε αλκαλοειδή και αλογόνα γίνεται σκόπιμα στο παρών εγχειρίδιο, για να γίνει κατανοητή η χρησιμότητα αυτών των στοιχείων και η συμμετοχή τους σε απαραίτητες διαδικασίες που λαμβάνουν μέρος στους οργανισμούς.

1.1.1 Ανόργανα μεταλλικά στοιχεία

Τα μεταλλικά στοιχεία χαρακτηρίζονται από στιλπνή εμφάνιση και υψηλή ηλεκτροαγωγιμότητα, ενώ συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις ως ανιόντα ή κατιόντα. Η προέλευσή τους είναι είτε **φυσική**, όπως η αποσάθρωση των φυσικών μεταλλευμάτων του εδάφους, ηφαιστειακές εκρήξεις και δασικές πυρκαγιές, είτε **αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων**, όπως η εξόρυξη και επακόλουθη απελευθέρωση και οξείδωση μεταλλευμάτων από πετρώματα με αποτέλεσμα την έντονη επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Στον **Πίνακα 1** φαίνεται η συμμετοχή του ανθρώπου στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος με ορισμένα μέταλλα, σε σχέση με τη φυσική προέλευσή τους.

Τα μέταλλα ανάλογα με την πυκνότητα και την αναγκαιότητά τους σε βιολογικές διαδικασίες διακρίνονται σε απαραίτητα (essentials) και μη-απαραίτητα (non-essentials) και κατηγοριοποιούνται στις αντίστοιχες ομάδες στοιχείων που αναφέρονται παρακάτω. Ο αναγνώστης μελετώντας το παρόν εγχειρίδιο θα προβληματιστεί με την αρχική κατηγοριοποίηση των μετάλλων στις παραπάνω κατηγορίες, μιας και όπως θα αναφερθεί παρακάτω ορισμένα από τα απαραίτητα μέταλλα, μπορεί να γίνουν βλαβερά σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Πίνακας 1. Ποσοστά (%) και απόλυτες τιμές (σε 10^5 kg/έτος) της απελευθέρωσης ορισμένων μετάλλων στη φύση, τόσο από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όσο και από φυσικές διεργασίες (από Walker και συν. 2001).

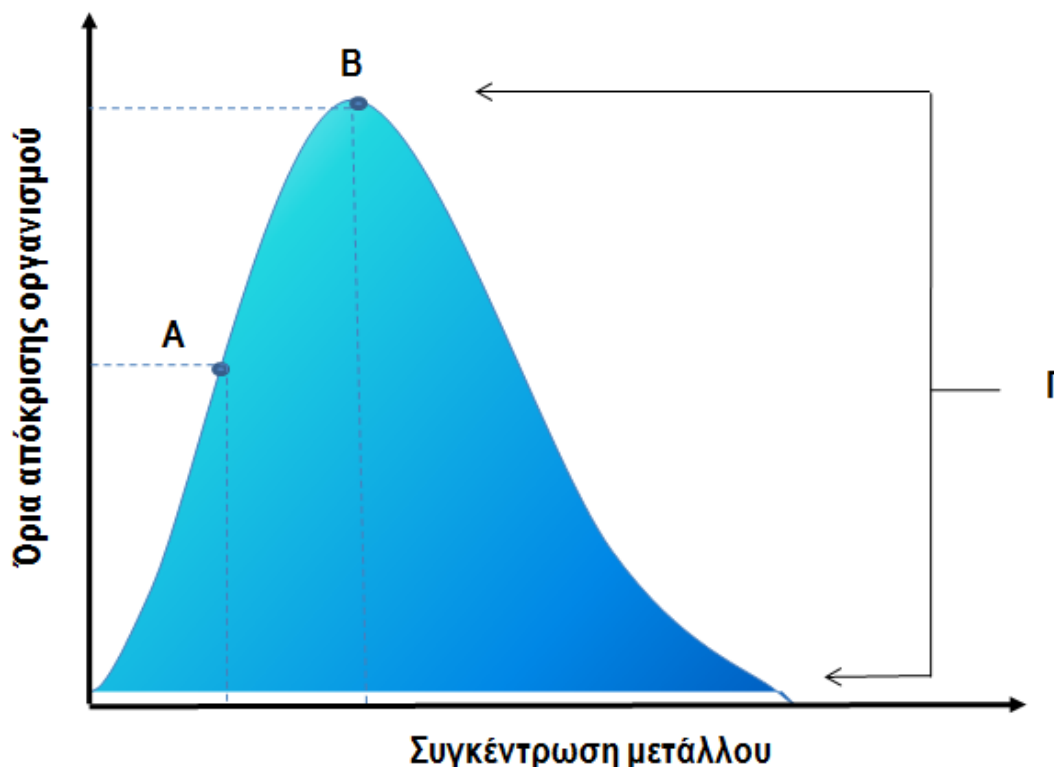
Μέταλλο	Ανθρωπ/νής προέλευση	Φυσική προέλευση	Σύνολο	% ανθρωπ/νούς προέλευσης
Κάδμιο (Cd)	8	1	9	89
Μόλυβδος (Pb)	300	10	310	97
Ψευδάργυρος (Zn)	130	50	180	72
Μαγγάνιο (Mn)	40	300	340	12
Υδράργυρος (Hg)	100	50	150	66

1.1.1.1 Απαραίτητα μέταλλα

Στη κατηγορία των απαραίτητων στοιχείων ανήκουν κυρίως 7 μεταλλικά στοιχεία τα οποία συμμετέχουν σε βιολογικές διεργασίες, οι οποίες σχετίζονται με την ανάπτυξη, τη δομή και τη λειτουργία των ζωικών και φυτικών οργανισμών. Αυτά είναι το ασβέστιο (Ca), ο φωσφόρος (P: μη μεταλλικό στοιχείο), το κάλιο (K: ανήκει στα αλκαλοειδή μεταλλικά στοιχεία), το μαγνήσιο (Mg), το νάτριο (Na), το χλώριο (Cl: ανήκει στα αλκαλοειδή μεταλλικά στοιχεία) και το θείο (S: απαραίτητο χημικό στοιχείο).

Άλλα μεταλλικά στοιχεία, τα οποία βρίσκονται σε πολύ μικρές ποσότητες αποτελούν απολύτως απαραίτητα στοιχεία και ονομάζονται **ιχνοστοιχεία**. Στην κατηγορία των ιχνοστοιχείων ανήκουν ο σίδηρος (Fe), το ιώδιο (I: αλογόνο), ο χαλκός (Cu), το μαγγάνιο (Mn), ο ψευδάργυρος (Zn), το κοβάλτιο (Co), το μολυβδαίνιο (Mo), το σελήνιο (Se: μη μεταλλικό στοιχείο), το χρώμιο (με την τρισθενή του μορφή Cr^{+3}), το νικέλιο (Ni), το βανάδιο (V) και το πυρίτιο (Si).

Παρ' όλη τη χρησιμότητά τους για την πραγματοποίηση βασικών λειτουργιών του οργανισμού, τα παραπάνω ιχνοστοιχεία μπορεί να μετατραπούν σε τοξικές ρυπογόνες ουσίες, όταν η συγκέντρωσή τους ξεπεράσει την αναγκαία τιμή με την οποία θεωρούνται ευεργετικά για τους οργανισμούς (**Εικόνα 1**). Παρακάτω δίνονται περιληπτικά ορισμένα παραδείγματα απαραίτητων μετάλλων και ιχνοστοιχείων που μπορεί να δράσουν τοξικά για τον οργανισμό.



Εικόνα 1. Διαγραμματική απεικόνιση της συγκέντρωσης ενός απαραίτητου μετάλλου σε συνάρτηση με τα όρια απόκρισης-ανοχής του οργανισμού. Το σημείο A αντιστοιχεί στη συγκέντρωση του μετάλλου που κρίνεται ευεργετική για τον οργανισμό. Το σημείο B αντιστοιχεί στην οριακή συγκέντρωση του μετάλλου στον οργανισμό. Το τμήμα Γ της καμπύλης αντιστοιχεί στην τοξική δράση του οργανισμού, λόγω αδυναμίας μεταβολισμού και απομάκρυνσης του μετάλλου.

Χρώμιο (Cr)

Το χρώμιο δεν απαντά ελεύθερο στη φύση. Εξάγεται από ορυκτά με κυριότερο τον χρωμίτη (FeCr_2O_4), ενώ διοχετεύεται σε χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα με απόβλητα, τα οποία προέρχονται κυρίως από εργοστάσια

βυρσοδεφίας και κλωστοϋφαντουργίας, καθώς και από βιομηχανίες χρωμάτων και μεταλλουργίας. Απαντά κυρίως με τη μορφή Cr^{+2} , Cr^{+3} , Cr^{+5} και Cr^{+6} κατιόντων.

Η τρισθενής μορφή του μετάλλου (Cr^{+3}) θεωρείται απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τους οργανισμούς. Συγκεκριμένα, το Cr^{+3} συνεργάζεται με την ινσουλίνη στην ενίσχυση του παράγοντα ανοχής στη γλυκόζη και προλαμβάνει την υπογλυκαιμία. Επίσης, η τρισθενής μορφή του μετάλλου φαίνεται ότι υποστηρίζει τη δράση ενζύμων που είναι υπεύθυνα για τον μεταβολισμό της γλυκόζης για ενέργεια και επηρεάζει τον μεταβολισμό των υδατανθράκων και των λιπιδίων, βοηθώντας στην ανάπτυξη του οργανισμού (Ημερήσια δόση= 80-100 mg).

Το Cr αποτελεί σημαντικό τοξικό παράγοντα για το περιβάλλον, ειδικότερα όταν βρίσκεται με την εξασθενή μορφή του (εξασθενές χρώμιο: Cr^{+6}). Ενώ οι ενώσεις του χρωμίου είναι δυσδιάλυτες και ιζηματοποιούνται στο υδάτινο περιβάλλον, το εξασθενές χρώμιο παρουσιάζει μεγάλη διαλυτότητα, με αποτέλεσμα να θεωρείται ιδιαίτερα τοξικό και καρκινογόνο μέταλλο. Συγκεκριμένα, υπάρχουν δεδομένα που εμπλέκουν την εξασθενή μορφή του μετάλλου με την πρόκληση στομαχικών διαταραχών, εμφάνιση στομαχικού έλκους, σπασμούς, καταστροφή των νεφρών και του ήπατος που μπορεί να αποβούν μοιραίες, ανάλογα με το βαθμό έκθεσης των οργανισμών.

Χαλκός (Cu)

Ο χαλκός αποτελεί απαραίτητο ιχνοστοιχείο τόσο στα ζώα όσο και στα φυτά, λόγω της συμμετοχής του στη λειτουργία διαφόρων ενζύμων, όπως η υπεροξειδάση του κυτοχρώματος C και η υπεροξειδική δισμουτάση. Σε ορισμένα Μαλάκια και Αρθρόποδα ο χαλκός αποτελεί κύριο στοιχείο της αιμοκυανίνης, η οποία αποτελεί την μεταφορική ουσία των αναπνευστικών αερίων. Στα ανώτερα ζώα διευκολύνει την απορρόφηση σιδήρου από τον οργανισμό.

Στη φύση ο χαλκός προέρχεται κυρίως από ορυχεία και μεταλλουργεία, ενώ με τη μορφή αλάτων χρησιμοποιείται για την παρασκευή φυτοκτόνων και μυκητοκτόνων (π.χ., μίγμα $\text{CuS} + \text{CaCO}_3$ ως μυκητοκτόνο). Η αυξημένη συσσώρευση του μετάλλου στο έδαφος και στο νερό προκαλεί δυσάρεστες επιπτώσεις για τους οργανισμούς. Για παράδειγμα, στο υδάτινο περιβάλλον, ο

χαλκός απαντά κυρίως με τις μορφές $\text{Cu}(\text{OH})^+$, Cu^{+2} και CuCO_3 και είναι ιδιαίτερα τοξικός για τους υδρόβιους οργανισμούς, ακόμα και σε ελάχιστες συγκεντρώσεις (0.015-3 mg/l για μαλάκια και ψάρια). Χαρακτηριστικό είναι το φαινόμενο ρύπανσης παράκτιων οικοσυστημάτων στην Ταϊβαν (1986), όπου έντονη ήταν η εμφάνιση πράσινου χρώματος στα κελύφη στρειδιών τόσο σε καλλιέργειες όσο και σε φυσικούς πληθυσμούς και η επακόλουθη αύξηση της θνησιμότητάς τους. Η μελέτη του φαινομένου έδειξε σημαντική αύξηση των επιπέδων του μετάλλου τόσο στην υδάτινη μάζα (2000-3000 mg/l αντί για 540-730 mg/l που ήταν φυσιολογικά) όσο και στους ιστούς των στρειδιών (500 ppm ξηρού βάρους αντί για 16-337 ppm).

Στον άνθρωπο έχει βρεθεί ότι η υπερβολική απόθεση χαλκού στους ιστούς σχετίζεται με την Νόσο του Wilson, καθώς και με την εμφάνιση αναιμιών, ρήξη μεγάλων αγγείων του σώματος και διαταραχές της οστεοποίησης.

Ψευδάργυρος (Zn)

Στη φύση απελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες Zn κυρίως από βιομηχανικά απόβλητα χαλυβουργείων, από εργοστάσια επιμεταλλώσεων, καθώς και από μονάδες παραγωγής συνθετικών ινών και χαρτοπολτού. Ο ψευδάργυρος αποτελεί βασικό συστατικό πολλών μεταλλοενζύμων, πρωτεϊνών, καθώς και δομικών συστατικών των κυττάρων, ενώ αυξημένες συγκεντρώσεις του μετάλλου, ειδικότερα σε υδάτινα οικοσυστήματα, σχετίζονται με την πρόκληση διαταραχών της φυσιολογικής ομοιόστασης των υδρόβιων οργανισμών. Για παράδειγμα, τα ελεύθερα ιόντα του Zn διαλύονται στο υδάτινο μέσο εμφανίζοντας υψηλή τοξικότητα σε φυτά, και ασπόνδυλους οργανισμούς. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις ο Zn σχετίζεται με καταστροφή των βραγχίων, πρόκληση ιστολογικών αλλοιώσεων και επιβράδυνση του ρυθμού ανάπτυξης των ψαριών.

Μαγγάνιο (Mn)

Το μαγγάνιο αποτελεί βασικό ιχνοστοιχείο των οργανισμών, λόγω της συμμετοχής του στη δομική και λειτουργική ακεραιότητα διαφόρων ενζυμικών συστημάτων [π.χ. υπεροξειδική δισμουτάση του μαγγανίου (Mn-SOD), η βρίσκεται στα προκαρυωτικά κύτταρα και στα μιτοχόνδρια των ευκαρυωτικών κυττάρων]. Παρ' όλη τη χρησιμότητά του, η μεγάλη συγκέντρωση με την οποία

απαντά στο περιβάλλον, μπορεί να προκαλέσει δυσάρεστες επιπτώσεις για τους οργανισμούς. Οι κυριότερες πηγές προέλευσης του μετάλλου είναι τα ορυχεία, οι βιομηχανίες σιδήρου-χάλυβα και σιδηρομαγνανίου, καθώς και ως συνοδό μέταλλο κατά την εξαγωγή ουρανίου από μεταλλεύματα του εδάφους. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις το Mn σχετίζεται με την πρόκληση νευρολογικών διαταραχών στον άνθρωπο.

1.1.1.2 Μη απαραίτητα μέταλλα

Στην κατηγορία των μη-απαραίτητων στοιχείων ανήκουν κυρίως τα **βαρέα μέταλλα**. Πρόκειται για μέταλλα με σχετική πυκνότητα σε σχέση με το νερό μεγαλύτερη του 5 και αποτελούν κύριους περιβαλλοντικούς ρύπους. Είναι μη-βιοδιασπώμενα και συσσωρεύονται στους ιστούς των ζώων, μέσω της τροφικής αλυσίδας.

Η τοξική δράση των βαρέων μετάλλων οφείλεται κατά κύριο λόγο (α) στην ικανότητά τους να σχηματίζουν χημικές ενώσεις με τα ένζυμα των οργανισμών, παρεμποδίζοντας ή αναστέλλοντας τη δράση τους, (β) στην ικανότητά τους να αντιδρούν με κυτταρικές μεμβρανικές δομές, παρεμποδίζοντας τη διαπερατότητά τους σε ιόντα (Na^+ , K^+ , Cl^-) και οργανικά μόρια, (γ) στη συνεργατική τους δράση, η οποία αυξάνει σημαντικά την τοξικότητά τους. Ειδικότερα το κάδμιο (Cd) και ο ψευδάργυρος (Zn) μπορεί να γίνουν ιδιαίτερα τοξικά για τους οργανισμούς, προκαλώντας έλλειψη απαραίτητων μεταλλικών στοιχείων, λόγω ανταγωνιστικότητας με τα τελευταία σε θέσεις σύνδεσης και ενεργά κέντρα βιολογικών μορίων. Παρακάτω αναφέρονται περιληπτικά τα σημαντικότερα βαρέα μέταλλα που απαντούν στη φύση.

Κάδμιο (Cd)

Το κάδμιο εισέρχεται στο περιβάλλον μέσω της μετάλλευσης, από εργοστάσια πλαστικών, συσσωρευτών Ni-Cd, χρωμάτων, καθώς και από την καύση του πετρελαίου, πλαστικών, ελαστικών, απορριμμάτων, κ.λπ. Η κατανάλωση του μετάλλου σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης το έτος 1992 ξεπέρασε τους 5.000 τόνους.

Το Cd συσσωρεύεται κυρίως στα οστά, το ήπαρ και τους νεφρούς. Η μέγιστη ανεκτή εβδομαδιαία πρόσληψη Cd κυμαίνεται από 0,4-0,5 mg.

Αυξημένη πρόσληψη Cd συνοδεύεται από έλλειψη ασβεστίου και βιταμίνης D, ενώ σχετίζεται με υπέρταση, κίρρωση του ήπατος, πνευμονικό εμφύσημα και καρκίνο του πνεύμονα, εμφάνιση διάρροιας, πόνων στο στομάχι και εμέτους, κακώσεις των οστών, στειρότητα και αδυναμία αναπαραγωγής, βλάβες του Κ.Ν.Σ, φυσιολογικές διαταραχές, καθώς και βλάβες του γενετικού υλικού. Χαρακτηριστική είναι η ασθένεια Itai-itai, βασικό σύμπτωμα της οποίας είναι η συστολή και συστροφή των οστών και η δημιουργία χρωμοσωμικών μεταλλάξεων. Στο νερό, το Cd μπορεί να προσροφηθεί από αιωρούμενα σωματίδια, να σχηματίσει χημικές ενώσεις, καθώς και να καθιζάνει στο ίζημα του πυθμένα.

Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος προέρχεται κυρίως από τα απόβλητα των χυτηρίων και εργοστάσια κατασκευής μπαταριών, ενώ έντονη επιβάρυνση των υδάτινων οικοσυστημάτων παρατηρείται μετά από απόπλυση ιδιαίτερα επιβαρυσμένων εδαφών και από κατακρημνίσεις ατμοσφαιρικών ρύπων. Η χρησιμοποίηση του μετάλλου στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης το έτος 1992 έφτασε το 1.5 εκατομμύρια τόνους, ποσό που αντιστοιχεί περίπου στο 1/3 της παγκόσμιας κατανάλωσης. Η χρησιμοποίηση του Pb τείνει να περιοριστεί, λόγω της τοξικότητάς του. Το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο σε χώρους εργασίας είναι 0,1 mg/m³/ημέρα.

Η ευρεία χρήση Pb στο πετρέλαιο, καθώς και των παραγώγων του στην παρασκευή χρωμάτων, κεραμικών κ.λπ. συνετέλεσε στην κατακόρυφη αύξηση δηλητηριάσεων και νευρολογικών διαταραχών, κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα. Για παράδειγμα, οι πρώτες ενδείξεις των δυσμενών επιπτώσεων του Pb, προέρχονται από αναφορές που σχετίζονται με την πρόκληση δηλητηριάσεων από την εισπνοή πλαστικών χρωμάτων που περιείχαν Pb. Ο άνθρωπος προσβάλλεται μέσω της αναπνοής, της διατροφής και της πόσης. Αυξημένη συγκέντρωση Pb επηρεάζει το μυελό των οστών, τους μύες του στομάχου και του εντέρου, ενώ προκαλεί διαταραχές του ΚΝΣ. Επίσης, σχετίζεται με την εμφάνιση αναιμιών και γαστρεντερικών διαταραχών. Ο Pb αντικαθιστά τα ιόντα ασβεστίου στα οστά, ενώ εμποδίζει το σχηματισμό της αιμοσφαιρίνης, λόγω έλλειψης του δ-αμινολαιβουλινικού οξέος.

Στα υδάτινα οικοσυστήματα, ο Pb απομακρύνεται με ιζηματοποίηση, ενώ αυξημένη αλατότητα ευνοεί την επαναδιάλυσή του. Εμφανίζει έντονα βιοσυσσωρευτικά φαινόμενα στα κατώτερα τροφικά επίπεδα, με κύριο όργανο στόχο τα βράγχια Μαλακίων και ψαριών.

Υδράργυρος (Hg)

Ο υδράργυρος χρησιμοποιείται στη βιομηχανία παραγωγής χλωρίου-αλάλεως, ως καταλύτης στη βιομηχανία παραγωγής βινυλοχλωριδίου (πλαστικών) και ακεταλδεΐδης, μπαταριών, λαμπτήρων και χρωμάτων, καθώς και ως μυκητοκτόνο στη γεωργία. Ιδιαίτερη είναι η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων (π.χ. κάρβουνο). Η χρησιμοποίηση του μετάλλου στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης το έτος 1986 έφτασε περίπου τις 5.000 τόνους.

Ο Hg απαντά κυρίως με τη μορφή HgS, αλλά και με τη μορφή μονοσθενούς ή δισθενούς ιόντος, ενώ σχηματίζει οργανομεταλλικές ενώσεις. Οι μεθυλομορφές του υδραργύρου είναι ιδιαίτερα τοξικές και στο παρελθόν θεωρήθηκαν υπεύθυνες για την εμφάνιση νευρολογικών ασθενειών, όπως η νόσος MINAMATA.

Ο εγκέφαλος και το ήπαρ είναι τα κυριότερα όργανα αποθήκευσης του μετάλλου. Οι ενώσεις υδραργύρου, ιδιαίτερα οι λιποδιαλυτές μεθυλικές ενώσεις και τα υδατοδιαλυτά υδραργυρικά άλατα, είναι δηλητηριώδεις. Ιδιαίτερα ευαίσθητο είναι το κεντρικό νευρικό σύστημα. Οι σοβαρότερες επιπτώσεις της επίδρασης του υδραργύρου σχετίζονται με αλλοιώσεις στο στόμα, πρωτεϊνουρία με απώλεια αλβουμίνης και σφαιρίνης στο αίμα, εμφάνιση φαιο-καστανόχρωων ή κίτρινων ανακλάσεων στους οφθαλμικούς φακούς, καθώς και η εμφάνιση νευρολογικών διαταραχών.

Αρσενικό (As)

Το αρσενικό ανήκει στην κατηγορία των μεταλλοειδών στοιχείων και προέρχεται κατά κύριο λόγο από τα επιμεταλλωτήρια και από την καύση του ορυκτού κάρβουνου. Θεωρείται εξαιρετικό δηλητήριο, μιας και η έκθεση του ανθρώπου σε μεγάλες ποσότητες μπορεί να επιφέρει τον θάνατο. Επιπρόσθετα, η έκθεση για μακροχρόνιο διάστημα σε μικρές ποσότητες αρσενικού μπορεί να προκαλέσει ασθένειες όπως ο καρκίνος, ασθένειας του ήπατος, καθώς και νευρολογικά προβλήματα, απώλεια ακοής κ.α.. Ένα

χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση δηλητηρίασης που αναφέρθηκε το 1955 στην Ιαπωνία. Συγκεκριμένα, η κατανάλωση γάλατος σε σκόνη που όπως αποδείχθηκε εκ των υστέρων περιείχε σημαντικές ποσότητες As, οδήγησε σε περισσότερες από 12000 δηλητηριάσεις και 131 θανάτους, ενώ εμφανίστηκαν σημαντικά νευρολογικά προβλήματα σε νεαρά άτομα.

Επίσης ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η φυτοτοξική του δράση καθώς και η τοξικότητά του ειδικότερα για τα υπόγεια νερά που χρησιμοποιούνται είτε για άρδευση είτε για ύδρευση. Στην τελευταία περίπτωση υπάρχουν ενδείξεις ότι το συγκεκριμένο μεταλλοειδές ευθύνεται για την πρόκληση καρκίνου της ουροδόχου κύστης στον άνθρωπο.

1.1.2 Ανιόντα (νιτρικά και φωσφορικά)

Τα παράγωγα αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται σε μεγάλες ποσότητες ως νιτρικά και φωσφορικά λιπάσματα στη γεωργία. Η εκτεταμένη χρησιμοποίηση λιπασμάτων, πλούσιων σε νιτρικά και φωσφορικά ανιόντα, για τον εμπλουτισμό γεωργικών εδαφών, σε συνδυασμό με φυσιολογικές διεργασίες, όπως η απόπλυση των εδαφών με τα βρόχινα ύδατα, μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα σε υδάτινες δεξαμενές και στους υδρόβιους οργανισμούς. Για παράδειγμα, σε μεγάλες ποσότητες τα νιτρικά και τα φωσφορικά ανιόντα είναι υπεύθυνα για την εξάπλωση και επιτάχυνση φαινομένων ευτροφισμού που παρατηρούνται σε κλειστές και ημίκλειστες υδάτινες λεκάνες (λίμνες και δέλτα ποταμών).

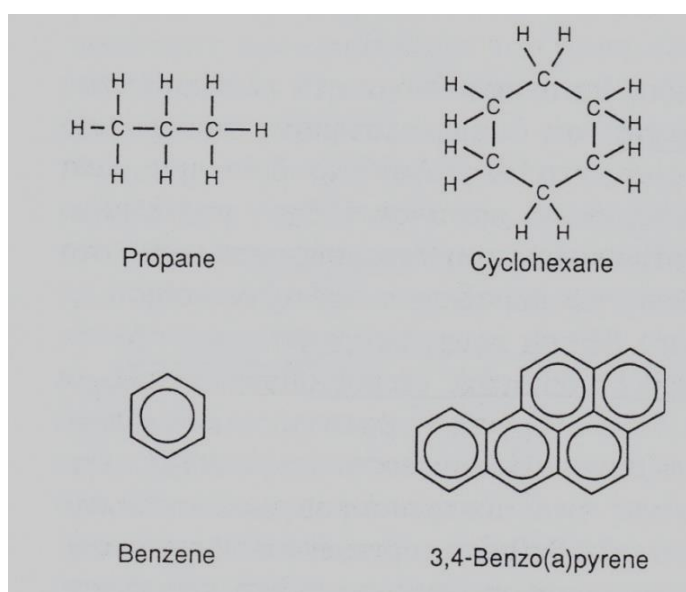
Ο άνθρωπος μπορεί να γίνει ο τελικός αποδέκτης νιτρικών και φωσφορικών ανιόντων, μέσω του πόσιμου νερού που χρησιμοποιεί από πηγές. Για αυτό το λόγο, έχουν τεθεί όρια ασφαλείας για την παρουσία νιτρικών στο πόσιμο νερό (<50 ppm), καθώς και «ζώνες αποκλεισμού» γύρω από υδάτινες πηγές που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση.

1.2 Οργανικά προϊόντα/ρύποι

Τα περισσότερα προϊόντα/παράγωγα αυτής της κατηγορίας είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης ανάπτυξης και εμφανίστηκαν στο περιβάλλον τις τελευταίες δεκαετίες. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι υδρογονάνθρακες του πετρελαίου, οι αρωματικοί πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες (PCBs, PBBs), καθώς και διάφορα οργανοχλωριωμένα προϊόντα που χρησιμοποιούνται ως εντομοκτόνα.

1.2.1 Υδρογονάνθρακες

Οι υδρογονάνθρακες, όπως μαρτυρά και η ονομασία τους, αποτελούνται από υδρογόνο και άνθρακα (**Εικόνα 2**). Παρουσιάζουν χαμηλή πολικότητα και μικρή διαλυτότητα στο νερό (υδρόφοβες ουσίες), σε αντίθεση με τους οργανικούς διαλύτες, οι οποίοι παρουσιάζουν υψηλή διαλυτότητα (λιπόφιλες ουσίες).



Εικόνα 2. Υδρογονάνθρακες. Ουσίες όπως η βενζίνη, το κυκλοεξάνιο και το 3,4-βενζο [α] πυρένιο, ανήκουν στην ομάδα των αρωματικών υδρογονανθράκων (τροποποιημένη από Toxicological Chemistry and Biochemistry, 3rd Ed.).

Οι διοχέτευση υδρογονανθράκων στο περιβάλλον οφείλεται κατά κύριο λόγο στις δραστηριότητες του ανθρώπου, στην προσπάθειά του να καλύψει της ανάγκες που απορρέουν από τον τρόπο ζωής του. Η ατελής εσωτερική καύση οργανικού υλικού που πραγματοποιείται σε κινητήρες, όπως η βενζινοκινητήρες των αυτοκινήτων, η καύση κάρβουνου, λαδιού, πετρελαίου,

δένδρων, καθώς και λιγνίτη σε θερμοηλεκτρικά εργοστάσια, αλλά και στις οικίες μας, επιβαρύνουν σημαντικά το περιβάλλον με τεράστιες ποσότητες υδρογονανθράκων. Είναι αξιοσημείωτο ότι ακόμα και το τσιγάρο αποτελεί πηγή απελευθέρωσης υδρογονανθράκων στο περιβάλλον. Παρακάτω αναλύονται συνοπτικά οι σημαντικότερες κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται οι υδρογονάνθρακες, καθώς και η χρήση τους στην καθημερινότητά μας.

1.2.1.1 Υδρογονάνθρακες πετρελαίου

Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο είναι οι μεγαλύτερες πηγές φυσικής προέλευσης των υδρογονανθράκων στο περιβάλλον (μη-αρωματικοί υδρογονάνθρακες και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες/Polycyclic Aromatic Hydrocarbons/PAHs).

Οι υδρογονάνθρακες από τους οποίους αποτελείται το πετρέλαιο διακρίνονται σε:

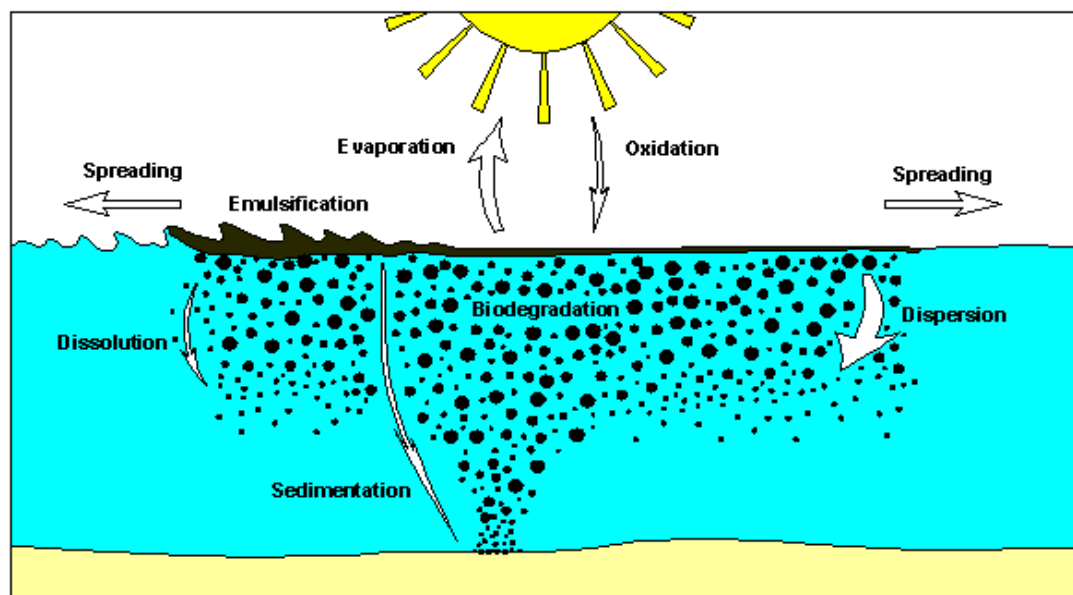
- α) ακόρεστους αλειφατικούς (ολεφίνες)
- β) κορεσμένους αλειφατικούς
- γ) αρωματικούς (βενζίνη και πολυκυκλικοί) και
- δ) ετεροκυκλικούς.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα σχετίζεται με την είσοδο πετρελαιοειδών στα υδάτινα οικοσυστήματα. Συγκεκριμένα, με την είσοδο του πετρελαίου στη θάλασσα πραγματοποιούνται διάφορες φυσικοχημικές διαδικασίες (**Εικόνα 3**), όπως:

- **Διασπορά (dispersion)**= κυρίως ελαφρών κλασμάτων πετρελαίων (κηλίδα) που διασπείρονται σε μικρό βάθος, κοντά στην επιφάνεια.
- **Εξάπλωση (spreading)** = επιφανειακή εξάπλωση της κηλίδας σε μεγάλο μήκος.
- **Εξάτμιση (evaporation)** = κυρίως των ελαφρών κλασμάτων πετρελαίου.
- **Γαλακτοματοποίηση (emulsification)** = δημιουργία γαλακτώματος μεταξύ του νερού και του πετρελαίου.
- **Διάλυση (dissolution)** = διαδικασία που πραγματοποιείται ανάλογα με το βαθμό διαλυτότητας των κλασμάτων πετρελαίου.
- **Οξείδωση (oxidation).**

- **Βιοαποικοδόμηση (biodegradation)** = από πλαγκτονικούς, βενθικούς μικροοργανισμούς, μύκητες ή νηκτόν.
- **Ιζηματοπόθεση (sedimentation)** = κυρίως βαρέων κλασμάτων πετρελαίου που επικάθονται στα ιζήματα του πυθμένα.

Με τη γαλακτοματοποίηση, το πετρέλαιο παραμένει στην υδάτινη μάζα και στα ιζήματα. Η βιοαποικοδόμηση γίνεται ταχύτερα, όταν το πετρέλαιο βρίσκεται με τη μορφή σταγονιδίων 1 μm στο υδάτινο περιβάλλον. Τελικά προϊόντα της βιοαποικοδόμησης του πετρελαίου είναι το CO₂, το νερό, θειϊκά και νιτρικά άλατα, ενώ ενδιάμεσα προϊόντα, όπως οξέα, αλειφατικές αλκοόλες και αρωματικά παράγωγα είναι επικίνδυνα για τα θαλάσσια οικοσυστήματα. Η ταχύτητα βιοαποικοδόμησης εξαρτάται από τη θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο και το ηλιακό φως.



Εικόνα 3. Φυσικοχημικές διαδικασίες που υφίσταται το πετρέλαιο μετά την είσοδό τους στα υδάτινα οικοσυστήματα (πηγή: www.itopf.com/fate.html).

Το πετρέλαιο εισέρχεται στην τροφική αλυσίδα (α) μέσω της πεπτικής οδού (είτε με τη μορφή σωματιδίων, στα οποία είναι προσροφημένοι υδρογονάνθρακες, είτε με βακτήρια, στα οποία συσσωρεύονται υδρογονάνθρακες πετρελαίου και αποτελούν τροφή για ανώτερους οργανισμούς), (β) μέσω της αναπνευστικής οδού (μέσω των βραγχίων ή των πνευμόνων). Οι υδρογονάνθρακες επιδρούν αρνητικά, αναστέλλοντας τη φωτοσυνθετική διαδικασία των φυτικών οργανισμών, π.χ., φυτοπλαγκτόν, ενώ

είναι ιδιαίτερα τοξικοί για το ζωοπλαγκτόν, τα μαλάκια, τα ψάρια, αλλά και τα πτηνά και τα θηλαστικά.

1.2.2 Αλογονομένοι πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες

1.2.2.1 Πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs)

Τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs) αποτελούν μια ομάδα ενώσεων του χλωρίου, οι οποίες διακρίνονται από το βαθμό χλωρίωσης και τη θέση των ατόμων χλωρίου στο βενζολικό δακτύλιο που περιέχουν (**Εικόνα 4**). Υπάρχουν 209 συνδυασμοί ενώσεων, με 120 από αυτούς να παρουσιάζουν σημαντική περιεκτικότητα σε χλώριο (40-60%) και να απαντούν σε εμπορικά προϊόντα, π.χ., Aroclor, Clophen, Phenoclor. Τα PCBs χρησιμοποιούνται σε υδραυλικά, σε λιπαντικά έλαια αντλιών κενού, σε αντιφλογιστικά μέσα, σε μονωτικά μετασχηματιστών και ως μέσα πλαστικοποίησης στις βαφές. Η συγκέντρωσή τους, ειδικότερα σε κλειστούς εσωτερικούς χώρους, μπορεί να ξεπεράσει κατά πολύ τα φυσιολογικά όρια με τα οποία απαντούν στην ατμόσφαιρα (**Πίνακας 2**). Λόγω της επίμονης παρουσίας τους στον αέρα η χρήση τους σε πολλές χώρες βρίσκεται υπό περιορισμό.

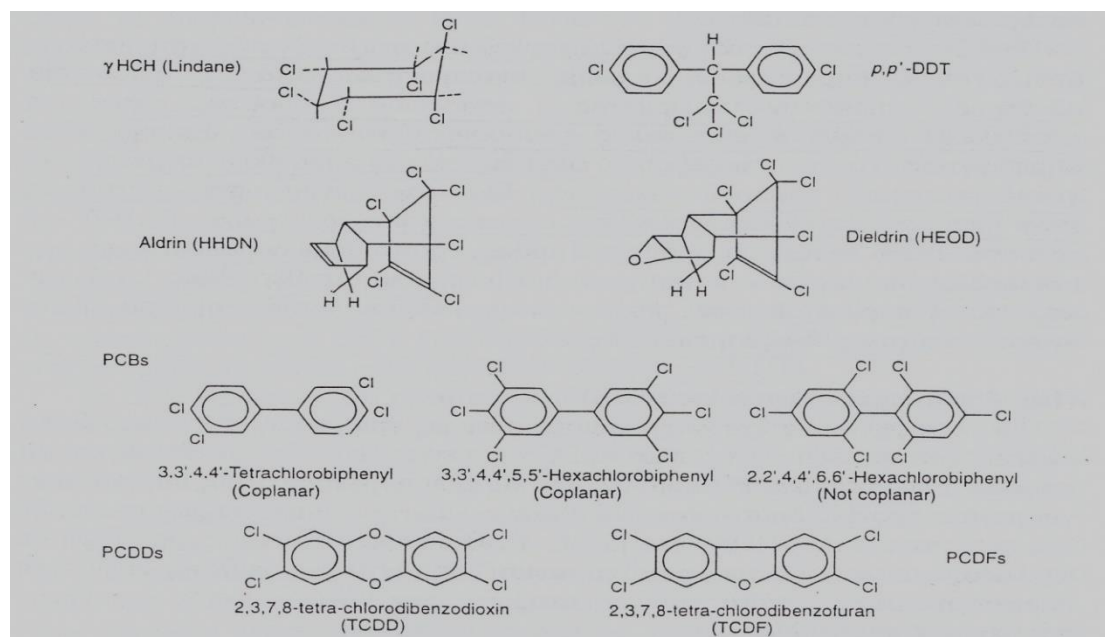
Πίνακας 2. Επίπεδα PCBs στην ατμόσφαιρα και σε επιβαρυμένους κλειστούς χώρους (τροποποιημένα από Toxicological Chemistry and Biochemistry, 3rd Edition).

Περιβάλλον	PCBs (ng/m ³)
Ατμόσφαιρα (καθαρές περιοχές)	0,003-20
Εσωτερικοί χώροι	10000

1.2.2.2 Πολυχλωριωμένες διβενζο-διοξίνες και –διβενζο φουράνια 1 (PCDDs και PCDFs)

Οι πολυχλωριωμένες διβενζο-διοξίνες και – φουράνια 1 (PCDD και PCDF αντίστοιχα) αποτελούν ενώσεις με τοξικό χαρακτήρα που περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό ισομερών (1.000-10.000). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι η ένωση 2,3,7,8-τετραχλωρο-διβενζο-διοξίνη, γνωστή **ως διοξίνη**, η οποία παρουσιάζει μεγάλη τοξικότητα στα θηλαστικά (LD₅₀ 10-200 μg/kg σε αρουραίους και ποντίκια). Προέρχονται συνήθως από τη διαδικασία

σύνθεσης χλωριούχων οργανικών ενώσεων, π.χ., πενταχλωροφαινόλη και ενώσεις χλωροφαινοξικού οξέος, από τις εξατμίσεις κινητήρων και από τον καπνό των τσιγάρων (**Εικόνα 4**).



Εικόνα 4. Τύποι αλογονομένων πολυκυκλικών υδρογονανθράκων (τροποποιημένη από Toxicological Chemistry and Biochemistry, 3rd Ed.).

1.2.2.3 Πολυβρωμομένα διφαινύλια ή πολυβρωμοδιφαινύλια (PBBS)

Τα πολυβρωμομένα διφαινύλια (PBBS) είναι λιπόφιλες, σταθερές και μη ενεργές ενώσεις που χρησιμοποιήθηκαν ως επιβραδυντές της φωτιάς, καθώς και ως πρώτη ύλη για την παρασκευή πλαστικών προϊόντων αποθήκευσης. Παρουσιάζουν μεγάλο χρόνο υποδιπλασιασμού και βιοσυσσωρευτικά φαινόμενα και σήμερα βρίσκονται υπό περιορισμό. Τα PBBS ευθύνονται για την πρόκληση καρκίνου του ήπατος, καθώς και πλήθους διαταραχών της ανθρώπινης υγείας, όπως ναυτία, ανορεξία, ασυνήθιστους πόνους στο σώμα και στις αρθρώσεις των οστών, κόπωση και αδυναμία, ενώ είναι υπεύθυνα για την εμφάνιση δερματικών παθήσεων. Τα πρώτα δεδομένα για τις δυσμενείς επιπτώσεων των PBBS προήλθαν το 1974, μετά το ατυχές συμβάν στην πολιτεία Michigan των ΗΠΑ*. Πρόσφατα δεδομένα συσχετίζουν την επίδραση των PBBS με το ενδοκρινικό σύστημα των οργανισμών, καθώς και την ικανότητά τους να λειτουργούν ως αποδιοργανωτές του τελευταίου.

* Το έτος 1973, η ατυχής διοχέτευση στην αγορά συμπληρωμάτων τροφής για κτηνοτροφικά ζώα, τα οποία περιείχαν υψηλές συγκεντρώσεις PBBs, οδήγησε σε μια πρωτοφανή οικονομική ζημιά σε περισσότερες από 500 κτηνοτροφικές μονάδες στην πολιτεία του Michigan των ΗΠΑ. Συγκεκριμένα, 30 000 βοοειδή, 4 500 χοίροι και 1,5 εκατομμύρια κοτόπουλα οδηγήθηκαν στο θάνατο, λόγω των αυξημένων συγκεντρώσεων PBBs που ανιχνεύτηκαν στο σώμα τους, ενώ καταστράφηκαν περισσότεροι από 800 τόνοι ζωοτροφής. Επιπλέον, μεγάλες ποσότητες προϊόντων, όπως τυρί (18 000 κιλά), βούτυρο (2 500 κιλά), αυγά (5 εκατομμύρια) και γάλα σε σκόνη (34 000 κιλά) καταστράφηκαν, ενώ οι Αρχές ξεκίνησαν μια τεράστια προσπάθεια παρακολούθησης των πολιτών/καταναλωτών της περιοχής, έτσι ώστε να διερευνηθούν οι επιπτώσεις των ουσιών στην Δημόσια Υγεία.

1.2.2.4 Οργανοχλωριωμένα εντομοκτόνα (OCs)

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν σημαντικές ενώσεις που προβληματίζουν ιδιαίτερα την παγκόσμια κοινότητα, λόγω της τοξικότητας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεών τους (**Εικόνα 4**). Συγκεκριμένα, η κατηγορία περιλαμβάνει μια μεγάλη ομάδα εντομοκτόνων με διαφοροποιήσεις στη δομή, τις ιδιότητες και τις χρήσεις (DDT, κυκλοδιένια π.χ., aldrin, dieldrin, και εξαχλωροκυκλοεξάνια, π.χ., lindane). Πρόκειται για στερεά, με περιορισμένη εξάτμιση, πολύ χαμηλή διαλυτότητα και υψηλή λιποφιλία. Τα περισσότερα είναι νευροδηλητήρια. Χαρακτηριστικός αντιπρόσωπος της κατηγορίας είναι το εντομοκτόνο **DDT** και οι μεταβολίτες του.

Το DDT (διχλωρο-διφαινυλο-τριχλωροαιθάνιο) είναι δραστικότερο εντομοκτόνο με σχετικά χαμηλή τοξικότητα στα θερμόαιμα ζώα (LD₅₀ 113-450 mg/kg για τα σπονδυλωτά). Χρησιμοποιήθηκε κυρίως τη δεκαετία του 1950 για την καταπολέμηση λοιμωδών νοσημάτων (ελονοσία, κίτρινος πυρετός, τύφος, κ.λπ.), καθώς και ως φυτοφάρμακο στη γεωργία, τη δασοπονία και την κηπουρική. Χαρακτηριστική ιδιότητα του DDT είναι η ραγδαία απορρόφησή του από το λεπτό έντερο και το δέρμα των οργανισμών. Αποθηκεύεται σε ιστούς πλούσιους σε λίπος και παρουσιάζει φαινόμενα βιοσυσώρευσης (χρόνος υποδιπλασιασμού περίπου 1 έτος). Ιδιαίτερη τοξικότητα παρουσιάζει ο ασταθής μεταβολίτης του *p,p*-DDE, ο οποίος μπορεί να δράσει ως οιστρογόνο

και εμπλέκεται σε περιπτώσεις ενδοκρινικής αποδιοργάνωσης (endocrine disruption).

1.2.2.5 Οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα (OPs)

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν κυρίως προϊόντα που χρησιμοποιούνται ευρέως στη γεωργία, όπως εστέρες, αμίδια, ή θειολικά παράγωγα του φωσφορικού, του φωσφονικού, του θειοφωσφορικού ή του τριφωσφορικού οξέος, με γνωστότερο αντιπρόσωπο το **παραθειό (Ε605)**.

Πρόκειται για πτητικά υγρά με λιπόφιλο χαρακτήρα, από τα οποία ορισμένα παρουσιάζουν μεγάλη διαλυτότητα στο νερό (απομάκρυνση οργανοφωσφορικής ομάδας από το μόριο της ένωσης με υδρόλυση). Τα οργανοφωσφορικά χρησιμοποιούνται επιπλέον ως παρασιτοκτόνα επαφής για την προστασία των φυτών, για την καταπολέμηση της ελονοσίας, καθώς και ως μυκητοκτόνα για την καταπολέμηση εκτο- και ενδοπαρασίτων. Δεν αποθηκεύονται στον οργανισμό και παρουσιάζουν μικρής διάρκειας οξεία τοξικότητα. Γι' αυτό το λόγο, τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιήθηκαν και ως ουσίες βιολογικού πολέμου (π.χ., sarin, soman, tabun/ουσίες με μεγάλη τοξικότητα και πτητικότητα), μιας και παρουσιάζουν έντονη νευροτοξική δράση, καταστέλλοντας τη δράση της ακετυλχολινεστεράσης (AChE) στις νευρομυϊκές συνάψεις. Αποικοδομούνται μέσω οξειδωσης, με τη βοήθεια των εξαρτώμενων από το κυτόχρωμα P-450 μονο-οξυγενασών στο ήπαρ, καθώς και με υδρολυτική διάσπαση των εστέρων με τη δράση εστερασών.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση του οργανοφωσφορικού εντομοκτόνου Chlorpyrifos (CPF), που κυκλοφόρησε το 1965 με τις κοινές εμπορικές ονομασίες Dursban και Lorsban. Πρόκειται για εντομοκτόνο ευρέως φάσματος που χρησιμοποιείται τόσο στη γεωργία όσο και την κηπουρική. Μόλις το 1995 έγιναν γνωστό ότι το συγκεκριμένο εντομοκτόνο ευθύνεται για την πρόκληση εκατοντάδων περιστατικών δηλητηρίασης στις ΗΠΑ, με αποτέλεσμα η κυβέρνηση να απαγορεύσει τη χρήση του. Σήμερα είναι γνωστό ότι το CPF αναστέλλει τη δραστηριότητα της AChE, ενώ διάφορες επιδημιολογικές μελέτες αναφέρουν ότι το συγκεκριμένο εντομοκτόνο ευθύνεται για την πρόκληση νευρολογικών και αναπτυξιακών διαταραχών σε νεογνά και ανηλίκους.

1.2.2.6 Καρβαμικά εντομοκτόνα

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν κυρίως εστέρες του καρβαμικού οξέος, οι οποίοι δρουν ως αναστολείς της AChE (παρουσιάζουν αναστρέψιμη αναστολή της δράσης του ενζύμου). Τα καρβαμιδικά συνδέονται με το ενεργό κέντρο του ενζύμου, με τρόπο παρόμοιο με τη σύνδεση της Ach, προκαλώντας αναστολή της δράσης του ενζύμου μέσω καρβαμυλίωσης.

Σήμερα τα καρβαμιδικά εντομοκτόνα αποτελούν το 19% στο σύνολο των εντομοκτόνων. Πρόκειται για στερεά ή υγρά με μεγάλη διαφοροποίηση της υδατοδιαλυτότητάς τους. Προσλαμβάνονται από τους οργανισμούς από τη στοματική οδό (σε ποσοστό 90%) και από το δέρμα, ενώ ο μεταβολισμός τους είναι γρήγορος και αποβάλλονται πλήρως. Η επικινδυνότητά τους συνδέεται με βραχυπρόθεσμη οξεία τοξικότητα (short term acute exposure). Χαρακτηριστικοί αντιπρόσωποι είναι τα aldicarb και carbofuran, τα οποία χρησιμοποιούνται ως εντομοκτόνα, αλλά και ως παρασιτοκτόνα στη γεωργία και στην καταπολέμηση της ελονοσίας (παγκόσμια κατανάλωση 20-30.000 τόνοι/έτος).

1.2.2.7 Πυρεθροειδή εντομοκτόνα

Τα πυρεθροειδή εντομοκτόνα είναι συνθετικά παράγωγα, ανάλογα των φυσικών εντομοκτόνων ουσιών του φυτού *Chrysanthemum sp.* (πυρεθρίνες). Χρησιμοποιούνται κυρίως ως γαλακτώματα σε σπρέι για την καταπολέμηση παρασίτων σε αγρούς και κηπευτικές καλλιέργειες, ως εντομοκτόνα για την προστασία υφασμάτων (ενδύματα, χαλιά), για την προστασία του ξύλου (ως υποκατάστατο του PCP και του lindane), στα νοικοκυριά (καταπολέμηση παρασίτων εσωτερικών χώρων) και στην κηπουρική. Πρόκειται για σταθερά στερεά, με πολύ χαμηλή υδατοδιαλυτότητα, ενώ η νευροτοξική τους δράση είναι ανάλογη του DDT (διαταραχή του ρυθμού πρόσληψης ιόντων Na⁺). Η απορρόφησή τους πραγματοποιείται σε μικρό βαθμό από τη στοματική οδό και ελάχιστα από το δέρμα. Μεταβολίζονται πλήρως με τη δράση εστερασών και αντιδράσεων υδροξυλίωσης με τη μεσολάβηση μονο-οξυγενασών.

1.2.2.8 Χλωροφαινόλες (OCP)

Οι χλωροφαινόλες αποτελούν σημαντικούς περιβαλλοντικούς ρύπους. Περιέχονται σε απόβλητα βιομηχανιών παραγωγής χαρτοπολλτού, ενώ

χαρακτηρίζονται από όξινες ιδιότητες, υδατοδιαλυτότητα και εύκολη διάσπαση. Σημαντικότερος εκπρόσωπος της κατηγορίας είναι η πενταχλωροφαινόλη, η οποία χρησιμοποιείται ως συντηρητικό ξύλου.

1.3 Οργανομεταλλικά συστατικά

Τα οργανομεταλλικά συστατικά αποτελούν σημαντικούς ρύπους για το περιβάλλον. Προέρχονται από την προγραμματισμένη ή τυχαία ένωση μετάλλων με οργανικά μόρια. Για παράδειγμα, η μεθυλίωση οργανομεταλλικών ενώσεων, π.χ., του υδραργύρου, τις καθιστούν ιδιαίτερα τοξικές για τους οργανισμούς, μιας και αυξάνουν τη βιοδιαθεσιμότητά τους και την πρόσληψή τους μέσω της τροφικής αλυσίδας. Σήμερα είναι γνωστό ότι οι τροποποιήσεις μετάλλων, αποτελεί μια διαδικασία με την οποία αυξάνει τη χρησιμότητά τους ως παρασιτοκτόνα.

1.4 Απορρυπαντικά

Στην κατηγορία των απορρυπαντικών ανήκουν οργανικά συστατικά με πολικό ή μη πολικό χαρακτήρα, τα οποία τείνουν να συνδέονται με μη-πολικές ενώσεις. Διακρίνονται σε (α) **ανιονικά**, (β) **κατιονικά** και (γ) και **μη-ιονικά** και χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε οικιστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες, ως υλικά παρασιτοκτόνων και ως υλικά καταπολέμησης των κηλίδων πετρελαιοειδών σε περιπτώσεις θαλάσσιων ατυχημάτων. Τα απορρυπαντικά εισέρχονται στο περιβάλλον μέσω ανεξέλεγκτων αστικών και βιομηχανικών απορρίψεων ή με τις απορρίψεις των εργοστασίων βιολογικού καθαρισμού. Η αποδόμηση μη πολικών απορρυπαντικών (πολυαιθοξυλικών αλκυλοφαινολών) μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό αλκυλοφαινολών, οι οποίες δρουν ως ενδοκρινικοί αποδιοργανωτές.

1.5 Διαφυγόντες ρύποι από χώρους ταφής απορριμμάτων

Οι χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) είναι περιοχές που δημιουργούνται για την εναπόθεση, σε μορφή στιβάδων (layers), στερεών αποβλήτων και την επικάλυψή τους με στερεό επικάλυμμα. Τα στερεά απόβλητα προέρχονται κυρίως από αστικές περιοχές και αποτελούνται από

υλικά αστικής, καθημερινής χρήσης. Τα ΧΥΤΑ διαφέρουν από τις χωματερές, στις οποίες η εναπόθεση των αποβλήτων/ απορριμμάτων, πραγματοποιείται τις περισσότερες φορές ανεξέλεγκτα.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη δημιουργία των ΧΥΤΑ είναι η διαφυγή των αποβλήτων στο περιβάλλον, μέσω της διαλυτοποίησή τους σε ρέοντα ύδατα.

Στο εσωτερικό των ΧΥΤΑ πραγματοποιούνται διάφορες διαδικασίες αποικοδόμησης, με τη συμμετοχή βακτηρίων, με αποτέλεσμα την παραγωγή βιοαερίων (μεθάνιο και CO₂) και στραγγισμάτων (leachates).

Αυτή η διαδικασία απαιτεί αυξημένη κατανάλωση οξυγόνου, με αποτέλεσμα πολύ γρήγορα να δημιουργούνται ανοξικές συνθήκες. Κατά τη διαδικασία της αποσύνθεσης των αποβλήτων δημιουργούνται όξινες συνθήκες, με πτώση της τιμής του pH, γεγονός που δίνει τη δυνατότητα σε πολλά μεταλλικά ιόντα, αδιάλυτα σε περιβάλλον με βασικό pH, να διαλυθούν στο υδάτινο μέσο. Υδάτινες εκροές, πλούσιες σε ρυπογόνους παράγοντες καλούνται στράγγισμα και δημιουργούνται με την επαφή του νερού με τα απόβλητα.

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του ΧΥΤΑ και το είδος των απορριμμάτων που δέχεται, το στράγγισμα μπορεί να είναι εξαιρετικά τοξικό. Για παράδειγμα, το στράγγισμα μπορεί να περιέχει μεγάλες ποσότητες στάχτης και οικοδομικών υλικών, τα οποία μπορεί να μεταβάλλουν σημαντικά τη χημική σύστασή του. Σε περιοχές με μεγάλες ποσότητες οικοδομικών αποβλήτων, ειδικότερα απόβλητα με μεγάλη συγκέντρωση γύψου, η αντίδραση του στραγγίσματος με το γύψο μπορεί να δημιουργήσει μεγάλες ποσότητες υδρόθειου.

Η σύνθεση των στραγγισμάτων εξαρτάται (α) από την ηλικία του ΧΥΤΑ, (β) το στάδιο βιολογικής διεργασίας στο οποίο βρίσκεται και (γ) από τον τύπο των αποβλήτων που δέχεται, τα οποία μπορεί να διακριθούν σε διαλυμένα και αδιάλυτα υλικά (**Πίνακας 3**). Σε γενικές γραμμές, τα στραγγίσματα χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές BOD (βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο), οργανικής ύλης, νιτρικών και νιτρωδών ιόντων, σιδήρου, χλωρίου, μαγγανίου και φαινολών. Ιδιαίτερα, σε χώρους που δέχονται μεγάλες ποσότητες αστικών, και βιομηχανικών αποβλήτων, με την εξαίρεση χημικών αποβλήτων, τα στραγγίσματα μπορεί να χαρακτηριστούν ως ένα υδατικό διάλυμα με 4 ομάδες ρυπογόνων ουσιών: (α) διαλυμένη οργανική ύλη (αλκοόλες, οξέα, αλδεΐδες,

σάκχαρα, κ.λπ.), (β) ανόργανα συστατικά (ανιόντα και κατιόντα, συμπεριλαμβανομένου του θείου, χλώριου, σιδήρου, αλουμινίου, ψευδαργύρου και αμμωνίας), (γ) βαρέα μέταλλα (μόλυβδος, κάδμιο, νικέλιο, χαλκός, υδράργυρος) και (δ) ξενοβιοτικά οργανικά συστατικά, όπως αλογονομένα οργανικά (PSBs, διοξίνες, κλπ.).

Η διάθεση στο περιβάλλον τοξικών μη-αποικοδομήσιμων ουσιών που περιέχονται στα στραγγίσματα μπορεί να προκαλέσει εκτεταμένη ρύπανση τόσο στο έδαφος όσο και στον υδροφόρο ορίζοντα. Διαρροές στραγγισμάτων στο υδάτινο περιβάλλον μπορεί να επιφέρουν άμεσες ή μακροχρόνιες μεταβολές στις δομές των βιοκοινοτήτων του οικοσυστήματος, ενώ έντονες είναι οι τοξικές επιδράσεις που εμφανίζονται σε υδάτινους οργανισμούς του γλυκού νερού και των παράκτιων περιοχών. Οι επιπτώσεις των μη βιοδιασπώμενων ουσιών μπορεί να γίνουν άμεσα αντιληπτές στους χερσαίους και υδρόβιους οργανισμούς που έρχονται σε επαφή, μέσω της τροφοληπτικής οδού, αλλά και σε ανώτερους οργανισμούς, όπως ο άνθρωπος, στον οποίο μεταφέρονται μέσω της τροφικής αλυσίδας. Στον **Πίνακα 4** που ακολουθεί περιγράφονται συνοπτικά οι πιθανές επιπτώσεις στον άνθρωπο, διαφόρων χημικών ουσιών που περιέχονται σε αστικά απορρίμματα, τα οποία καταλήγουν σε ΧΥΤΑ και μέσω των στραγγισμάτων, μπορεί να διαρρεύσουν στο ευρύτερο περιβάλλον.

Πίνακας 3. Ενδεικτικός πίνακας οριακών τιμών συγκεντρώσεων των σημαντικότερων συστατικών των στραγγισμάτων από τη βιβλιογραφία. (Όλες οι τιμές είναι σε mgL⁻¹, εκτός από το pH και την αγωγιμότητα mS/cm).

Παράμετρος	Εύρος τιμών	Ηλικία/Φάση ΧΥΤΑ	Πηγή
pH	4,8-5,2	<1 χρόνο	Kinman et al, 1981
	5,0-6,6	5 χρόνια	
	5,6-6,1	10 χρόνια	
	5-6,5	<2 χρόνια	Grawford et al, 1985
	6,5-7,5	>10 χρόνια	
	6,35	Οξυγένωση	Porteus, 1985
	7,9	Μεθανογένωση	
	5.12-7.8	Οξυγένωση	Robinson et al, 1993
	6.8-8.2	Μεθανογένωση	Robinson et al, 1993
	4-9	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	4,5-9	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
	4.5-7.5	Οξυγένωση	Ehrig, 1983
	7.5-9	Μεθανογένωση	
BOD	4000-30000	<2 χρόνια	Grawford et al, 1985
	<100	>10 χρόνια	
	35000	Οξυγένωση	Porteus, 1985
	18	Μεθανογένωση	
	2000-68000	Οξυγένωση	Robinson et al, 1993
	97-1770	Μεθανογένωση	Robinson et al, 1993
	60-45000	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	20-57000	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
	4000-40000	Οξυγένωση	Ehrig, 1983
	20-550	Μεθανογένωση	Grawford et al, 1985
COD	19700-45300	<1 χρόνο	Kinman et al, 1981
	137-34900	5 χρόνια	
	293-10600	10 χρόνια	
	10000-60000	<2 χρόνια	Grawford et al, 1985
	50-100	>10 χρόνια	
	59200	Οξυγένωση	Porteus, 1985
	804	Μεθανογένωση	
	2740-152000	Οξυγένωση	Robinson et al, 1993
	622-8000	Μεθανογένωση	Robinson et al, 1993
	150-20000	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	140-152000	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
	6000-60000	Οξυγένωση	Ehrig, 1983
	500-4500	Μεθανογένωση	
TOC	7300-16350	<1 χρόνο	Kinman et al, 1981
	83-9150	5 χρόνια	
	108-3080	10 χρόνια	
	1000-20000	<2 χρόνια	Grawford et al, 1985
	<100	>10 χρόνια	
	18600	Οξυγένωση	Porteus, 1985
	260	Μεθανογένωση	
	1010-29000	Οξυγένωση	Robinson et al, 1993
	184-2270	Μεθανογένωση	Robinson et al, 1993
	200-100000	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	30-29000	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002

Συνέχεια στην επόμενη σελίδα →

Ολικά στερεά	10000-30000	<1 χρόνο	Kinman et al, 1981
	718-18400	5 χρόνια	
	1920-5530	10 χρόνια	
	8000-50000	<2 χρόνια	Grawford et al, 1985
	1000-3000	>10 χρόνια	
	1000-50000	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	2000-60000	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
TSS	200-2000	<2 χρόνια	Grawford et al, 1985
	100-500	>10 χρόνια	
	221	Οξυγένεση	Porteus, 1985
	61	Μεθανογένεση	
VSS	5350-20330	<1 χρόνο	Kinman et al, 1981
	124-10300	5 χρόνια	
	770-3330	10 χρόνια	
	124	Οξυγένεση	Porteus, 1985
	7	Μεθανογένεση	
Αλκαλικότητα	4100-7700	<1 χρόνο	Kinman et al, 1981
	184-7600	5 χρόνια	
	1240-2900	10 χρόνια	
Νιτρικά (NO₃)	<0.2-18	Οξυγένεση	Robinson et al, 1993
	0.2-2.1	Μεθανογένεση	
	ίχνη-200	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
Νιτρώδη (NO₂)	0.01-1.4	Οξυγένεση	Robinson et al, 1993
	<0.01-1.3	Μεθανογένεση	
Αμμωνιακό άζωτο (NH₃-N)	880	Οξυγένεση	Porteus, 1985
	440	Μεθανογένεση	
	194-3610	Οξυγένεση	Robinson et al, 1993
	283-2040	Μεθανογένεση	
	50-2200	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
Φωσφορικά	5-100	<2 χρόνια	Grawford et al, 1985
	<5	>10 χρόνια	
	0.6-22.6	Οξυγένεση	Robinson et al, 1993
	0.3-18.4	Μεθανογένεση	Robinson et al, 1993
	0,1-100	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	50-3700	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
	1085	Μεθανογένεση	Ehrig, 1983
Χλωρίοντα	620-1880	<1 χρόνο	Kinman et al, 1981
	4,3-730	5 χρόνια	
	115-193	10 χρόνια	
	500-2000	<2 χρόνια	Grawford et al, 1985
	100-500	>10 χρόνια	
	2645	Οξυγένεση	Porteus, 1985
	3000	Μεθανογένεση	
	659-4670	Οξυγένεση	Robinson et al, 1993
	570-4710	Μεθανογένεση	Robinson et al, 1993
	100-15000	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	150-4500	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
	2120	Μεθανογένεση	Ehrig, 1983

Συνέχεια στην επόμενη σελίδα →

Θεϊκά	50-1000	<2 χρόνια	Grawford et al, 1985
	<10	>10 χρόνια	
	<5-1560	Οξυγένεση	Robinson et al, 1993
	<5-322	Μεθανογένεση	Robinson et al, 1993
	10-3000	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	8-7750	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
	70-1750	Οξυγένεση	Ehrig, 1983
	10-420	Μεθανογένεση	
Μεταλλικά ιόντα			
Cd	0,005-0,89	<1 χρόνο	Kinman et al, 1981
	<0,001-0,162	5 χρόνια	
	<0,05-0,009	10 χρόνια	
	0,012	Οξυγένεση	Porteus, 1985
	<0,02	Μεθανογένεση	
	<0.01-0.1	Οξυγένεση	Robinson et al, 1993
	<0.01-0.08	Μεθανογένεση	Robinson et al, 1993
	ίχνη-0.1	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	0.0001-0.4	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
	0.005	Μεθανογένεση	Ehrig, 1983
Cr	0,09-16,8	<1 χρόνο	Kinman et al, 1981
	0,003-0,410	5 χρόνια	
	<0,025	10 χρόνια	
	1,5	Οξυγένεση	Porteus, 1985
	0,08	Μεθανογένεση	
	0.003-0.3	Οξυγένεση	Robinson et al, 1993
	<0.03-0.56	Μεθανογένεση	Robinson et al, 1993
	ίχνη- 1.2	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	0.02-1.5	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
	0.28	Μεθανογένεση	Ehrig, 1983
Cu	0,03-0,12	<1 χρόνο	Kinman et al, 1981
	0,009-0,09	5 χρόνια	
	<0,025	10 χρόνια	
	0,04	Οξυγένεση	Porteus, 1985
	0,09	Μεθανογένεση	
	0.020-1.1	Οξυγένεση	Robinson et al, 1993
	<0.02-0.62	Μεθανογένεση	Robinson et al, 1993
	ίχνη-1	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	0,005-10	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
	0.065	Μεθανογένεση	Ehrig, 1983
Fe	308-1136	<1 χρόνο	Kinman et al, 1981
	195-1820	5 χρόνια	
	98,7-855	10 χρόνια	
	100-1000	<2 χρόνια	Grawford et al, 1985
	10-400	>10 χρόνια	
	1470	Οξυγένεση	Porteus, 1985
	3,8	Μεθανογένεση	
	48.3-2300	Οξυγένεση	Robinson et al, 1993
	1.6-160	Μεθανογένεση	Robinson et al, 1993
	ίχνη-800	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	3-5500	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
	20-2100	Acid phase	Ehrig, 1983
	3-280	Μεθανογένεση	
	Συνέχεια στην επόμενη σελίδα →		

Pb	0,077-3,15	<1 χρόνο	Kinman et al, 1981
	0,003-0,082	5 χρόνια	
	<0,05-0,08	10 χρόνια	
	0,44	Οξυγένεση	Porteus, 1985
	<0,1	Μεθανογένεση	
	<0.04-0.65	Οξυγένεση	Robinson et al, 1993
	<0.04-1.9	Μεθανογένεση	Robinson et al, 1993
	0.002-0.6	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	0.001-5	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
	0,09	Μεθανογένεση	Ehrig, 1983
Ni	0,15-0,79	<1 χρόνο	Kinman et al, 1981
	<0,005-0,342	5 χρόνια	
	0,040-0,127	10 χρόνια	
	1,8	Οξυγένεση	Porteus, 1985
	0,12	Μεθανογένεση	
	<0.03-1.87	Οξυγένεση	Robinson et al, 1993
	<0.03-0.6	Μεθανογένεση	Robinson et al, 1993
	0,02-2	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	0.015-1.3	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
	0.17	Μεθανογένεση	Ehrig, 1983
Zn	46-298	<1 χρόνο	Kinman et al, 1981
	0,18-75	5 χρόνια	
	<0,025-0,167	10 χρόνια	
	200	Οξυγένεση	Porteus, 1985
	0,18	Μεθανογένεση	
	0.09-140	Οξυγένεση	Robinson et al, 1993
	0.03-6.7	Μεθανογένεση	Robinson et al, 1993
	0,1-80	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	0.1-120	Οξυγένεση	Ehrig, 1983
	0.03-4	Μεθανογένεση	
Na	500-3000	<2 χρόνια	Grawford et al, 1985
	<200	>10 χρόνια	
	1800	Οξυγένεση	Porteus, 1985
	2220	Μεθανογένεση	
	400-4000	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	70-7700	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
	1340	Μεθανογένεση	Ehrig, 1983
K	200-1000	<2 χρόνια	Grawford et al, 1985
	50-400	>10 χρόνια	
	1650	Οξυγένεση	Porteus, 1985
	515	Μεθανογένεση	
	100-2400	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
Ca	500-2500	<2 χρόνια	Grawford et al, 1985
	100-400	>10 χρόνια	
	5050	Οξυγένεση	Porteus, 1985
	232	Μεθανογένεση	
	270-6240	Οξυγένεση	Robinson et al, 1993
	23-501	Μεθανογένεση	Robinson et al, 1993
	30-2000	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	10-7200	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
	10-2500	Οξυγένεση	Ehrig, 1983
	20-600	Μεθανογένεση	
Συνέχεια στην επόμενη σελίδα →			

Mg	400	Οξυγένεση	Porteus, 1985
	224	Μεθανογένεση	
	50-2000	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	30-15000	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
	50-1150	Οξυγένεση	Ehrig, 1983
	40-350	Μεθανογένεση	
Mn	230	Οξυγένεση	Porteus, 1985
	0,41	Μεθανογένεση	
	1.40-164	Οξυγένεση	Robinson et al, 1993
	0.04-3.59	Μεθανογένεση	Robinson et al, 1993
	ίχνη-75	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	0,03-1400	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
	0.3-65	Οξυγένεση	Ehrig, 1983
	0.03-45	Μεθανογένεση	
Hg	ίχνη- 0.05	Δ.Α.	Oeltschner, 1984
	0.00005-0.16	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002
As	0,01-1	Δ.Α.	Kjeldsen et al, 2002

Πίνακας 4. Επιπτώσεις μετά από έκθεση σε χημικές ουσίες που περιέχονται σε αστικά απορρίμματα (τροποποιημένη από Toxicological Chemistry and Biochemistry, 3rd Ed.).

Ουσία	Πηγή προέλευσης	Επιπτώσεις άμεσης έκθεσης	Επιπτώσεις μακροχρόνιας έκθεσης
Τολουένιο/ ξυλένιο	Χρώματα και πλαστικές βαφές.	Ευφορία, ρίγος, διαταραχές ΚΝΣ, σπασμοί, κόμμα.	Καρδιακές αρρυθμίες, νέκρωση ήπατος και νεφρών.
Φαινόλες	Χρώματα.	Εγκαύματα στο στόμα και στον φάρυγγα, ναυτία, διάρροια, έμετος, χλωμάδα, κατάσταση σοκ, κόμμα, εφίδρωση.	Νεφρική ανεπάρκεια.
Βενζένιο	Πρώτη ύλη χημικής βιομηχανίας, διαλυτικό.		Αιματολογικές διαταραχές.
Νικέλιο	Μπαταρίες, χρωστική κεραμικών και γυάλινων προϊόντων.	Δερματικές παθήσεις, στοματίτιδα, πιθανές διάρροιας.	
Κάδμιο	Χρώματα και μπαταρίες	Δύσπνοια, πόνοι στις αρθρώσεις, στα οστά και το στήθος, πνευμονίτιδα, πνευμονικό οίδημα, γαστρικό έλκος, ναυτία και διάρροια, διαταραχή του μεταβολισμού του ασβεστίου και του ψευδαργύρου, δερματικές παθήσεις.	Αναιμία, ηπατική βλάβη, καρκίνο του προστάτη και των πνευμόνων.
Μόλυβδος	Βαφές, αγγειοπλαστική, καλλυντικά και φαρμακευτικά σκευάσματα.	Κοιλόπονοι, διάρροια, έμετος, υπόταση, εγκεφαλική σύγχυση, κόμμα, επιπλοκές μετά από εγκεφαλικό οίδημα.	Ανορεξία, αφόρητοι πόνοι και δυσκοιλιότητα, πονοκέφαλοι, μελαγχολία, δυσλειτουργία νεφρικών σωληναρίων, χρόνια νεφρική ανεπάρκεια, υπέρταση, υπερέκπωση.
Υδράργυρος	Λάμπες, θερμόμετρα.	Νέκρωση εντερικού επιθηλίου, αιμορραγία, πρωτεϊνουρία, νεφρική ανεπάρκεια.	Κόμμα, τρέμουλο, απώλεια μνήμης, βρογχίτιδα, πνευμονικό οίδημα, έμετος, διάρροια, στοματίτιδα, αιματοουρία, οξεία νεφρική ανεπάρκεια, αχρωματοψία, θρομβοκυτοπενία, αναιμία λόγω γαστρικής αιμορραγίας.

1.6 Απόβλητα ελαιοτριβείων

Τα υγρά απόβλητα που αποτελούν παραπροϊόντα από την πλύση, την μάλαξη, τη φυγοκέντρηση και τον τελικό διαχωρισμό του ελαιολάδου από τον καρπό, είναι γνωστά ως **λιόζουμα ή κατσιγάρος**, αποτελούν στις μέρες μας ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα, κυρίως σε χώρες της Μεσογείου. Ο κατσιγάρος είναι υγρό σκούρου χρώματος (με απόχρωση από κίτρινο-πράσινο έως καφέ-μαύρο), με έντονη οσμή, οφειλόμενη κυρίως σε πτητικά οξέα. Εμφανίζει όξινο pH, υψηλή ρυθμιστική ικανότητα και επιφανειακή τάση και είναι πλούσιος σε ανόργανα και οργανικά υδατοδιαλυτά συστατικά. Η φυσικοχημική σύσταση του αποβλήτου, καθώς και οι δυσκολίες επεξεργασίας και τελικής διάθεσής του στο περιβάλλον, αποτελούν τους κυριότερους παράγοντες που σχετίζονται με τη ρυπογόνο δράση του. Συγκεκριμένα, η αμεθόδευτη διοχέτευση των αποβλήτων στο περιβάλλον προκαλεί σημαντικές αρνητικές επιδράσεις, οι οποίες σχετίζονται (α) με την παρεμπόδιση της οξυγόνωσης των υδάτων, (β) την μείωση του πορώδους του εδάφους λόγω της υψηλής περιεκτικότητας τους σε λιπαρές ουσίες, (γ) τον περιορισμό της φωτοσυνθετικής διαδικασίας σε υδρόβιους οργανισμούς και την υποβάθμιση του υδάτινου περιβάλλοντος, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των ΥΑΕ σε χρωστικές ουσίες, (δ) τη δημιουργία συνθηκών έλλειψης οξυγόνου και φαινομένων ευτροφισμού σε υδάτινους αποδέκτες λόγω των υψηλών τιμών BOD₅ και COD, (ε) την πρόκληση τοξικών επιπτώσεων σε φυτικούς και ζωϊκούς οργανισμούς.

1.6.1 Απόβλητα ελαιοτριβείων στο έδαφος

Η αμεθόδευτη διοχέτευση των συγκεκριμένων αποβλήτων στο έδαφος μπορεί να προκαλέσει παροδική όξυνση του εδάφους η οποία αποκαθίσταται με την πάροδο του χρόνου, λόγω εξουδετέρωσης της οξύτητας των αποβλήτων από τα ανθρακικά ιόντα. Επίσης υπάρχουν πολλές μελέτες που αναφέρουν σημαντική αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων ιόντων, όπως τα ιόντα K⁺, Cl⁻, SO₄⁻², NH₄⁺, ενώ παρατηρείται σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων του ολικού αζώτου και φωσφόρου, καθώς και των φαινολικών ενώσεων. Επιπλέον, το αυξημένο οργανικό φορτίο του αποβλήτου ευθύνεται για τη εμφάνιση υδροφοβικότητας στο έδαφος, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ικανότητα του πορώδους του

εδάφους να συγκρατεί και να παρέχει νερό στα φυτά. Άλλες μελέτες αναφέρουν την ικανότητα του αποβλήτου να ευνοεί την εμφάνιση μη σπορογόνων θετικών κατά gram ακτινομυκήτων, να παρεμποδίζει τη δράση βακτηρίων του γένους *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Chaetomium*, *Geotrichum*, *Rhizopus*, *Rhizoctonia*, και να επάγουν την αύξηση διαφόρων μυκήτων όπως οι *Torulopsis utilis* και στελέχη των γενών *Saccharomyces* και *Candida*.

1.6.2 Απόβλητα ελαιοτριβείων στο υδάτινο περιβάλλον

Αρκετές μελέτες καταδεικνύουν τις τοξικές επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει το απόβλητο σε πλήθος υδρόβιων οργανισμών, όπως τα ανόστρακα καρκινοειδή του γλυκού νερού *Thamnocephalus platyurus* και *Daphnia magna*, το ανόστρακο καρκινοειδές του αλμυρού νερού *Artemia fransiscana*, το μικροφύκος *Pseudokirchneriella subcapitata* (παλαιότερη ονομασία *Selenastrum capricornutum*) και το τροχόζωο *Brachionus calyciflorus*. Επιπλέον, πρόσφατες εργαστηριακές μελέτες, έχουν δείξει σημαντικές επιπτώσεις του αποβλήτου σε οργανισμούς του αλμυρού νερού, όπως τα δίθυρα μαλάκια *Mytilus galloprovincialis*.

1.7 Αέριοι ρύποι

Τα τελευταία χρόνια η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει λάβει δραματικές διαστάσεις, λόγω της αλόγιστης, χωρίς προγραμματισμό και ανεύθυνης απελευθέρωσης αέριων ρυπογόνων ουσιών στην ατμόσφαιρα. Διάφορα αέρια, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου αποτελούν τους κύριους ρύπους της ατμόσφαιρας, διαδραματίζοντας σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση σοβαρών ατμοσφαιρικών και κατ' επέκταση περιβαλλοντικών προβλημάτων. Στην Ελλάδα έχουν θεσπιστεί ανώτερα επιτρεπτά όρια των παραπάνω ρυπογόνων ουσιών στην ατμόσφαιρα (Πίνακας 5).

Παρακάτω συνοψίζονται οι κυριότεροι ρύποι της ατμόσφαιρας, καθώς και οι επιπτώσεις τους στους οργανισμούς και στο περιβάλλον.

Πίνακας 5. Επιτρεπτά επίπεδα συγκέντρωσης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον αέρα (Αλεξόπουλος, 2004).

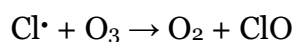
Ρυπογόνος ουσία	μg/m ³	Χρονικό διάστημα
SO ₂	500	Ημίωρη τιμή
	125	Μέση 24 ^{ωρη} τιμή
	50	Μέση ετήσια τιμή
CO	100.000	15 ^{λεπτη}
	60.000	Ημίωρη
	30.000	Ωριαία τιμή
	10.000	Μέγιστη τιμή των 8 ^{ωρων} κυλιόμενων μέσων, σε μια ημέρα
NO ₂	200	Μέγιστη 24 ^{ωρου}
	40-50	Μέση ετήσια
O ₃	180	Μέγιστη 24 ^{ωρου}
	120	Μέγιστη τιμή των 8 ^{ωρων} κυλιόμενων μέσων σε μια ημέρα

1.7.1 Όζον (O₃)

Το μόριο του όζοντος περιέχει τρία άτομα οξυγόνου (O₃) και σε αντίθεση με το οξυγόνο (O₂), είναι διαμαγνητικό και αποτελεί ελεύθερη ρίζα. Είναι ερεθιστικό, ανοικτού κυανού χρώματος, με χαρακτηριστική δριμεία οσμή, ισχυρότατο οξειδωτικό αέριο και ελάχιστα διαλυτό στο νερό. Το O₃ απαντά κυρίως στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας (>12 km), όπου σχηματίζεται με φωτοδιάσπαση του μοριακού οξυγόνου, από την υπεριώδη ακτινοβολία (UV) σε ατομικό οξυγόνο, το οποίο στη συνέχεια αντιδρά με μοριακό οξυγόνο και σχηματίζεται το όζον. Το όζον που σχηματίζεται με αυτό τον τρόπο και περιβάλλει τη γη (οζονόσφαιρα), έχει μεγάλη βιολογική σημασία, επειδή απορροφά την ακτινοβολία (UV, η οποία προκαλεί βλαπτικές επιδράσεις τους ζωντανούς οργανισμούς. Για παράδειγμα, έχει αποδειχθεί ότι η είσοδος της UV ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης ευθύνεται για την αύξηση της συχνότητας εμφάνισης καρκίνου του δέρματος και την μειωμένη φωτοσύνθεση του φυτοπλαγκτόν.

Διάφορες χημικές ενώσεις τείνουν να αποσταθεροποιούν τη δομή του O₃ στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Για παράδειγμα, μόρια χλωροφθοράνθρακα (π.χ., CF₂Cl₂, CFCl₃ κ.λπ.) απελευθερώνονται από συσκευές που περιέχουν αεριοπροωθητικά (αεροζόλ) και από υγρά ψύξης

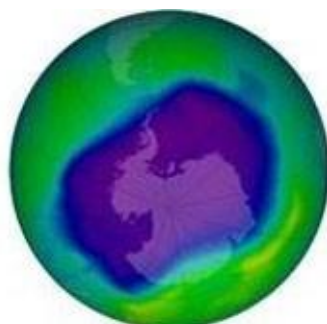
φυγείων και είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο της «τρύπας του όζοντος» (Εικόνα 5). Συγκεκριμένα, η στιβάδα του όζοντος εξαντλείται λόγω της ομολυτικής φωτοδιάσπασης των χλωροφθορανθράκων και την επακόλουθη παραγωγή ριζών του χλωρίου ($\text{Cl}\cdot$), οι οποίες αντιδρούν με το όζον και προκαλούν τη διάσπασή του.



Στον Πίνακα 6 που ακολουθεί φαίνεται ο χρόνος ζωής διαφόρων ενώσεων χλωροφθοράνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Πίνακας 6. Χλωροφθοράνθρακες που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα και χρόνος παραμονής τους (τροποποιημένη από Toxicological Chemistry and Biochemistry, 3rd Ed.).

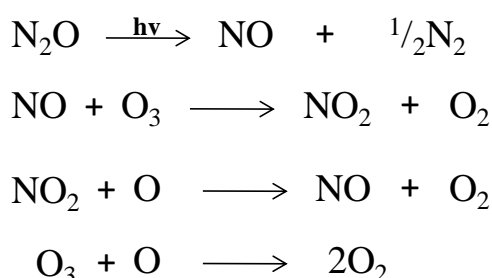
Προϊόν/Ένωση	Είδος χλωρ/κα	Χρόνος ζωής (έτη)
CFC-11	CFCl_2	52
CFC-12	CF_2Cl_2	102
CFC-13	CClF_3	640
CFC-113	$\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$	85
CFC-114	$\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$	300
HCFC-22	CF_2HCl	13.5
HCFC-123	$\text{C}_2\text{F}_3\text{HCl}_2$	1.4
HCFC-124	$\text{C}_2\text{F}_4\text{HCl}$	5.9
HFC-23	CHF_3	250



Εικόνα 5. Η τρύπα του όζοντος (μωβ χρώμα), όπως καταγράφηκε το 2006 από τους δορυφόρους της NASA (πηγή: www.geo.auth.gr).

Η αυξημένη μείωση της στιβάδας του όζοντος που παρατηρείται πάνω από την Ανταρκτική σχετίζεται με την αποτροπή της ανταλλαγής αέριων μαζών με τα μέσα γεωγραφικά πλάτη, λόγω των χειμερινών πολικών στροβίλων της στρατόσφαιρας. Οι χαμηλές θερμοκρασίες που δημιουργούνται (-80°C) ευνοούν τη γένεση πολικών στρατοσφαιρικών νεφών από τμήματα πάγου, τα οποία απορροφούν τις ενώσεις αζώτου, οι οποίες με την ηλιακή ακτινοβολία και τους υδρατμούς μετατρέπονται σε ενεργές ενώσεις χλωρίου και βρωμίου, οι οποίες διασπούν τα μόρια του όζοντος.

Εκτός από τους χλωροφθοράνθρακες, έχει διαπιστωθεί ότι το N_2O (διάρκεια ζωής 120 έτη) μειώνει το όζον μέσω μιας σειράς αντιδράσεων που πραγματοποιούνται στη στρατόσφαιρα:



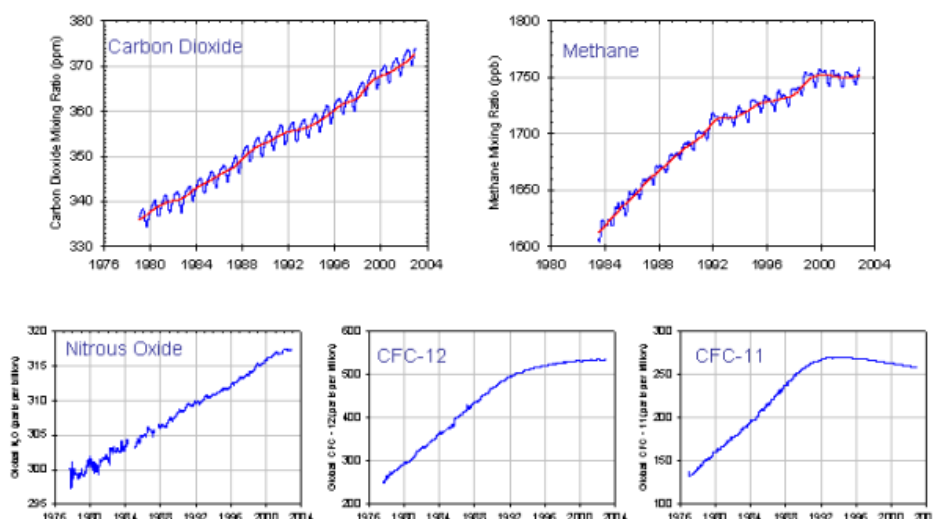
Συγκεκριμένα, το N_2O φωτολύεται και παράγει NO , το οποίο ενώνεται με το O_3 και σχηματίζει NO_2 και O_2 . Παράλληλα το NO_2 αντιδρά με το ατομικό οξυγόνο και σχηματίζει NO και μοριακό οξυγόνο. Τέλος το O_3 αντιδρά με το ατομικό οξυγόνο και σχηματίζει μοριακό (O_2).

Στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας το όζον είναι ο κύριος παράγοντας του φωτοχημικού νέφους. Παράγεται όταν οξείδια του αζώτου που προέρχονται από την καύση των κινητήρων των αυτοκινήτων αντιδρούν με υδρατμούς της ατμόσφαιρας παρουσία ηλιακού φωτός. Το όζον αυτής της προέλευσης προκαλεί φλεγμονές των αναπνευστικών επιθηλίων των ζώων, ενώ μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη των φυτών.

1.7.2 Οξείδια του άνθρακα (CO_2 & CO)

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) είναι ανόργανη χημική ένωση. Το καθαρό CO_2 είναι άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο, βαρύτερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Τα τρία τέταρτα της ανθρωπογενούς παραγωγής CO_2 , οφείλεται σε χρήση ορυκτών καυσίμων (κάρβουνου, πετρελαίου, βενζίνης, φυσικού αερίου), αλλά και του ξύλου, πλαστικών και άλλων οργανικών ενώσεων. Αυτό, σε

συνδυασμό με τη χημική του σταθερότητα και αδράνεια καθιστά το μόριο του CO₂ που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα ως τον κυριότερο παράγοντα διαιώνισης του φαινομένου του θερμοκηπίου*. Συγκεκριμένα, η αύξηση του CO₂ ήταν 31% την περίοδο 1750-1998, ενώ μεγάλη αύξηση παρατηρείται τα τελευταία χρόνια και σε άλλα αέρια του θερμοκηπίου**, όπως μόρια χλωροφθορανθράκων, μεθάνιο και οξειδία του αζώτου (**Εικόνα 6**). Για το λόγο αυτό, το φαινόμενο του θερμοκηπίου με τη συνακόλουθη παγκόσμια θέρμανση αποτελεί το σημαντικότερο και δύσκολα αντιμετωπίσιμο παγκόσμιο περιβαλλοντικό πρόβλημα στις ημέρες μας, μιας και υπάρχουν πολλές απόψεις σχετικά με τα αίτια δημιουργίας του φαινομένου, καθώς και προβληματισμοί σχετικά με τη συμμετοχή του CO₂ στην επαγωγή του φαινομένου (Lindzen, 2010).



Εικόνα 6. Αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών (πηγή: <http://upload.wikimedia.org>).

* Η συνολική ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται η Γη στο όριο της ατμόσφαιρας αντιστοιχεί σε 1366 W/m². Από αυτό το ποσό, ένα μέρος απορροφάται από το σύστημα Γης-ατμόσφαιρας, ενώ το υπόλοιπο διαφεύγει στο διάστημα. Από το ποσό της εισερχόμενης ακτινοβολίας που απορροφάται, το 30% ανακλάται, ενώ το 70% της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται, (κατά

16% από την ατμόσφαιρα, συμπεριλαμβανομένου και του στρατοσφαιρικού στρώματος του όζοντος, κατά 3% από τα νέφη και κατά 51% από την επιφάνεια και τους ωκεανούς). Σε αντίθεση με την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία είναι ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος, η Γη, λόγω της θερμοκρασίας της, εκπέμπει θερμική ακτινοβολία (κατά τρόπο ανάλογο με τον Ήλιο), η οποία αντιστοιχεί σε μεγάλα μήκη κύματος. Περίπου το 86% της κατακρατούμενης από την ατμόσφαιρα γήινης ακτινοβολίας, οφείλεται στην παρουσία υδρατμών (H_2O), διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και νεφών. Οι υδρατμοί αποτελούν το πλέον ενεργό συστατικό, κατά ποσοστό 60%, ενώ μικρότερη συνεισφορά έχουν και τα αέρια μεθανίου (CH_4), οξειδίου του νατρίου (N_2O) και όζοντος (O_3) (περίπου 8%). Η γήινη ατμόσφαιρα, συμπεριφέρεται με τον τρόπο αυτό, ως μία δεύτερη - μαζί με τον Ήλιο - πηγή θερμότητας. Αποτέλεσμα του συνολικού φαινομένου είναι η αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας, γεγονός που καθιστά τη Γη κατοικήσιμη. Χωρίς το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας θα ήταν σε παγκόσμια και ετήσια βάση περίπου $-18^{\circ}C$. Ο μηχανισμός του φαινομένου ταυτίζεται συχνά με τη λειτουργία ενός πραγματικού θερμοκηπίου, ωστόσο η ταύτιση αυτή αποτελεί υπεραπλούστευση, καθώς τα θερμοκήπια στηρίζονται στην "απομόνωση" της θερμότητας και την εξάλειψη φαινομένων μεταφοράς της.

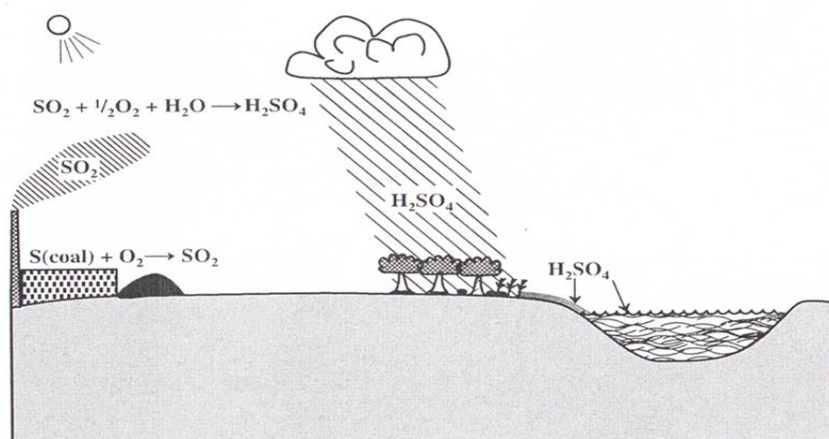
** Όλα τα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας που διαδραματίζουν κάποιο ρόλο στην εμφάνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου καλούνται με τον όρο αέρια του θερμοκηπίου. Χαρακτηριστική τους ιδιότητα είναι η απορρόφηση της μεγάλου μήκους κύματος γήινης ακτινοβολίας και η επανεκπομπή θερμικής ακτινοβολίας, διαδικασία με την οποία συμβάλλουν στη θέρμανση της γήινης επιφάνειας. Από την άλλη μεριά, ορισμένα αέρια, όπως το όζον, λόγω της αδιαφάνειας που παρουσιάζουν, απορροφούν μόνο ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να συμβάλλουν σε ένα βαθμό και στην ψύξη της επιφάνειας της Γης.

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) προέρχεται από την ατελή καύση των υδρογονανθράκων που πραγματοποιείται σε αυτοκίνητα, μονάδες θέρμανσης και σε βιομηχανίες. Είναι ελάχιστα διαλυτό στο νερό, άχρωμο και άοσμο και απαντά κυρίως στα χαμηλά στρώματα της τροπόσφαιρας. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις στο κέντρο πολυσύχναστων δρόμων ξεπερνούν τα 100 mg/cm^3 .

Η πιο σπουδαία πηγή ατμοσφαιρικού CO εκτός από τις μηχανές εσωτερικής καύσης, είναι η οξειδωση του μεθανίου που παράγει το 80% περίπου του CO που μετράται εκτός κατοικημένης περιοχής.

1.7.3 Διοξείδιο του Θείου (SO₂)

Το διοξείδιο του θείου (SO₂) παράγεται από ηφαιστειακές εκρήξεις και από την καύση υγρών και στερεών καυσίμων. Συγκεκριμένα, το SO₂ απελευθερώνεται από τις καύσεις των καμίνων παραγωγής μετάλλων, των εργοστασίων ηλεκτροπαραγωγής, και των οχημάτων ντίζελ (**Εικόνα 7**). Με τη διάλυση στο νερό σχηματίζονται θειώδη και θειϊκά οξέα τα οποία αποτελούν τα κύρια συστατικά της **όξινης βροχής***. Τα αέρια της καύσης σε πολλές περιπτώσεις παρασύρονται από τους ανέμους και ταξιδεύουν μέχρι χιλιάδες χιλιόμετρα προτού πέσουν σαν όξινη βροχή. Οι πιο απειλούμενες περιοχές του κόσμου σήμερα είναι ο Καναδάς, οι ανατολικές και δυτικές πολιτείες των ΗΠΑ, η Σκανδιναβία και η Ιαπωνία. Το πρόβλημα του Καναδά οφείλεται στα καυσαέρια της κοιλάδας του Οχάιο των Η.Π.Α. Για τη Σκανδιναβία την κύρια ευθύνη έχουν η Αγγλία, η Γερμανία και η Πολωνία.



Εικόνα 7. Σχηματική αναπαράσταση της δημιουργίας θειϊκών οξέων, μέσω της εκπομπής διοξειδίου του θείου, από την καύση καμίνων παραγωγής μετάλλων (Toxicological Chemistry and Biochemistry, 3rd Ed.).

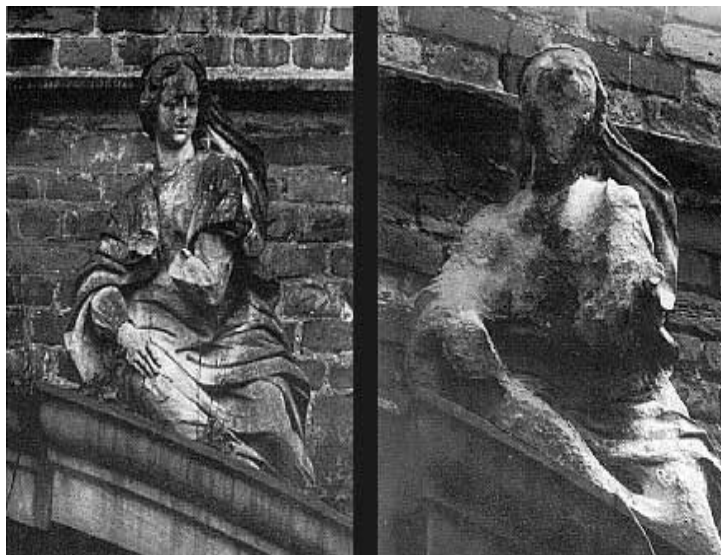
* Η αντίδραση του διοξειδίου του θείου (SO_2) και των οξειδίων του αζώτου με τους υδρογονάνθρακες στα σύννεφα συμβάλλει στη δημιουργία της όξινης βροχής. Προϊόντα αυτής της αντίδρασης είναι το θειικό και νιτρικό οξύ, τα οποία πέφτουν με τη βροχή στο έδαφος, τις λίμνες, τα ποτάμια και τα δάση. Η βροχή, χάρη στην παρουσία τους, παρουσιάζει έντονα όξινα χαρακτηριστικά.

Η όξινη βροχή προσβάλλει (α) τα μάρμαρα, τους ασβεστόλιθους, τον βασάλτη και άλλα πετρώματα (Εικόνα 8), (β) τα δάση της Κεντρικής Ευρώπης, (γ) το δέρμα και τους πνεύμονες του ανθρώπου, (δ) τα ψάρια σε λίμνες και ποτάμια., (ε) τη γεωργία κ.λπ.

Οι πρώτες υποψίες για τη δράση της όξινης βροχής υπήρχαν ήδη από τη δεκαετία του 1950. Το 1959 ο Νορβηγός Α. Dannevig παρατήρησε ότι η οξύτητα των λιμνών ευθυνόταν για τη μείωση του αριθμού των ψαριών σε όξινες λίμνες.

Στη Δυτική Βιρτζίνια μετρήθηκε οξύτητα της βροχής με pH 1,5 ή περίπου 10.000 φορές μεγαλύτερη από την οξύτητα της φυσικής βροχής. Αυτή η οξύτητα ήταν μεγαλύτερη από την οξύτητα χυμού λεμονιού. Το 1974 στη Σκωτία μια θύελλα έφερε βροχή οξύτητας με pH 2,4 που αντιστοιχεί σε πολύ σκληρό ξύδι.

Ο Παρθενώνας επιβίωσε περισσότερο από 2000 χρόνια. Δεν έπαθε όμως διάβρωση ούτε μεγάλες κακώσεις. Μέσα στις τελευταίες δεκαετίες έγιναν πολύ περισσότερα από ό,τι σε δύο χιλιετίες. Παρόμοιες επιπτώσεις εμφανίζονται και σε άλλα μνημεία, όπως ο Άγιος Πέτρος στο Βατικανό, το περίφημο Τατζ Μαχάλ της Ινδίας, ο αρχαίος αιγυπτιακός οβελίσκος, «Βελόνα της Κλεοπάτρας» στη Νέα Υόρκη, κ.λπ.



Εικόνα 8. Οι επιπτώσεις της όξινης βροχής σε ένα γλυπτό του πύργου Χέρτεν στη Βεσφαλία της Γερμανίας (δεξιά εικόνα). Στην αριστερή εικόνα φαίνεται η κατάσταση του γλυπτού το έτος 1908, στην οποία απεικονίζεται ένα περίτεχνο άγαλμα κοριτσιού (πηγή: <http://dim-sapon.rod.sch.gr>).

1.7.4 Αιωρούμενα σωματίδια (*particulate matters/PMs*)

Ως αιωρούμενο σωματίδιο (Suspended Particulate Matter, SPM) χαρακτηρίζουμε κάθε σώμα, στερεό ή υγρό, εκτός του ύδατος, που βρίσκεται σε διασπορά και έχει διάμετρο 0,0002-500 μm . Η προέλευση τους είναι φυσική, π.χ., ηφαιστεια, πυρκαγιές δασών, σωματίδια άλατος από τη θάλασσα, χώμα, βακτήρια και οργανικά σωματίδια, γύρη φυτών κ.λπ., ενώ ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ανθρωπογενή προέλευση των σωματιδίων. Πράγματι τα τελευταία χρόνια, τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους ρύπους της ατμόσφαιρας των κατοικημένων περιοχών. Μπορεί να αποτελούνται από πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, βαρέα μέταλλα, οργανοφωσφορικά συστατικά και μίγματα ρυπογόνων ουσιών, ανάλογα με το χώρο από τον οποίο προέρχονται. Κατάλοιπα της ατελούς καύσης σε βενζινοκινητήρες και πετρελαιοκινητήρες, βιομηχανικές δραστηριότητες, η καύση λιγνίτη και άλλων μορφών στερεού άνθρακα, αποτελούν τις κυριότερες πηγές ανθρωπογενούς προέλευσης των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.

Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορεί να μεταφερθούν με τον αέρα σε μεγάλες αποστάσεις, αρκετά μακριά από το χώρο δημιουργίας τους, όπου και καθιζάνουν λόγω του βάρους τους. Σήμερα θεωρούνται ως ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα για τη Δημόσια Υγεία, μιας και έχει αποδειχθεί ότι αποτελούν κύριους ρύπους της ατμόσφαιρας με έντονη τοξικότητα. Μελέτες έχουν δείξει ότι σωματίδια μικρότερα των 10 μm (PM10) μπορούν να περάσουν στους πνεύμονες και να προκαλέσουν σημαντικά αναπνευστικά και καρδιολογικά προβλήματα.

1.7.5 Υδρογονάνθρακες (*CxHy*)

Το μεθάνιο και οι μη-μεθανιούχοι υδρογονάνθρακες αποτελούν τους κυριότερους αέριους ρύπους. Οι μη-μεθανιούχοι υδρογονάνθρακες ονομάζονται VOC (Volatile Organic Compounds/Πτητικές Οργανικές ενώσεις). VOC ονομάζεται η πτητική οργανική ένωση, η οποία όταν εισέλθει στην ατμόσφαιρα μπορεί να παραμείνει σ' αυτή για τόσο χρονικό διάστημα όσο απαιτείται για να πάρει μέρος σε φωτοχημικές αντιδράσεις.

Οι δραστικότεροι υδρογονάνθρακες είναι αυτοί που περιέχουν πολλαπλούς δεσμούς. Εξαιρετικής σπουδαιότητας είναι οι πολυκυκλικοί

αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs), που είναι προϊόντα πυρόλυσης της οργανικής ύλης. Παραμένουν στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας για μακρύ χρονικό διάστημα και είναι εξαιρετικά επικίνδυνοι για την υγεία. Μερικοί σημαντικοί πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες είναι το βενζόλιο, το τολουόλιο, τα ξυλόλια, το πυρένιο, το ανθρακένιο, το βενζο(α)πυρένιο και το βενζο(α)ανθρακένιο. Η βιολογική δράση αυτών των υδρογονανθράκων είναι εξαιρετικά τοξική, μιας και έχει βρεθεί να εμπλέκονται στην επαγωγή κυτταροτοξικών φαινομένων και καρκινογένεσεων, ενώ παρουσιάζουν ισχυρή μεταλλαξιγόνο δράση.

1.8 Ακτινοβολίες

Οι ακτινοβολίες διακρίνονται σε (α) **ιονίζουσες ή ιοντίζουσες ακτινοβολίες**, δηλαδή ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες με υψηλή ενέργεια, π.χ., ακτίνες γ ή ακτίνες σωματιδίων (ακτίνες α, β, πρωτονίων, νετρονίων ή βαρέων ιόντων), οι οποίες ιονίζουν την ύλη στην οποία προσπίπτουν και (β) **μη-ιονίζουσες ή μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες**, δηλαδή ακτινοβολίες με πολύ μικρό μήκος κύματος, όπως οι υπεριώδεις, αυτές των ραντάρ, των λέιζερ, των ραδιοκυμάτων και μικροκυμάτων, καθώς επίσης και οι ακτινοβολίες των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων.

1.8.1 Ιονίζουσες ή ιοντίζουσες ακτινοβολίες/ Ραδιενέργεια

Οι ιονίζουσες (ή ιοντίζουσες) ακτινοβολίες που δέχονται οι οργανισμοί προέρχονται από φυσικές και τεχνητές πηγές ακτινοβολίας. Στις φυσικές πηγές εντάσσεται η πρωτογενής και δευτερογενής κοσμική ακτινοβολία. **Η πρωτογενής κοσμική ακτινοβολία** προέρχεται από το σύμπαν (ή τον ήλιο) και περιέχει μεγάλο ποσοστό πρωτονίων και α-σωματιδίων και μικρό ποσοστό βαρέων πυρήνων και ηλεκτρονίων. **Η δευτερογενής κοσμική ακτινοβολία** προέρχεται από την πρόσκρουση ελεύθερων πρωτονίων με υψηλή ενέργεια σε ατομικούς πυρήνες, στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα το σχηματισμό δευτερογενών σωματιδίων που τελικά μετά από μετασχηματισμό ελευθερώνουν διάφορα είδη ακτίνων. Η δευτερογενής ακτινοβολία περιέχει μεσόνια υψηλής ενέργειας που μπορούν να διαπεράσουν ακόμη και τοίχους από μπετόν.

Οι ιονίζουσες ακτινοβολίες μπορεί να επάγουν τη δημιουργία ελεύθερων ριζών και υπεροξειδίων μέσα στο σώμα των οργανισμών, προκαλώντας γενετικές βλάβες, μεταλλάξεις, καθώς και καρκινογενέσεις. Η εξωτερική έκθεση του οργανισμού σε ακτινοβολία προέρχεται από ακτινοβολήσεις διαφόρων υλικών του περιβάλλοντος και πρόσληψη από πηγές που σχετίζονται με υλικά δόμησης και παραμονή μέσα σε οικίες. Άλλες πηγές έκθεσης και επιβάρυνσης των οργανισμών είναι οι ιατρικές και τεχνολογικές εφαρμογές, τα πειράματα πυρηνικών όπλων, καθώς και η λειτουργία και τα ατυχήματα πυρηνικών εργοστασίων. Η εσωτερική έκθεση των οργανισμών αφορά την πρόσληψη φυσικών ραδιενεργών ουσιών με βρώση και εισπνοή, όπως τα: ραδόνιο ^{222}Rn (κυρίως βλάβες του αναπνευστικού συστήματος), ^{14}C (ισομερής κατανομή στο σώμα ανώτερων οργανισμών), ^{40}K , ράδιο (^{226}Ra , σε οστά) και τρίτιο (^3H). Η φύση και η ένταση του ραδιενεργού, η ημιζωή των ισοτόπων και η βιοχημεία της ραδιενεργού πηγής καθορίζουν την τοξική δράση των ραδιοϊσοτόπων στους οργανισμούς.

1.8.1.1 Ραδιενέργεια

Ραδιενέργεια ονομάζεται η ακτινοβολία που εκπέμπεται κατά τη ραδιενεργό αποσύνθεση (διάσπαση) ασταθών πυρήνων (νουκλιδίων*) προς σταθερότερους πυρήνες. Η διάσπαση ακολουθείται από εκπομπή σωματιδίων και (όχι πάντα) ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα σωματίδια και η ακτινοβολία συνιστούν τη ραδιενέργεια. Οι ραδιενεργές διασπάσεις δεν επηρεάζονται από μεταβολές της θερμοκρασίας και της πίεσης, αλλά ούτε και από μεταβολές της χημικής και φυσικής κατάστασης της διασπώμενης ουσίας.

* Κάθε άτομο περιέχει στο κέντρο του έναν εξαιρετικά πυκνό, θετικά φορτισμένο πυρήνα, που έχει μέγεθος πολύ μικρότερο από το συνολικό μέγεθος του ατόμου, αλλά περιέχει σχεδόν όλη τη μάζα του. Οι βασικοί δομικοί λίθοι του πυρήνα είναι τα πρωτόνια και τα νετρόνια. Σε ένα ουδέτερο άτομο, ο ολικός αριθμός των πρωτονίων ισούται με τον αριθμό των ηλεκτρονίων και ονομάζεται ατομικός αριθμός, Z . Ο αριθμός των νετρονίων, ονομάζεται νετρονικός, N και σε κάθε πυρήνα το άθροισμα των δύο αποτελεί το μαζικό αριθμό A :

$$A = Z + N$$

Κάθε ξεχωριστό είδος πυρήνα, με συγκεκριμένες τιμές Z και N , ονομάζεται **νουκλίδιο**. Η σταθερότητα ή η αστάθεια ενός νουκλιδίου

καθορίζονται από τον ανταγωνισμό μεταξύ ελκτικών πυρηνικών δυνάμεων, μεταξύ πρωτονίων και νετρονίων και των απωστικών ηλεκτρικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των πρωτονίων. Ένας πυρήνας είναι ασταθής όταν είναι αρκετά μεγάλος ($Z > 83$ ή $A > 209$) ή όταν ο λόγος N/Z δεν είναι κατάλληλος. Οι δυνάμεις που συγκρατούν τους δομικούς λίθους του πυρήνα σε στενή σύνδεση, αποτελούν παράδειγμα ισχυρής αλληλεπίδρασης, η οποία ονομάζεται πυρηνική δύναμη.

Από τα 2500 περίπου γνωστά νουκλίδια λιγότερα από 300 είναι σταθερά, ενώ το 90% είναι ραδιενεργά, ασταθείς δομές δηλαδή που διασπώνται και σχηματίζουν άλλα νουκλίδια εκπέμποντας σωματίδια (α , β , νετρόνια, φωτόνια κ.α.) και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Τα εκπεμπόμενα σωματίδια και η ακτινοβολία συνιστούν την **ραδιενέργεια**.

Μονάδες μέτρησης ραδιενέργειας

Οι μονάδες μέτρησης της ραδιενέργειας καθορίζονται με βάση τα χαρακτηριστικά και τις επιπτώσεις της ραδιενεργής έκθεσης στους οργανισμούς. Κύρια μονάδα μέτρησης του επιπέδου της ραδιενέργειας ενός υλικού είναι η μονάδα Curie (Ci), η οποία εκφράζει την ποσότητα της ουσίας που υφίσταται $3,7 \times 10^{10}$ ραδιενεργές διασπάσεις/sec, ενώ η μονάδα Becquerel (Bq) ισούται με μια ραδιενεργή διάσπαση/sec. Οι μονάδες που εκφράζουν την απορροφούμενη ακτινοβολία από έναν οργανισμό είναι το Rad, μονάδα μέτρησης της δόσης της ραδιενέργειας που απελευθερώνει 10^{-2} J ενέργειας/kg βάρους του σώματος που απορροφά και η μονάδα Gray (Gy), η οποία εκφράζει την απορρόφηση ενέργειας 1 J/Kg βάρους σώματος. Οι μονάδες που εκφράζουν την απορροφούμενη ακτινοβολία από έναν οργανισμό σε σχέση με τις βιολογικές επιπτώσεις που προκαλούν είναι η μονάδα Rem, η οποία εκφράζει την ποσότητα της ακτινοβολίας που επιφέρει ένα συγκεκριμένο βιολογικό αποτέλεσμα (μέγιστο επιτρεπτό όριο ακτινοβολίας για τον ανθρώπινο οργανισμό = 0,5 rem/έτος).

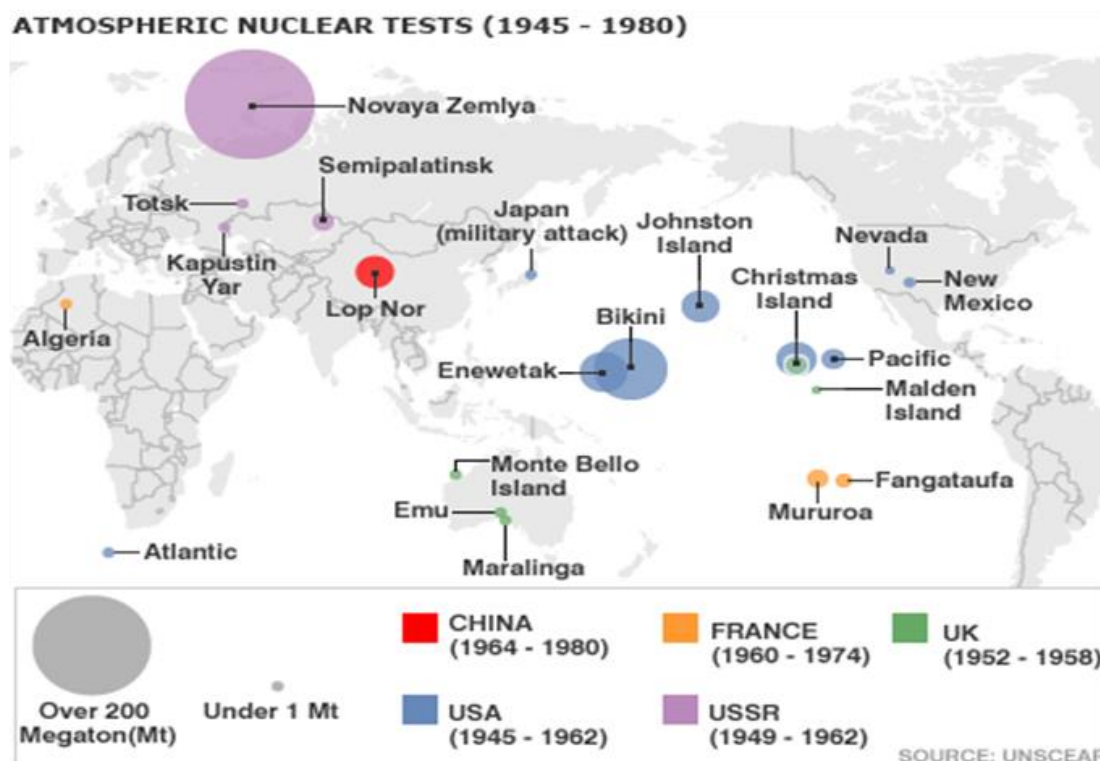
Ραδιενέργεια και θαλάσσια οικοσυστήματα

Η έκλυση ραδιενέργειας είναι ένα φυσικό φαινόμενο και προέρχεται από τα πετρώματα ραδιενεργών υλικών του εδάφους και των θαλάσσιων υδάτων, τα οποία έχουν φυσική ραδιενεργό δράση, λόγω της παρουσίας ^{40}K και

προϊόντων διάσπασης ουρανίου (U) και θορίου (Th), ενώ σημαντική πηγή εισόδου ραδιενεργών στοιχείων (τρίτιο ^3H) αποτελούν οι κοσμικές ακτινοβολίες.

Τις τελευταίες δεκαετίες σημαντικές ποσότητες υγρών αποβλήτων χαμηλής ραδιενέργειας έχουν απορριφθεί στη θάλασσα από πυρηνικούς αντιδραστήρες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ραδιονουκλίδια των βαρέων μετάλλων έχουν μικρή διαλυτότητα στο νερό και συγκεντρώνονται στη σωματιδιακή ύλη που συσσωρεύεται στα ιζήματα των νερών. Τα νερά των ωκεανών έχει επίπεδα ραδιενέργειας, περίπου, 12.6 Bq/l (Becquerel, μία ραδιενεργός διάσπαση ανά δευτερόλεπτο), ενώ η θάλασσα άμμος 200-400 Bq/l. Τα φυσικά επίπεδα ραδιενέργειας στα επιφανειακά νερά των θαλασσών είναι κυρίως από Κάλιο-40 (11,8 Bq/l) και τα υπόλοιπα από ^3H , ^{87}Rb , ^{238}U , ^{235}U και ^{234}U , ^{14}C , ^{228}Ra και ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{222}Rn , κ.λπ.

Οι πυρηνικές και θερμοπυρηνικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν τις ΗΠΑ και την πρώην Σοβιετική Ένωση κατά την περίοδο 1945-1963, όταν και υπογράφηκε η συνθήκη κατάπαυσης των δοκιμών, αποτέλεσαν τις κυριότερες πηγές ραδιενεργού ρύπανσης των θαλασσών. Από τότε μέχρι το 1974 δοκιμές πυρηνικών όπλων στην ατμόσφαιρα έγιναν από τη Γαλλία στο Αρχιπέλαγος Tuamotu (Mururoa) στον Ειρηνικό Ωκεανό και από την Κίνα. Από το 1974 οι πυρηνικές δοκιμές πραγματοποιούνται υπογείως, με αποτέλεσμα να περιορισθούν σημαντικά οι εκπομπές στην ατμόσφαιρα και τα νερά (**Εικόνα 9**).



Εικόνα 9. Περιοχές του πλανήτη, όπου πραγματοποιήθηκαν πυρηνικές δοκιμές (πηγή: www.nuclearfiles.org).

Διάφορα πυρηνικά ατυχήματα των τελευταίων δεκαετιών (Three Mile Island, Chernobyl, κλπ) και ο φόβος διαρροών ιοντίζουσας ακτινοβολίας από διάφορες ραδιενεργές πηγές, οδήγησαν στη δημιουργία φορέων και εργαστηρίων προστασίας του γενικού πληθυσμού από τη ραδιενέργεια και ιδιαίτερα των ευπαθών ατόμων. Η ρύπανση της ατμόσφαιρας, των εδαφών και των νερών σε περιοχές με πυρηνικούς αντιδραστήρες ελέγχεται πλέον με διεθνείς κανονισμούς και λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα προστασίας. Αν και γίνονται προσπάθειες κατεργασίας των αποβλήτων αυτών ώστε τα επίπεδα ραδιενέργειας να είναι όσο το δυνατόν χαμηλά, γίνεται επίσης συστηματική παρακολούθηση για την ραδιενεργό περιβαλλοντική ρύπανση σε υδροβίους και χερσαίους οργανισμούς.

Οι μελέτες των επιπτώσεων της ραδιενεργού ρύπανσης σε βιολογικούς οργανισμούς και τα οικοσυστήματα διεξάγεται από πολλούς επιστημονικούς φορείς σε διάφορες χώρες και αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της περιβαλλοντικής τοξικολογίας και οικοτοξικολογίας. Η ύπαρξη φαινομένων βιοσυσσώρευσης έχει μελετηθεί εκτεταμένα σε υδρόβιους οργανισμούς, όπως στο χλωροφύκος *Scenedesmus obliquus* και το διάτομο *Cyclotella meneghiana*

των γλυκών νερών, ενώ στην Ελλάδα, διεξάγεται συστηματική παρακολούθηση της ραδιενέργειας σε νερά πηγαδιών και του εδάφους από ειδικούς επιστήμονες του Ερευνητικού Κέντρου «Δημόκριτος». Τα τελευταία χρόνια διεξάγεται και έρευνα σε υδρόβιους οργανισμούς. Τα μύδια *Mytilus galloprovincialis* από διάφορες περιοχές (κόλπους θαλασσών) συλλέγονται και χρησιμοποιούνται ως βιο-ενδείκτες για τη μέτρηση του Καισίου-137, καθώς και των βαρέων μετάλλων. Το πρόγραμμα αυτό είναι μέρος του διεθνούς προγράμματος “Mussel Watch”, το οποίο είναι εξαιρετικά ανεπτυγμένο μεταξύ των χωρών της Θάλασσας της Μεσογείου. Οι μετρήσεις γίνονται σε σχέση με τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων σε μύδια και άλλα υδρόβια ζώα που χρησιμοποιούνται ως ευαίσθητοι βιο-ενδείκτες της θαλάσσιας ρύπανσης.

1.8.2 Μη-ιονίζουσες ή μη-ιοντίζουσες ακτινοβολίες

Οι μη-ιονίζουσες (ή μη-ιοντίζουσες) ακτινοβολίες αναφέρονται (α) στην υπεριώδη ακτινοβολία UV, (β) σε ακτίνες Laser (με μήκος κύματος 180-1000 nm), (γ) σε ακτίνες radar, ραδιοκύματα και μικροκύματα και (δ) σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία.

Η ακτινοβολία UV διακρίνεται σε ακτινοβολία τύπου C (UVC), με μήκος κύματος 200-280 nm, σε ακτινοβολία τύπου B (UVB), με μήκος κύματος 280-320 nm και σε ακτινοβολία τύπου A (UVA), με μήκος κύματος 320-340 nm. Μέρος της UVB και UVC απορροφάται στην ατμόσφαιρα και συμμετέχει στη δημιουργία του όζοντος. Το UVC μπορεί να νεκρώσει κύτταρα και να προκαλέσει μεταλλάξεις, κυρίως με τη δημιουργία διμερών μορφών DNA.

Οι ακτίνες Laser αποτελούνται από παράλληλα προσπίπτουσες μονοχρωματικές δέσμες ακτίνων που μπορεί να προκαλέσουν βλάβες σε ιστούς, ανάλογα με την ενέργεια την οποία φέρουν.

Οι ακτίνες radar, τα ραδιο- και τα μικροκύματα είναι υψηλής συχνότητας και μεγάλης ισχύος κύματα. Αν και η επικινδυνότητα ακτίνων χαμηλής ισχύος (0,5-2 Watt) δεν έχει ακόμα διευκρινιστεί, ακτινοβολίες με ισχύ 70-280 Watt μπορεί να προκαλέσουν διαταραχές της πολικότητας των κυτταρικών μεμβρανών και αύξηση της θερμοκρασίας.

Τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία δημιουργούνται γύρω από αγωγούς μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος. Οριακή πηγή έντασης ηλεκτρικού πεδίου 2-

5 kV/m, παράγει στο σώμα του ανθρώπου ρεύμα πυκνότητας 1 mA/m², που αντιστοιχεί στη φυσική ένταση ρεύματος στο σώμα.

1.9 Νανο-υλικά/νανοσωματίδια και η επίδρασή τους στο περιβάλλον

Η ραγδαία ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας επέτρεψε την μετατροπή βασικών φυσικοχημικών ιδιοτήτων τυπικών υλικών και τη δημιουργία νέων υλικών με άμεση εφαρμογή σε πολλές δραστηριότητες του ανθρώπου. Για παράδειγμα, η δραματική μείωση στο μέγεθος διαφόρων υλικών επέτρεψε τη δημιουργία των νανοσωματιδίων (νανο-υλικά), τα οποία χαρακτηρίζονται από μοναδικές ηλεκτρικές, οπτικές και μηχανικές ιδιότητες. Τα νανοσωματίδια (NPs) χαρακτηρίζονται από μέγεθος 100 nm ή και μικρότερο και χρησιμοποιούνται ως καταλύτες, ημιαγωγοί, στην παρασκευή καλλυντικών και φαρμακευτικών προϊόντων, ως μεταφορείς φαρμακευτικών ουσιών, σε μικροηλεκτρονικές εφαρμογές, στην παρασκευή τζαμιών κλπ. Τα NPs π.χ. χρησιμοποιούνται στα αντι-ηλιακά (συνήθως σωματίδια διοξειδίου του τιτανίου ή οξειδίου του ψευδαργύρου) για να μπλοκάρουν αποτελεσματικότερα την υπεριώδη ακτινοβολία, στα γαλακτώματα προσώπου για να διατηρούν καλύτερα τις βιταμίνες και τις αντι-οξειδωτικές ουσίες, καθώς και στις ενυδατικές κρέμες για να σκοτώνουν τα βακτήρια.

Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και η χρησιμοποίηση των NPs προκαλεί στις μέρες μας σημαντικό αντικείμενο μελέτης και αντιπαραθέσεων μεταξύ των επιστημόνων, σχετικά με τη χρησιμότητα των NPs, καθώς και τις επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρουν περιβάλλον. Οι ιδιότητες των NPs δημιουργούν πολλά ερωτήματα που σχετίζονται με τις επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσουν σε διάφορα επίπεδα οργάνωσης των οργανισμών (π.χ., διαταραχές σε κυτταρικό, υλοκυτταρικό και πρωτεϊνικό επίπεδο).

Τα περισσότερα δεδομένα σχετικά με τα NPs προέρχονται κυρίως από τη μελέτη NPs που υπάρχουν στον αέρα και μπορεί να περάσουν μέσω της αναπνευστικής οδού στους οργανισμούς. Πηγή αέριων NPs αποτελούν κυρίως ηφαιστειακές εκρήξεις, δασικές πυρκαγιές και βιομηχανικές δραστηριότητες (απελευθέρωση βιομηχανικών αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα, πετρελαϊκοί ρύποι κ.λπ.).

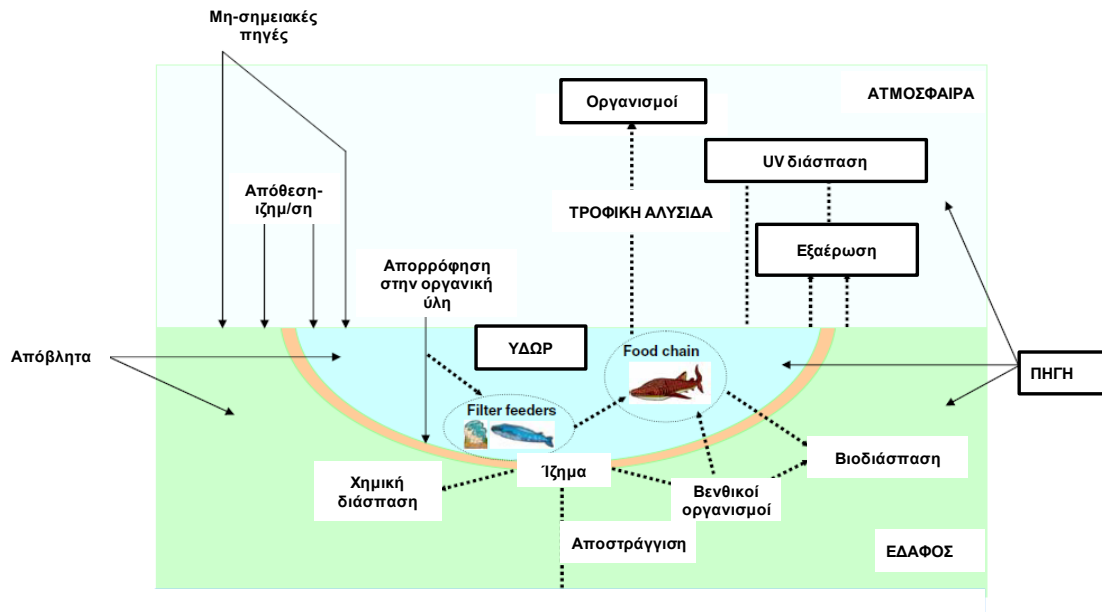
Το μικρό μέγεθός τους, η προσροφητική ικανότητα και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της επιφάνειάς τους μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές διαταραχές σε βιολογικές δομές. Αν και οι περισσότερες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί στον άνθρωπο, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των NPs αποτελούν ένα εκτεταμένο πεδίο έρευνας, μέσω της ανάπτυξης της νανο-οικοτοξικολογίας (nanoecotoxicology). Συγκεκριμένα, η τύχη των NPs και οι πιθανές επιπτώσεις τους σε υδρόβιους οργανισμούς αποτελεί ένα σημαντικό αντικείμενο μελέτης, μιας και μεγάλες ποσότητες ρυπογόνων ουσιών διοχετεύονται σε υδάτινους αποδέκτες μέσω αστικών, γεωργικών και βιομηχανικών αποβλήτων, καθώς και ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις.

1.9.1 Τύχη και μεταφορά των NPs στο περιβάλλον

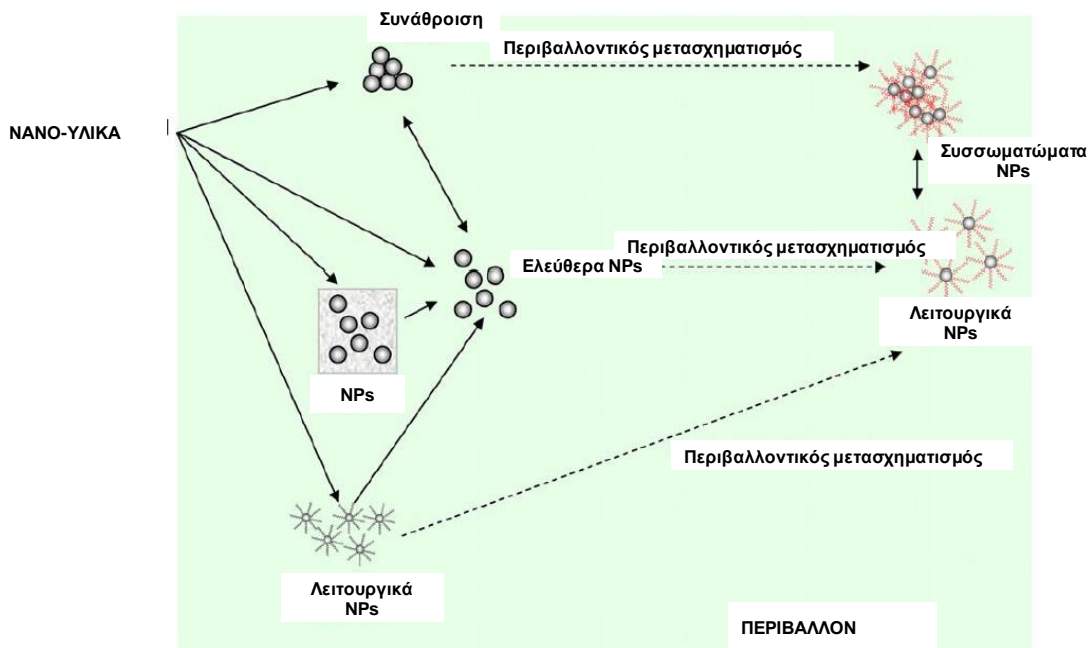
Υπάρχουν 3 κύριες πηγές απελευθέρωσης NPs στο περιβάλλον:

- A. Ανθρωπογενείς
- B. Ακούσιες (μη σημειακές) πηγές
- Γ. Μηχανικά νανοσωματίδια (παραγωγή και χρήση)

Η διοχέτευση νανο-υλικών στο περιβάλλον, πιθανό μέσω αποβλήτων, οδηγεί σε διαφορετική απόθεση NPs τόσο στο αβιοτικό όσο και στο βιοτικό μέρος του (**Εικόνα 10**). Συγκεκριμένα, τα νανο-υλικά μπορεί να καθιζάνουν και να υποστούν απορρόφηση στην οργανική ύλη, χημική διάσπαση και βιολογική αποικοδόμηση, ενώ σημαντική είναι και η πρόσληψή τους από διηθηματοφάγους υδρόβιους οργανισμούς (filter-feeders) και η μεταφορά τους μέσω της τροφικής αλυσίδας σε ανώτερους οργανισμούς. Παράλληλα, τα NPs μπορεί να υποστούν διάφορες τροποποιήσεις και να εμφανίζονται είτε ως συσσωματώματα είτε ως ελεύθερα NPs, ανάλογα με τον μετασχηματισμό που μπορεί να υποστούν (**Εικόνα 11**).



Εικόνα 10. Μεταφορά NPs στο περιβάλλον (τροποποιημένη από: Farre et al., 2009).



Εικόνα 11. Τροποποιήσεις NPs στο περιβάλλον (τροποποιημένη από: Farre et al., 2009).

1.9.2 NPs μετάλλων και μεταλλικών οξειδίων

Οι περισσότερες μελέτες τοξικότητας των NPs έχουν πραγματοποιηθεί σε οργανισμούς των γλυκών νερών και κυρίως σε είδη που χρησιμοποιούνται σε τοξικολογικές αναλύσεις, όπως τα είδη *Daphnia magna* και *Ceriodaphnia*

dubia, ενώ αρκετές μελέτες των τοξικών επιπτώσεων διαφόρων NPs πραγματοποιούνται σε ιστούς διαφόρων ιχθύων και σε βακτήρια (**Πίνακας 7**).

Πίνακας 7. Ενδεικτικές τοξικολογικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία χρόνια σε διάφορους οργανισμούς.

NPs	Είδος	Μελέτη	Επίδραση	Βιβλιογραφία
Ag NPs	Zebrafish embryos	Ανάπτυξη και συσσώρευση, εμβρυογένεση και εκκόλαψη	Αναστολή εκκολαπτικής ικανότητας	Asharani et al., 2008; Yeo et al., 2008
C60	<i>P. putida</i> <i>B. subtilis</i>	Βακτηριακή μεμβράνη (λιπιδική σύσταση και συμπεριφορά)	Αναστολή ανάπτυξης	Fang et al., 2007
TiO ₂ NPs	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Οξειδωτικό stress, φυσιολογικές επιδράσεις		Federici et al., 2007.
Au NPs	<i>D. magna</i> Ανθρώπινα κύτταρα	Πρόσληψη Κυτταρικός θάνατος εντός 12 h		Lovern et al., 2008; Pan et al., 2007
Cu NPs	Zebrafish	Άμεση τοξικότητα και βλάβες βραγχίων	EC ₅₀ = 1.5 mg/L	Griffitt et al., 2007
C60	<i>D. magna</i>	Άμεση τοξικότητα	EC ₅₀ = 460 µg/L	Lovern and Klaper, 2006
TiO ₂ NPs	<i>D. magna</i> <i>V. fischeri</i>	Άμεση τοξικότητα		Adams et al., 2006; Heinlaan et al., 2008
ZnO NPs	<i>T. platyurus</i> <i>D. magna</i> <i>V. fischeri</i>	Άμεση τοξικότητα	3.2 mg/L 1.9 mg/L	Heinlaan et al., 2008; Templeton et al., 2006

1.10 Ηχορύπανση

Η ηχορύπανση τείνει να λάβει τις μέρες μας εκρηκτικές διαστάσεις, συντελώντας στη δραματική υποβάθμιση της ποιότητας ζωής του ανθρώπου. Ειδικότερα, μεγάλα αστικά συγκροτήματα χαρακτηρίζονται από έντονη ηχορύπανση, κυρίως λόγω της κυκλοφορίας αυτοκινήτων, τραμ και αεροπλάνων, ενώ η ύπαρξη βιομηχανικών μονάδων, οικοδομικών και κατασκευαστικών δραστηριοτήτων, συντελούν στη διόγκωση του προβλήματος (**Πίνακας 8**).

Ο θόρυβος αποτελεί πηγή ενόχλησης για τους έμβιους οργανισμούς και κατεπέκταση τον άνθρωπο, λόγω των δυσμενών επιπτώσεων που μπορεί να επιφέρει. Οι ανεπιθύμητοι, ανεξέλεγκτοι και απρόβλεπτοι ήχοι μπορεί να επηρεάσουν τις ζωές των ανθρώπων, εμποδίζοντας τις καθημερινές δραστηριότητές του (π.χ. εργασία, ομιλία και ανάπαυση). Συγκεκριμένα, η ηχορύπανση σχετίζεται με διαταραχή του συστήματος ακοής του ανθρώπου, με αποτέλεσμα τη μόνιμη ή παροδική απώλεια της ακουστικής οξύτητας. Επίσης, σχετίζεται με τη δημιουργία άγχους, ταχυπαλμιών και λιγγών, με ελάττωση της οπτικής οξύτητας, με εκνευρισμό και διαταραχές της ακριβούς αντίληψης της ομιλίας και ακουστικών σημάτων, ενώ μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση ψυχολογικών και νευρολογικών διαταραχών.

Πίνακας 8. Στάθμη θορύβου σε σημεία των Αθηνών (ανώτατο όριο 70 dB).

Περιοχή	Μέτρηση θορύβου (dB)	Κατάσταση
Λεωφόρος Κηφισού (Μοσχάτο και Ν. Φάληρο)	79	Πολύ θορυβώδης
Λεωφόρος Δημοκρατίας (Κερασίни)	81,8	Εξαιρετικά θορυβώδης
Γ. Λαμπράκη (Νίκαια)	80,4	Εξαιρετικά θορυβώδης

1.11 Φαρμακευτικές ουσίες στο περιβάλλον

Η αλματώδης πρόοδος της Φαρμακολογίας/Φαρμακογνωσίας και της Ιατρικής έχει συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση της ποιότητας και του προσδόκιμου ζωής του ανθρώπινου πληθυσμού, μέσω της παρασκευής νέων φαρμακευτικών ουσιών/παρασκευασμάτων.

Οι φαρμακευτικές ουσίες/παρασκευάσματα χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση, θεραπεία και την πρόληψη ασθενειών, και περιλαμβάνουν πολύπλοκα μόρια που φέρουν μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών ομάδων και δραστικών ουσιών. Τα περισσότερα φάρμακα σχεδιάζονται να είναι επαρκώς ανθεκτικά, ώστε να διατηρούν τη θεραπευτική τους δράση για αρκετό χρόνο. Τα τελευταία χρόνια, η χρήση φαρμακευτικών σκευασμάτων έχει λάβει τεράστιες διαστάσεις, κυρίως λόγω της εμφάνισης νέων και ανθεκτικών μικροβιακών και ιϊκών στελεχών, η αντιμετώπιση των οποίων επιτυγχάνεται με την αυξανόμενη παραγωγή φαρμάκων νέας γενιάς.

Σύμφωνα με το Διεθνές σύστημα ταξινόμησης ATC (Anatomical Therapeutic Chemical classification system), τα είδη των φαρμακευτικών ουσιών κατατάσσονται σε 5 κατηγορίες ανάλογα με τη δράση τους. Συγκεκριμένα, τα φαρμακευτικά σκευάσματα διακρίνονται σε:

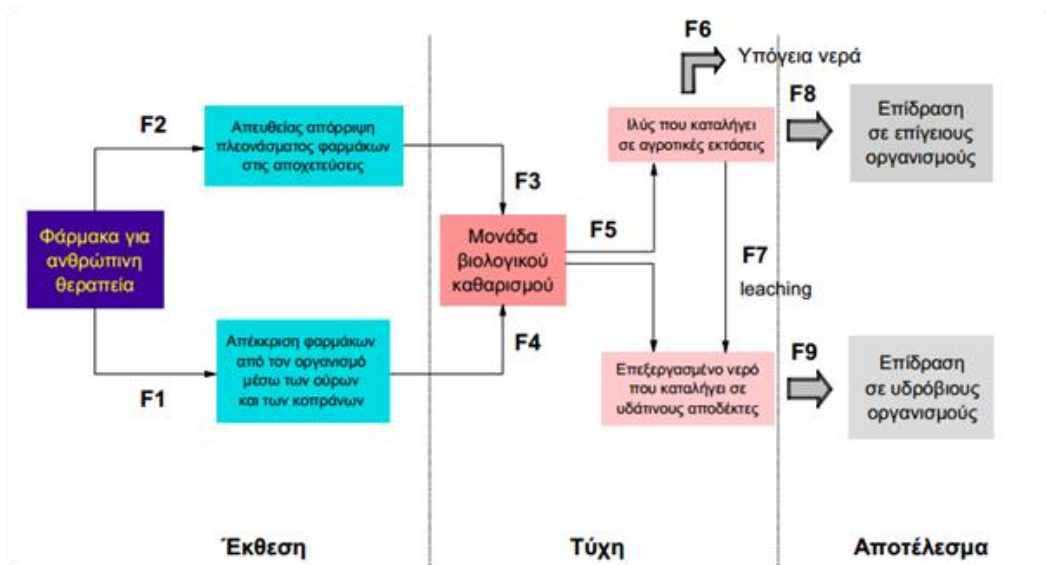
- αντιπυρετικά (antipyretics)
- αναλγητικά (analgesics)
- αντιβιοτικά (antibiotics)
- αντισηπτικά (antiseptics)
- αντιπαροξυσμικά (anticonvulsants).

Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία, η Ευρωπαϊκή Ένωση καλύπτει το 26% της παγκόσμιας αγοράς φαρμάκων, καθώς ξοδεύεται περίπου το 7-15% των εθνικών δαπανών για την υγεία και το 0.5-1% του εθνικού ακαθάριστου προϊόντος. Περισσότερες από 2000 διαφορετικές φαρμακευτικές ουσίες χρησιμοποιούνται στην Ε.Ε, ενώ στη Γερμανία έχει αναφερθεί ότι συνταγογραφούνται ετησίως περίπου 100 τόνοι φαρμακευτικών σκευασμάτων. Χαρακτηριστικά, το έτος 1994 η παραγωγή των αντιβιοτικών στην Γερμανία ανερχόταν στους 1834 τόνους από τους οποίους οι 624 ήταν μόνο πενικιλίνες. Αποτέλεσμα της υπερκατανάλωσης και της μεγάλης διασποράς τους, οι φαρμακευτικές ουσίες απαντώνται με μεγάλη συχνότητα

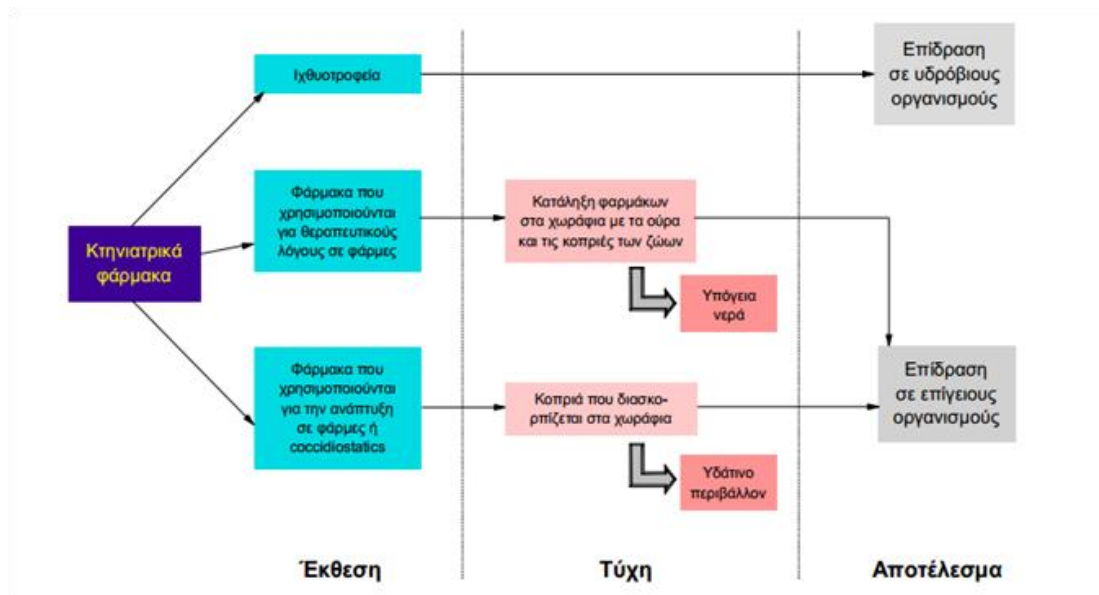
στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, μια μεγάλη γκάμα ουσιών έχει ανιχνευτεί σε μικρές συγκεντρώσεις σε υδάτινα οικοσυστήματα.

Η ύπαρξη φαρμακευτικών ουσιών στο υδάτινο περιβάλλον έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης σε πολλές χώρες παγκοσμίως, όπως στην Αυστρία, Βραζιλία, Καναδά, Κροατία, Αγγλία, Γερμανία, Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία, Ελβετία, Ολλανδία και Η.Π.Α. Τα δεδομένα των μελετών καταδεικνύουν την ύπαρξη περισσότερων από 80 φαρμακευτικών ουσιών στα λύματα, τα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά. Για παράδειγμα, σε μελέτες που έγιναν για την ύπαρξη φαρμακευτικών ουσιών σε ποταμό της Αγγλίας (River Lee), διαπιστώθηκε ότι περίπου 170 φαρμακευτικές ουσίες των οποίων οι καταναλισκόμενες ποσότητες ξεπερνούν τον έναν τόνο ετησίως έδιναν μια προβλεπόμενη συγκέντρωση μεγαλύτερη από $0.1 \mu\text{g L}^{-1}$. Επίσης, μεγάλος αριθμός από υπολείμματα φαρμάκων έχουν βρεθεί σε απορροές βιολογικών καθαρισμών και σε επιφανειακά ύδατα, μεταξύ των οποίων αντιφλεγμονώδη και αδρενεργικοί αναστολείς (beta-blockers), σε συγκεντρώσεις που μπορεί να ξεπερνούν τα $5 \mu\text{g L}^{-1}$.

Ένα από τα σημαντικότερα αίτια που σχετίζονται με την ύπαρξη φαρμακευτικών ουσιών στο περιβάλλον, είναι η αδυναμία των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων να απομακρύνουν αποτελεσματικά φαρμακευτικές ουσίες. Συγκεκριμένα, μια φαρμακευτική ουσία και/ή οι μεταβολίτες της μπορεί να αποικοδομηθούν με τη βοήθεια μικροοργανισμών σε προϊόντα μικρότερου μοριακού βάρους ενώ κάποιες φορές παρατηρείται πλήρης διάσπαση σε CO_2 και H_2O , όπως η ασπιρίνη (Ricardson and Bowron, 1985). Από την άλλη, οι φαρμακευτικές ουσίες και οι μεταβολίτες τους μπορεί να είναι λιγότερο ή περισσότερο ανθεκτικές κατά την βιολογική επεξεργασία των αποβλήτων. Συγκεκριμένα, ανάλογα με την λιποφιλικότητα της ένωσης και την ικανότητα να σχηματίζει δεσμούς (ιοντικούς δεσμούς), ένα μέρος της ουσίας μπορεί να παραμείνει στην ενεργό ιλύ. Η χρησιμοποίηση της ενεργού ίλως ως εδαφοβελτιωτικό μπορεί να προκαλέσει την επιβάρυνση των εδαφών με φαρμακευτικές ουσίες, οι οποίες ανάλογα με την κινητικότητά τους μπορεί να καταλήξουν στον υδροφόρο ορίζοντα και στα επιφανειακά ύδατα, επιδρώντας με τους υδρόβιους οργανισμούς. Στις Εικόνες που ακολουθούν (**Εικόνες 12-13**) φαίνονται οι διαδρομές που μπορεί να ακολουθήσει μια φαρμακευτική ουσία προκειμένου να καταλήξει στο περιβάλλον.



Εικόνα 12. Πιθανές διαδρομές των φαρμακευτικών ουσιών που χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο στο περιβάλλον (πηγή: Jorgensen and Halling-Sorensen, 2000).



Εικόνα 13. Πιθανές διαδρομές των φαρμάκων που χορηγούνται σε ζώα στο περιβάλλον (πηγή: Jorgensen and Halling-Sorensen, 2000).

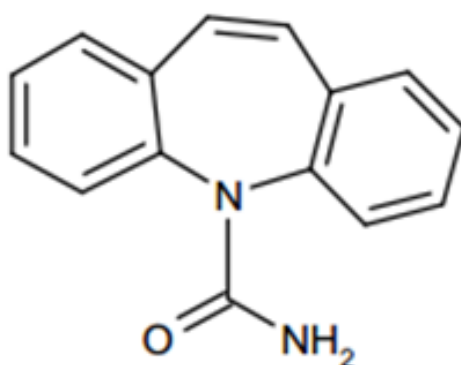
Σε μελέτη που έγινε από τον Ternes (1998) φαίνεται ότι οι ρυθμοί αποδόμησης κατά την βιολογική επεξεργασία κυμαίνονται από 60% μέχρι 90% για μια ποικιλία μέτρια πολικών φαρμάκων. Από την άλλη πλευρά, σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Richardson and Bowron (1985) για την βιοαποικοδόμηση αρκετών φαρμακευτικών ουσιών που καταναλώνονται σε

μεγάλες ποσότητες, διαπιστώθηκε ότι τα εξεταζόμενα φάρμακα είχαν την τάση να είναι ανθεκτικά (π.χ. το χλωφιβρικό οξύ).

Η τύχη των φαρμακευτικών ουσιών στο περιβάλλον σχετίζεται με την βιολογική τους αποικοδόμηση, καθώς και τη φυσικοχημική τους διάσπαση (π.χ. υδρόλυση, φωτοδιάσπαση), διεργασίες που μπορεί να οδηγήσουν στην δημιουργία μεταβολικών προϊόντων, τα οποία μπορεί να επιφέρουν δυσμενείς επιπτώσεις στους οργανισμούς με τους οποίους έρχονται σε επαφή. Παρακάτω αναφέρονται 2 χαρακτηριστικά παραδείγματα φαρμακευτικών ουσιών, καθώς και οι επιδράσεις τους στους οργανισμούς.

1.11.1 Καρμαμαζεπίνη (Carbamazepine) στο περιβάλλον

Η καρμαμαζεπίνη (carbamazepine ή CBZ, **Εικόνα 14**) χορηγείται ως αντιεπιληπτικό, ως υποκατάστατο στο σύνδρομο του εθισμού, για νευραλγίες και τέλος ως αντικαταθλιπτικό. Μεταβολίζεται κυρίως στο ήπαρ και μόνο το 1% με 2% της χορηγούμενης δόσης εκκρίνεται από τον οργανισμό στην αρχική του μορφή.



Εικόνα 14. Συντακτικός τύπος καρμαμαζεπίνης (CBZ).

Η CBZ ανιχνεύεται συχνά σε αστικά λύματα και επιφανειακά νερά, σε συγκεντρώσεις που μπορεί αν ανέλθουν στα 6.3 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η συχνή παρουσία της CBZ στο περιβάλλον οφείλεται πιθανότατα στο γεγονός ότι η ικανότητα απομάκρυνσής της από τις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων είναι χαμηλή και έχει προσδιοριστεί μόνο γύρω στο 7%. Για παράδειγμα, στις απορροές Μονάδων Βιολογικής Επεξεργασίας (ΜΒΕ) στη Γερμανία ανιχνεύθηκε CBZ με μέση συγκέντρωση 2.1 $\mu\text{g L}^{-1}$ ενώ η μέγιστη τιμή ήταν 6.3 $\mu\text{g L}^{-1}$. Επίσης, μετρήσεις που έγιναν σε απορροές ΜΒΕ σε Ελλάδα, Γαλλία, Ιταλία, Σουηδία

μετρήθηκαν συγκεντρώσεις μεταξύ 0.3 και 1.2 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η CBZ έχει βρεθεί και σε επιφανειακά νερά στο Βερολίνο σε τιμές πάνω από 1 $\mu\text{g L}^{-1}$. Ανάλογα αποτελέσματα για την ύπαρξη της ουσίας έχουν γίνει και σε υπόγεια και πόσιμα νερά. Σε δείγματα υπογείων νερών έχει βρεθεί σε συγκεντρώσεις μέχρι 1.1 $\mu\text{g L}^{-1}$ και σε πόσιμο νερό σε συγκεντρώσεις έως 30 ng L^{-1} .

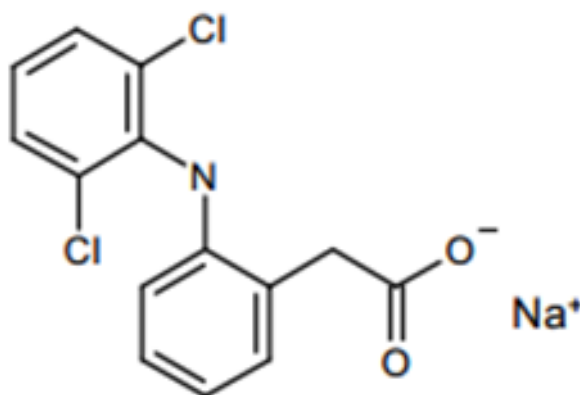
Η ανθεκτικότητα της CBZ και η παραμονή της στα απόβλητα για μεγάλο χρονικό διάστημα (έως 100 ημέρες), έχει οδηγήσει τους ερευνητές να προτείνουν τη συγκεκριμένη ουσία ως δείκτη ρύπανσης των υδάτων. Συγκεκριμένα, αν και σε χαμηλές συγκεντρώσεις στο περιβάλλον, ουσίες όπως η CBZ μπορεί να ασκήσουν τοξικές επιδράσεις σε μη στοχευόμενα είδη, όπως τα καρκινοειδή και οι ιχθύες του γλυκού νερού, καθώς και σε αμφίβια, πιθανώς λόγω της ικανότητας να συσσωρεύεται στους υδρόβιους οργανισμούς.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία σχετικά με την ταξινόμηση και την επισήμανση των χημικών ουσιών (92/32/ΕΟΚ), η CBZ ταξινομείται ως " R52/53 Επιβλαβές για τους υδρόβιους οργανισμούς και μπορεί να προκαλέσει μακροχρόνιες δυσμενείς επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον". Πράγματι, πρόσφατες μελέτες έχουν αναδείξει τον κίνδυνο εμφάνισης σοβαρών συγγενών ανωμαλιών που σχετίζονται με την CBZ σε διάφορα είδη όπως τα *Ankistrodesmus braunii* και *Selenastrum capricornutum*, το μακρόφυτο *Lemna minor* και το ανόστρακο καρκινοειδές του γλυκού νερού *Thamnocephalus platyurus*. Επιπλέον, πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει την ικανότητα της CBZ να προκαλεί φαινόμενα οξειδωτικό stress, όπως η υπεροξειδωση των λιπιδίων στα είδη φυκών *Scenedesmus obliquus*, *Chlorella pyrenoidosa* και *Dunaliella tertiolecta*, στα ηπατοκύτταρα της ιριδιζουσας πέστροφας *Oncorhynchus mykiss*, στα αμοκύτταρα του μυδιού *Mytilus galloprovincialis* και στο κνιδόζωο *Hydra attenuate*.

1.11.2 Δικλοφενάκη (Diclofenac) στο περιβάλλον

Η δικλοφενάκη (Diclofenac ή DCF, **Εικόνα 15**) ανήκει στην κατηγορία των μη στεροειδών αντιφλεγμονωδών φαρμάκων (non-steroidal anti-inflammatory drugs/NSAIDs) και η παραγωγή της υπολογίζεται σε εκατοντάδες τόνους ετησίως. Τα NSAIDs ανήκουν σε μία από τις πιο σημαντικές ομάδες των φαρμακευτικών προϊόντων σε όλο τον κόσμο, με εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή αρκετών χιλιάδες τόνους. Χρησιμοποιείται

ευρέως ως αναλγητικό, αντιarthritικό και αντιρρευματικό φάρμακο και είναι γνωστή με την εμπορική ονομασία Voltaren.



Εικόνα 15. Συντακτικός τύπος P (Diclofenac Sodium).

Η DCF έχει ανιχνευθεί σε συγκεντρώσεις της τάξης των $\mu\text{g L}^{-1}$ σε απορροές βιολογικών μονάδων και επιφανειακά νερά διαφόρων χωρών και έχει χαρακτηριστεί ως ένα από τα πιο σημαντικά φάρμακα που υπάρχουν στον κύκλο του νερού, μιας και έχει ανιχνευθεί σε υπόγεια και πόσιμα ύδατα, σε συγκεντρώσεις που μπορεί να παρουσιάζουν διακυμάνσεις. Η συγκεκριμένη ουσία παρουσιάζει σχετικά μικρό ποσοστό απομάκρυνσης από τις μονάδες βιολογικού καθαρισμού (17%-69%), ενώ υπάρχουν μελέτες που αναφέρουν φαινόμενα φωτοδιάσπασης της ουσίας σε επιφανειακά νερά, με αποτέλεσμα να προκύπτουν πολλά μεταβολικά προϊόντα.

Η DCF περιλαμβάνεται στον κατάλογο των ουσιών προτεραιότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ουσία τάξης ΙΙΑ) και χαρακτηρίζεται ως «δυσνητικά επικίνδυνη ένωση, με σχετικές ανεπιθύμητες ενέργειες». Η παρουσία της στο περιβάλλον έχει αρνητικές συνέπειες για τους υδρόβιους οργανισμούς, μιας και αρκετές μελέτες έδειξαν την πρόκληση τοξικότητας σε ψάρια, οστρακόδερμα και φύκη. Συγκεκριμένα, έχει αναφερθεί ότι $5 \mu\text{g L}^{-1}$ της ουσίας μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές νεφρικές βλάβες και αλλοιώσεις των βραγχιακών δομών, καθώς και καθυστέρηση της εκκόλαψης των αυγών. Η καφέ πέστροφα έδειξε μία ελάττωση των επιπέδων του αιματοκρίτη σε $0,5$ έως $50 \mu\text{g L}^{-1}$, και τα συμπτώματα της φλεγμονής σε βράγχια και νεφρό παρατηρήθηκαν μετά από

είκοσι ένα ημέρες έκθεσης σε 50 $\mu\text{g L}^{-1}$ της ουσίας, και στο ήπαρ σε 5 $\mu\text{g L}^{-1}$, χωρίς ωστόσο να υποδεικνύεται κάποια δόσο-εξαρτώμενη σχέση.

1.12 Πλαστικά υλικά

Με τον όρο «πλαστικό» περιγράφεται ένας μεγάλος αριθμός συνθετικών και ημι-συνθετικών προϊόντων, τα οποία, στην πλειοψηφία τους, αποτελούν πολυμερείς ενώσεις. Παράγονται από τα παραπροϊόντα διύλισης του πετρελαίου που σχηματίζονται μετά από διάφορες χημικές διεργασίες. Η χρήση του στη σημερινή εποχή έχει εδραιωθεί σε όλους τους τομείς και τις δραστηριότητες του ανθρώπου (βιομηχανία και καθημερινές δραστηριότητες, στην αυτοκινητοβιομηχανία, σε υλικά μόνωσης, σωλήνες, ηλεκτρικά/ηλεκτρονικά μέσα, συσκευασίες τροφίμων, ρούχα, είδη οικιακής χρήσης, σακούλες καθημερινής χρήσης, μεταφορά γεωργικών προϊόντων κ.α.). Είναι ελαφρά, ανθεκτικά, αδιαπέραστα από υγρά και αέρια, έγχρωμα ή άχρωμα, μπορούν να τυπωθούν είναι σχετικά φθηνά, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα, να ανακυκλωθούν ή και να καούν για την παραγωγή ενέργειας. Λαμβάνοντας υπόψιν τα προαναφερθέντα, δεν είναι τυχαίος ο χαρακτηρισμός της εποχής μας ως η «Εποχή του πλαστικού» (Moore, 2008).

1.12.1 Πλαστικά και Περιβάλλον (μικροπλαστικά)

Παρά την ευρεία χρήση τους, τα πλαστικά που χρησιμοποιούνται κυρίως ως υλικά συσκευασίας, απορρίπτονται ανεξέλεγκτα στο περιβάλλον, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μια άνευ προηγουμένου υποβάθμιση (ρύπανση) των χερσαίων και υδάτινων οικοσυστημάτων. Συγκεκριμένα, πλαστικά προερχόμενα από βιομηχανικές απορρίψεις, απορροές από χώρους υγειονομικής ταφής, καθώς και από άμεσες απορρίψεις απορριμμάτων στις ακτές, αποτελούν κύριες πηγές ρύπανσης. Λόγω της ανθεκτικότητας και της μικρής ικανότητας βιοδιάσπασης/βιοαποικοδόμησης, τα πολυμερή των πλαστικών που εκτίθενται στις περιβαλλοντικές συνθήκες (υπεριώδη ακτινοβολία, θερμότητα, υγρασία, αλατότητα κ.λπ.), μπορεί να υποστούν σημαντικές αλλοιώσεις (μέσω διαδικασιών φωτο-διάσπασης, οξειδωσης κ.λπ.) και να προκύψουν μικρότερα κομμάτια (**μικροπλαστικά**), άμεσα

βιοδιαθέσιμα και με ισχυρή επιφανειακή ικανότητα ρόφησης πληθώρας ρυπογόνων ουσιών (π.χ. PCBs).

Η συγκέντρωση μικροπλαστικών (κομμάτια πλαστικού με μέγεθος που δεν ξεπερνά τα 5 mm) στο θαλάσσιο περιβάλλον αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της εποχής μας. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, η συσσώρευση μικροπλαστικών στα θαλάσσια ύδατα και τα ιζήματα του πυθμένα αυξάνει διαρκώς, γεγονός που μπορεί να έχει σοβαρό αντίκτυπο για τους υδρόβιους οργανισμούς. Συγκεκριμένα, η κατάποση μικροπλαστικών από τους υδρόβιους οργανισμούς μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές διαταραχές της φυσιολογικής τους ομοιόστασης. Η ικανότητά τους να ενώνονται με ρυπογόνες ουσίες του θαλάσσιου περιβάλλοντος (π.χ. ανθεκτικοί οργανικοί ρύποι, POPs), καθώς και η απελευθέρωση ενώσεων που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία της παραγωγής των πλαστικών (πλαστικοποιητές, π.χ., BPA) τα καθιστούν επιβαρυντικούς φορείς για τους υδρόβιους οργανισμούς.

2.1 Ρύπανση του εδάφους

Το έδαφος αποτελεί προϊόν αποσάθρωσης διαφόρων πετρωμάτων και ορυκτών και αποτελείται από ανόργανα και/ή οργανικά στερεά συστατικά, καθώς και χώρους που καταλαμβάνονται από αέρια και νερό. Τα ανόργανα συστατικά περιλαμβάνουν σωματίδια από την αποσάθρωση βράχων και ορυκτά (όπως ο χαλαζίας), ασβεστίτη, καθώς και υδροξείδια των Fe, Al και Mn. Η αέρια φάση είναι παρόμοια σε σύνθεση με την ατμόσφαιρα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, εκτός της συγκέντρωσης του CO₂ η οποία είναι οκταπλάσια στον αέρα. Το υγρό εδαφικό διάλυμα περιλαμβάνει ιόντα και διαλυτές οργανικές χημικές ενώσεις. Η οργανική ύλη στα εδάφη αποτελείται από αποσυντεθειμένη φυτική βιομάζα και μίγματα, τα οποία έχουν συντεθεί από τη δράση των μικροοργανισμών στα υπολείμματα της φυτικής ύλης. Τα αρχικά ασταθή μείγματα λάσπης, άμμου και μικρών ή μεγάλων χαλικιών, συμπληρώνονται με φυτά και άλλες οργανικές ουσίες και συντελούν στην τελική διαμόρφωσή του.

Το έδαφος δέχεται όλες αυτές τις τοξικές και επικίνδυνες χημικές ουσίες και παρασκευάσματα ή απόβλητα, τα οποία ανάλογα με τη γεωμορφολογία του εδάφους και άλλες εξωγενείς συνθήκες ρυπαίνουν τοπικά το έδαφος ή διασκορπίζονται σε άλλα περιβαλλοντικά διαμερίσματα (π.χ. υπόγεια νερά) ή εκκλύνονται στα διάφορα υδάτινα συστήματα. Η ρύπανση του χερσαίου περιβάλλοντος οδηγεί στην υποβάθμιση της ποιότητας των επιφανειακών εδαφών. Η αμεθόδευτη εναπόθεση αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων, η αλόγιστη χρησιμοποίηση μυκητοκτόνων, ζιζανιοκτόνων και λιπασμάτων σε αγροτικές καλλιέργειες και η χρήση διαφόρων βιοκτόνων που χρησιμοποιούνται για τον πληθυσμιακό έλεγχο ζώων, φυτών και μικροοργανισμών, αποτελούν τους κυριότερους ρύπους του εδάφους. Άλλες σημαντικές πηγές ρύπανσης αποτελούν η συσσώρευση απορριμμάτων σε χωματερές, με κίνδυνο την μετατροπή τους σε «χρονο-βόμβες», η συσσώρευση νιτρικών, φωσφορικών και απορρυπαντικών σε εδάφη στα οποία διοχετεύεται ως λίπασμα λάσπη βιολογικού καθαρισμού, η εξόρυξη μεταλλευμάτων και η επακόλουθη επεξεργασία και εναπόθεσή των τελικών προϊόντων τους στο έδαφος, όπως οργανομεταλλικά στοιχεία.

Ιδιαίτερα έντονη είναι η επιβάρυνση του εδάφους με εντομοκτόνα, λόγω της αντοχής που παρουσιάζουν. Η ανθεκτικότητά τους καθορίζεται κατά κύριο

λόγο από την ισορροπία μεταξύ (α) της προσρόφησης στα εδαφικά κολλοειδή, (β) της λήψης από τα φυτά, (γ) των διεργασιών μετασχηματισμού ή εκφύλισης και (δ) των απωλειών σε υγρή ή αέρια μορφή. Ο τύπος του εντομοκτόνου, η ποσότητα στην οποία χρησιμοποιείται, καθώς και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως η υφή, η οργανική του ύλη, η θερμοκρασία και η υγρασία αποτελούν σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν αυτή την ισορροπία.

Η ρύπανση των εδαφών μπορεί επίσης να επιτευχθεί μέσω της συσσώρευσης ρύπων της ατμόσφαιρας στο έδαφος, οι οποίοι προέρχονται από κατακρημνίσεις (βροχή, χαλάζι, χιόνι). Την είσοδο των ρυπογόνων ουσιών στην επιφάνεια του εδάφους ακολουθεί είτε απορρόφηση είτε απόπλυσή τους προς τα κατώτερα στρώματα του εδάφους με τη βοήθεια του νερού.

Το τελικό αποτέλεσμα της επιβάρυνσης του εδάφους με ρυπογόνες ουσίες είναι η υποβάθμιση της τελικής του εικόνας, που καθιστά αδύνατη τη χρησιμοποίησή του από τους οργανισμούς, λόγω έλλειψης θρεπτικών πόρων και ύπαρξης τοξικών παραγόντων, η διάβρωση και η ερημοποίηση.

Η διάβρωση και η ερημοποίηση των εδαφών σε διάφορες περιοχές του πλανήτη μας είναι δύο από τις πιο σημαντικές αιτίες απώλειας πολύτιμου παραγωγικού εδάφους. Η ερημοποίηση εδαφών είναι ένα γενικότερο φαινόμενο κατά το οποίο μεγάλες περιοχές γης μετατρέπονται σε άγονες αμμώδεις εκτάσεις από έλλειψη νερού, υπερβολική καλλιέργεια εδαφών που προέκυψαν από εκκαθάριση δασών, επικλινείς εκτάσεις που δεν προστατεύονται με αναχώματα, και εκκαθάριση θάμνων, δένδρων και βλάστησης με ανεξέλεγκτη κτηνοτροφική εκμετάλλευση. Τα εδάφη αυτά μετά από γεωργική εκμετάλλευση με παρατεταμένη ξηρασία χάνουν τη συνεκτικότητα των συστατικών τους, υπάρχει μεγάλη απώλεια θρεπτικών συστατικών και οργανική ύλη, με αποτέλεσμα η ποιότητα υποβαθμίζεται και πολύ γρήγορα μετατρέπονται σε άγονες αμμώδεις εκτάσεις. Η διάβρωση εδαφών σε γεωργικές εκτάσεις των αναπτυγμένων χωρών ήταν κυρίως αποτέλεσμα της εκτεταμένης χρήσης λιπασμάτων. Σήμερα όμως εφαρμόζονται διάφορα μέτρα και πρακτικές, όπως αγρανάπαυση, αλλαγές στον τρόπο οργώματος (επιφανειακή σάρωση), αμειψισπορά (crop rotation), εναλλαγή του είδους των καλλιεργούμενων φυτών, περιτροπική γεωργία και κτηνοτροφία, προσεκτική άρδευση, ενίσχυση των θρεπτικών συστατικών και του αζώτου με

ειδικά φυτά, φύτεμα δένδρων, κ.λπ. Τα μέτρα αυτά ενισχύουν την ποιότητα των εδαφών. Πολλές όμως αναπτυσσόμενες χώρες, που έχουν ραγδαία αύξηση του πληθυσμού και μεγάλες διατροφικές ανάγκες, δεν μπορούν να υποστηρίξουν ενεργά τέτοια μέτρα με αποτέλεσμα τη συνεχιζόμενη διάβρωση εδαφών στις περιοχές τους.

2.2 Ρύπανση της ατμόσφαιρας

Η ατμοσφαιρική ρύπανση σχετίζεται με την παρουσία χημικών, αιωρούμενων σωματιδίων και βιολογικών υλικών στην ατμόσφαιρα, τα οποία μπορεί να βλάψουν την υγεία του ανθρώπου και των υπόλοιπων έμβιων οργανισμών του περιβάλλοντος.

Η είσοδος ρυπογόνων ουσιών στην ατμόσφαιρα μπορεί να επιτευχθεί μέσω πολλών πηγών (**Πίνακας 9**). Οι αέριοι ρύποι περνούν στην ατμόσφαιρα είτε ως σταγονίδια, είτε ως σωματίδια, είτε συνδεδεμένοι με τα προηγούμενα και μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις με την κίνηση των αέριων μαζών. Καμινάδες βιομηχανικής ή οικιστικής προέλευσης είναι σοβαρές πηγές αέριας ρύπανσης (π.χ. απελευθέρωση CO₂, SO₂, NO_x, υδροφθόριο, χλωροφθοράνθρακες κ.λπ.). Επίσης, η ατελής καύση υγρών καυσίμων από μηχανές εσωτερικής καύσης (αυτοκίνητα, πλοία, αεροσκάφη, βιομηχανίες) αποτελούν σημαντική πηγή απελευθέρωσης κυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων, κετονών, αλδευδών, μονοξειδίου του άνθρακα και οξειδίων του αζώτου.

Η χρήση παρασιτοκτόνων με τη μορφή σπρέι ή σκόνης αποτελεί σημαντική πηγή ρύπανσης της ατμόσφαιρας, ενώ η ρύπανση με ραδιοχημικά, ως αποτέλεσμα ραδιενεργών δοκιμών στο έδαφος ή πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, αποτελούσε πρόβλημα για πολλά χρόνια μετά το τέλος του 2^{ου} παγκοσμίου πολέμου. Η χρήση αλογονομένων υδρογονανθράκων, όπως οι χλωροφθοράνθρακες (CFC) ως προωθητικά σε σπρέι και ως υγραέρια ψύξης στα ψυγεία, καθώς και τα χλωριωμένα συστατικά (CHCl₂) που χρησιμοποιούνται στα στεγνοκαθαριστήρια, αποτελούν κύριους ρύπους της ατμόσφαιρας. Το νιτρικό υπεροξυακετύλιο που δημιουργείται στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα της αντίδρασης οργανικών ενώσεων και

διοξειδίου του αζώτου με το ηλιακό φως και τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας, αποτελεί κύριο ρύπο σε μεγαλουπόλεις (**Εικόνα 17**).

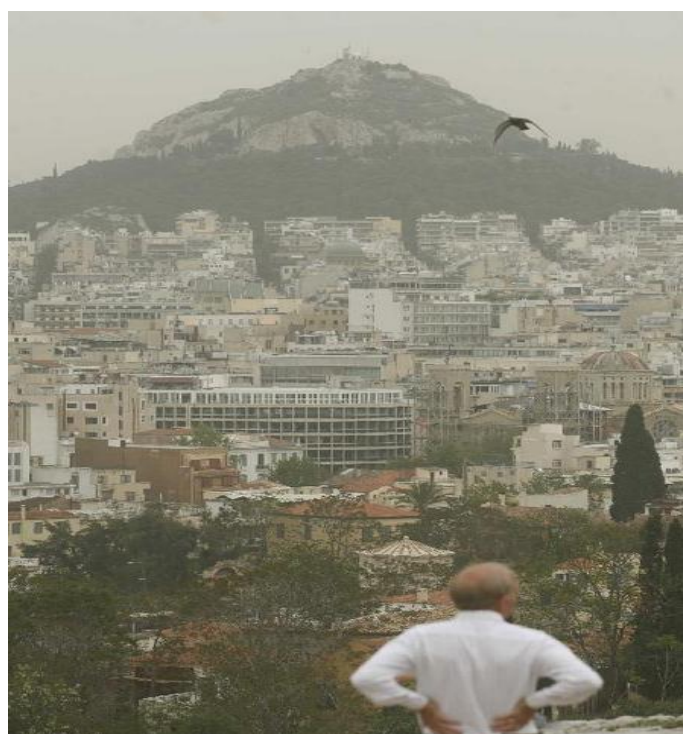
Πίνακας 9. Κύριοι οδοί απελευθέρωσης ρύπων στην ατμόσφαιρα (Walker και συν. 2001).

Είσοδος	Ρύποι	Σχόλια
<ul style="list-style-type: none"> Χωματερές, φράγματα οικιστικών και βιομηχανικών αποβλήτων. Παρασιτοκτόνα σε καλλιέργειες και δάση. Καταπολέμηση επιβλαβών εντόμων. 	<p>Μεγάλο εύρος</p> <p>Εντομοκτόνα, φυτοκτόνα, μυκητοκτόνα με μορφή σπρέι, σκόνης κ. λπ.</p> <p>Εντομοκτόνα.</p>	<p>Αυξημένη συσσώρευση συγκεκριμένων ρυπαντών, όπως έλαια, μεταλλευτικά απόβλητα, PCBs, κλπ.</p> <p>Αυστηρός έλεγχος της χρήσης παρασιτοκτόνων.</p> <p>Υψηλός βαθμός ρύπανσης σε μεγάλες εκτάσεις ως αποτέλεσμα ελέγχου μαλάριας και κίτρινου πυρετού.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Χρήση λάσπης από βιολογικό καθαρισμό σε καλλιέργειες. Πλημμύρες ποταμών και θάλασσες. 	<p>Βαρέα μέταλλα, νιτρικά, απορρυπαντικά</p> <p>Μεγάλο εύρος ρυπογόνων ουσιών, π.χ., λάσπης βιολογικού καθαρισμού.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> Καθιζήσεις αέριων ρυπαντών με τη μορφή σωματιδίων ή μέσω κατακρημνίσεων (βροχή, χαλάζι, χιόνι). 	<p>Ρύποι που προκαλούν αιθάλη, όξινη βροχή, παρασιτοκτόνα κλπ.</p>	<p>Μεταφορά ρύπων σε κοντινές ή μακρινές αποστάσεις.</p>

Το μεγαλύτερα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης εντοπίζεται κυρίως σε ανεπτυγμένες χώρες με έντονη βιομηχανική δραστηριότητα, καθώς και σε αναπτυσσόμενες χώρες, των οποίων η έντονη και γοργή ανάπτυξη της βιομηχανίας δεν συμβαδίζει με κανόνες περιορισμού της απελευθέρωσης βιομηχανικών ρύπων στην ατμόσφαιρα (**Πίνακας 10**).

Πίνακας 10. Χώρες που ευθύνονται για τη μεγαλύτερη απελευθέρωση CO₂ στην ατμόσφαιρα, καθώς και πόλεις με τη μεγαλύτερη επιβάρυνση σε αιωρούμενα σωματίδια (particulate matter/PM), (πηγές World Bank Statistics, Center of the Global Development, CARMA, geographic regions, 2004).

Χώρα	10 ⁶ τόνοι CO ₂ /έτος	Πόλεις	PM µg/m ³
Η.Π.Α	2.795	Κάιρο (Αίγυπτος)	169
Κίνα	2.680	Δελχί (Ινδία)	150
Ρωσία	661	Καλκούτα (Ινδία)	128
Ινδία	583	Tianjin (Κίνα)	125
Ιαπωνία	415	Chongqing (Κίνα)	123
Γερμανία	356	Kanpur (Ινδία)	109
Αυστραλία	300	Lucknow (Ινδία)	109
Νότιος Αφρική	232	Τζακάρτα (Ινδονησία)	104
Ην. Βασίλειο	212	Shenyang (Κίνα)	101
Νότιος Κορέα	185		



Εικόνα 17. Η κατάσταση της ατμόσφαιρας πάνω από την Αθήνα (15 Σεπτ. 2009, εφημερίδα τα ΝΕΑ).

Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι οδικές μεταφορές αποτελούν την κυριότερη πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Στη χώρα μας, όπως και σε όλες τις

χώρες της ΕΕ άρχισε να εφαρμόζεται από το 2008, ο κανονισμός 2008/81EC (NECD: National Emission Ceilings Directiva), με τον οποίο καθορίζονται τα πλαίσια μέσα στα οποία θα πρέπει να περιορίζεται η ατμοσφαιρική εναπόθεση ρύπων, έτσι ώστε να διασφαλίζονται οι απαραίτητοι κανόνες υγιεινής.

2.3 Ρύπανση των υδάτων

Η ανάγκη ελέγχου της ρύπανσης των υδάτινων οικοσυστημάτων έγινε αντιληπτή και επιτακτική τα τελευταία χρόνια, λόγω της αύξησης των επιπέδων των οργανικών και ανόργανων ρύπων*. Περισσότερες από 1500 νέες χημικές ενώσεις διοχετεύονται κάθε χρόνο στο περιβάλλον εμπλουτίζοντας τους 100.000 είδη γνωστούς ρυπογόνους παράγοντες. Οι περιβαλλοντικοί ρύποι (xenobiotics), ανήκουν σε διάφορες κατηγορίες που περιλαμβάνουν βαρέα μέταλλα, πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAHs), πολυχλωριομένα διφαινύλια (PCBs), διοξίνες, δι-βενζοφουράνια, οργανομεταλλικά στοιχεία, νιτρο-αρωματικές ενώσεις, οργανοχλωρίνες κ.α.

Οι ρυπογόνες ουσίες εισέρχονται στα οικοσυστήματα ως συνέπεια της ανθρώπινης δραστηριότητας είτε χωρίς πρόθεση, π.χ., πυρηνικά ατυχήματα, εξόρυξη μετάλλων, ατυχήματα πλοίων και φωτιές, είτε με πρόθεση π.χ., απελευθέρωση λυμάτων και εργοστασιακών αποβλήτων σε υπονόμους και υδάτινες δεξαμενές, ψεκασμοί και χρήση βιοκτόνων. Οι πιο σημαντικοί ρύποι που χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή ανήκουν στην κατηγορία των αλογονομένων υδρογονανθράκων, όπως το χλωροφόρμιο (CHCl_3), το διχλωροαιθάνιο (CH_2CHCl_2) και ο τετραχλωράνθρακας (CCl_4), η τοξική δράση των οποίων μπορεί να προκαλέσει βλάβες σε ζωντανούς οργανισμούς και ευαίσθητα οικοσυστήματα.

**Η μείωση του διαθέσιμου όγκου πόσιμου νερού θα αποτελέσει σημαντικό πρόβλημα για τις επόμενες γενιές. Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού της γης, η μαζική κατανάλωση, η χρησιμοποίησή του στη γεωργία και στη σύγχρονη βιομηχανία, η κατάχρηση των φυσικών πόρων και η υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτινου όγκου, αποτελούν μόνο μέρος της ευθύνης του ανθρώπου για τη μείωση της διαθεσιμότητας του πόσιμου νερού. Οι προβλέψεις για το άμεσο μέλλον είναι δυσοίωνες, μιας και πλεονάζοντα αποθέματα νερού θα υπάρχουν μόνο σε ορισμένες χώρες του πλανήτη, όπως ο Καναδάς.*

Σύμφωνα με την έρευνα της UNESCO που πραγματοποιήθηκε το 2003 για τα παγκόσμια αποθέματα νερού, στα επόμενα 20 χρόνια η ποσότητα του νερού που αναλογεί στον καθένα προβλέπεται να μειωθεί κατά 30%. Ένα μεγάλο ποσοστό (περίπου 40%) του ανθρώπινου πληθυσμού πάνω στη γη δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό νερό, ενώ περισσότεροι από 2,2 εκατομμύρια άνθρωποι πέθαναν το 2000 από ασθένειες που σχετίζονται με την κατανάλωση μολυσμένου νερού ή με ξηρασία. Το 2004, σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τη φιλανθρωπική οργάνωση WaterAid αναφέρεται ότι στη Βρετανία ένα παιδί πεθαίνει κάθε 15 δευτερόλεπτα από ασθένειες που σχετίζονται με το νερό.

2.3.1 Ρύπανση επιφανειακών νερών

Η απελευθέρωση-διοχέτευση λυμάτων σε επιφανειακά νερά αντιπροσωπεύει μία σημαντική πηγή ρύπανσης παγκοσμίως. Η ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων νερών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη δυνατότητα ανανέωσής τους. Συγκεκριμένα, οι λίμνες έχουν μικρή ικανότητα ανανέωσης των υδάτων τους, με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ευαισθησία από τα ποτάμια και τις θάλασσες.

Σε γενικές γραμμές, τα υδάτινα περιβάλλοντα έχουν την ικανότητα αντίδρασης στη ρύπανση, μέσω μιας σειράς μηχανισμών επαναφοράς του οικοσυστήματος. Συγκεκριμένα, φαινόμενα αυτοκαθαρισμού του νερού σχετίζονται με την ικανότητα ανακύκλωσής του, η οποία περιλαμβάνει (α) φυσικούς μηχανισμούς (διάλυση, καθίζηση, προσρόφηση, απορρόφηση, ιοντοανταλλαγή, διάβρωση), (β) χημικούς μηχανισμούς (οξειδοαναγωγή, υδρόλυση, συμπλοκοποίηση, καταβύθιση, συσσωμάτωση), και (γ) βιολογικούς μηχανισμούς (βακτηριακή αποσύνθεση των διαλυτών ουσιών, κατανάλωση από ανώτερους οργανισμούς, κατανάλωση από φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς). Από την άλλη πλευρά, τα υπόγεια νερά χαρακτηρίζονται από μικρή ικανότητα αυτοκαθαρισμού και αποτελούν ευαίσθητους αποδέκτες γεωργικών απορροών και/ή αστικών λυμάτων, με αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών αλάτων (NO_3^-), καθώς και άλλων επιβαρυντικών ουσιών.

Η διοχέτευση οικιακών αποβλήτων σε δίκτυο υπονόμων, π.χ., ουρία, κόπρανα, σαπούνι και συνθετικά απορρυπαντικά, καθώς και βιομηχανικών

αποβλήτων στο αποχετευτικό δίκτυο ή στα επιφανειακά νερά, αποτελούν κύριες πηγές ρύπανσης των υδάτων, ενώ προκαλούν δυσμενείς επιπτώσεις στους οργανισμούς. Τα βασικά χαρακτηριστικά των λυμάτων είναι οι τιμές των αιωρούμενων σωματιδίων, το COD (Chemical Oxygen Demand/ τιμές αιθάλης σε «χημικό» οξυγόνο) και το BOD (Biochemical Oxygen Demand). Το COD αντιστοιχεί στο ποσό του οξυγόνου που απαιτείται για να επιτευχθεί η χημική οξείδωση ενός λίτρου αποβλήτων. Το BOD αντιστοιχεί στο ποσό του διαλυμένου οξυγόνου σε ένα λίτρο αποβλήτων, που χρησιμοποιούν οι μικροοργανισμοί για την οξείδωση του οργανικού φορτίου.

Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι βιομηχανικών αποβλήτων που διοχετεύονται σε επιφανειακά νερά, όπως βαρέα μέταλλα που προέρχονται από την εξόρυξη και χύτευση μεταλλευμάτων, χλωροφαινόλες και μυκητοκτόνα, τα οποία χρησιμοποιούνται σε εργοστάσια επεξεργασίας χαρτοπολτού, εντομοκτόνα, τα οποία προέρχονται από εργοστάσια παραγωγής εντομοκτόνων-σκωροκτόνων, καθώς και οργανικά χημικά που προέρχονται από χημικές βιομηχανίες.

Διάφορα βιοκτόνα ψεκάζονται συχνά σε επιφανειακά νερά για τον πληθυσμιακό έλεγχο ασπόνδυλων και φυτών. Φυτοκτόνα χρησιμοποιούνται για την καταπολέμηση ζιζανίων σε λίμνες και άλλες υδάτινες περιοχές, ενώ εντομοκτόνα χρησιμοποιούνται για την καταπολέμηση παρασίτων των ψαριών σε ιχθυοκαλλιέργειες. Επιπλέον, εισροή αέριων ρύπων σε επιφανειακά νερά μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της καθίζησης σκόνης, της βροχής και του χιονιού, αλλά και μέσω της απόπλυσης χερσαίων ρυπογόνων ουσιών, π.χ., μέταλλα, παρασιτοκτόνα, εντομοκτόνα, οι οποίοι μέσω των ρεόντων υδάτων καταλήγουν σε υδάτινες δεξαμενές (λίμνες, ποτάμια, θάλασσες). Ιδιαίτερα στην περίπτωση των εκβολών των ποταμών, παρατηρείται σημαντική παρακράτηση στερεών σωματιδίων και θρεπτικών συστατικών, τα οποία υπό κατάλληλες συνθήκες προκαλούν ευτροφικά φαινόμενα.

2.3.1.1 Ευτροφισμός

Η χρησιμοποίηση λιπασμάτων, απορρυπαντικών, καθώς και η απόρριψη λυμάτων με μεγάλη περιεκτικότητα σε νιτρικά και φωσφορικά άλατα, επιταχύνει τη φυσική διεργασία του ευτροφισμού. Συγκεκριμένα, η αύξηση της ποσότητας των αζωτούχων και φωσφορικών ενώσεων, λόγω της αποσύνθεσης

των οργανικών ενώσεων, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική και απότομη αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής των υδάτων, η οποία ακολουθείται από αυξημένη βακτηριακή δραστηριότητα και επακόλουθη αύξηση της οργανικής ύλης που επικάθεται στα ιζήματα. Ο ευτροφισμός συντελεί στην υποβάθμιση της ποιότητας του νερού, αλλά και των αλιευμάτων, στην αλλαγή της σύνθεσης της Βιοκοινότητας, την αύξηση του μικροβιακού φορτίου (παθογόνοι μικροοργανισμοί) και τη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στα βαθύτερα υδάτινα στρώματα. Στην **Εικόνα 18** απεικονίζονται τα κυριότερα στάδια του ευτροφισμού και οι επιπτώσεις του στους υδρόβιους οργανισμούς και στο ίδιο το οικοσύστημα.

Σε γενικές γραμμές οι κύριοι δείκτες ανάπτυξης/εμφάνισης ευτροφικών φαινομένων σε μια λίμνη είναι οι παρακάτω:

Βιολογικοί δείκτες

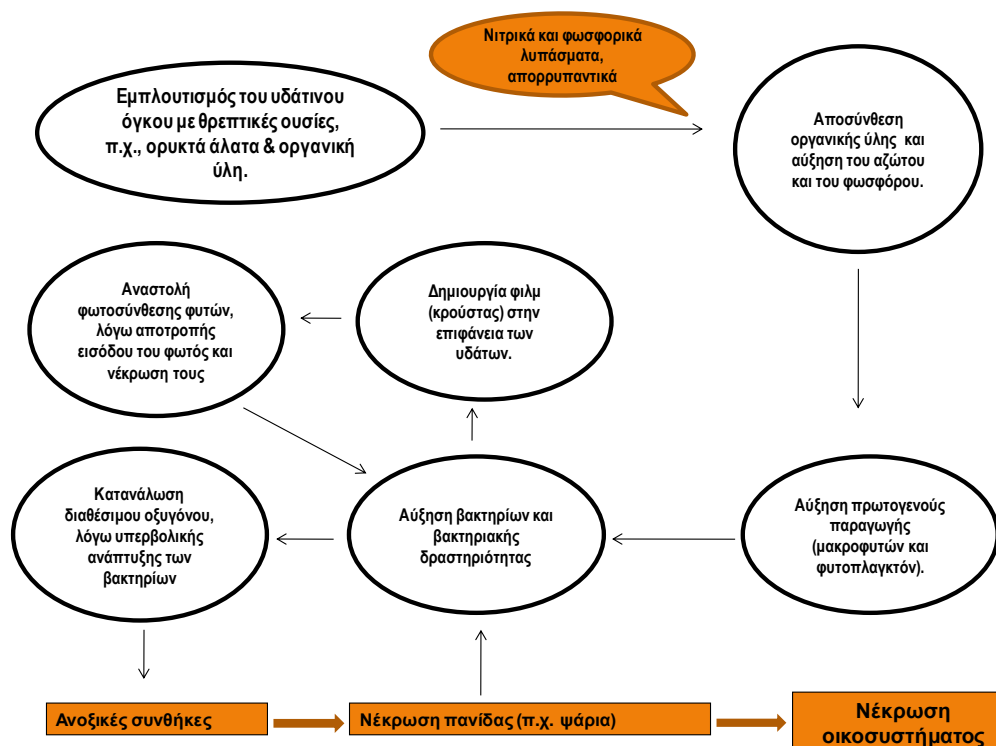
- μείωση της ποικιλίας των βενθικών και φυτοπλαγκτονικών ειδών
- αύξηση πρωτογενούς παραγωγικότητας (μεγαλύτερη από 200 g C/m³ ανά έτος)
- αύξηση βιομάζας των φυκών και της χερσαίας βλάστησης
- αύξηση βακτηριακής πυκνότητας
- αύξηση αριθμού βενθικών και πλαγκτονικών ειδών, που αποτελούν δείκτες ρύπανσης.

Χημικοί δείκτες

- έλλειμμα οξυγόνου στον πυθμένα
- υπερκορεσμός οξυγόνου στην επιφάνεια
- αύξηση ανόργανου αζώτου και φωσφόρου και του ολικού αζώτου και φωσφόρου
- αύξηση του λόγου N/P του νερού
- μεταβολή του pH του νερού
- μεταβολή σύστασης του ιζήματος του πυθμένα.

Φυσικοί δείκτες

- μείωση μέσου βάθους του υδάτινου οικοσυστήματος
- μείωση διαφάνειας του νερού.



Εικόνα 18. Σχηματική αναπαράσταση των βασικών σταδίων που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια του φαινομένου του ευτροφισμού και επιπτώσεις του στους υδρόβιους οργανισμούς και στο οικοσύστημα.

2.3.2 Ρύπανση υπόγειων υδάτων

Παρά το γεγονός ότι τα υπόγεια ύδατα αποτελούν ένα μικρό ποσοστό των υδάτων που υπάρχουν στον πλανήτη μας, η ποσότητά τους παραμένει σε μια δυναμική κατάσταση, μιας και μπορεί να βρίσκεται σε συνεχή κυκλοφορία και σε διάφορες φάσεις (υγρή, στερεά, αέρια). Τα υπόγεια ύδατα βρίσκονται αποθηκευμένα στα διάκενα των εδαφών ή πετρωμάτων του εδάφους, που ονομάζονται υδροφορείς (αποθέσεις άμμων και χαλικιών, αργιλικά εδάφη, φακοί αργίλου σε εναλλαγή με αμμώδη εδάφη).

Τα υπόγεια ύδατα αποτελούν μια βασική πηγή παροχής νερού για τις περισσότερες χώρες και πολλές προσπάθειες πραγματοποιούνται στις μέρες μας για τη διασφάλιση της ποιότητάς τους, μέσω της αποφυγής της ρύπανσης. Για παράδειγμα, οι γεωργικές, οι βιομηχανικές και αστικές δραστηριότητες, σε συνδυασμό με φαινόμενα εισβολής αλμυρών νερών σε παράκτιες περιοχές, λόγω υπεράντλησης των υδροφορέων, αποτελούν σημαντικές πηγές ρύπανσης των υπόγειων υδάτων. Άλλες σημαντικές πηγές ρύπανσης αποτελούν τα

ραδιενεργά απόβλητα, καθώς και φαινόμενα ρύπανσης που οφείλονται κατά κύριο λόγο σε φυσικές διεργασίες (**Πίνακας 11**).

Πίνακας 11. Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης των υπόγειων υδάτων (πηγή Λατινόπουλος και Θεοδοσίου, 2007).

Πηγή προέλευσης		
Επιφάνεια του εδάφους	Ρύπανση πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα	Ρύπανση κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα
Ακάθαρτα επιφανειακά νερά	Επιφανειακές δεξαμενές διάθεσης αποβλήτων	Διάθεση αποβλήτων σε εκσκαφές με νερό
Διάθεση στερεών και ρευστών αποβλήτων	Διαρροή από υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης	Αγροτικά πηγάδια στράγγισης και αρδευτικές διώρυγες
Σκουπιδότοποι	Σηπτικοί και διηθητικοί βόθροι	Υπεδάφια αποθήκευση
Απόβλητα & λάσπη από σταθμούς επεξεργασίας Ρίψη αλατιού στους δρόμους Ζωοτροφές, κτλ.	Διαρροή από υπόγειους σωλήνες Χώροι ταφής απορριμμάτων Λεκάνες αποστράγγισης και στερεμένα πηγάδια	Διάθεση αποβλήτων με πηγάδια Ορυχεία
Λιπάσματα, φυτοφάρμακα	Τεχνητός εμπλουτισμός	Εγκαταλειμμένα πηγάδια
Διαρροές από ατυχήματα	Ρίψη αποβλήτων σε εκσκαφές	Πηγάδια ύδρευσης
Ατμοσφαιρικές ουσίες	Νεκροταφεία	Ανάπτυξη υδατικών πόρων

Από τις αστικές και οικιακές δραστηριότητες προέρχονται κυρίως τα στερεά απορρίμματα και τα αστικά λύματα. Η ρύπανση από βιομηχανικές δραστηριότητες χαρακτηρίζεται από την τεράστια ποικιλία οργανικών και ανόργανων ουσιών που διακρίνονται (α) σε βιομηχανικά απόβλητα που διοχετεύονται σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, καθώς και στο έδαφος, (β) διαρροές και (γ) ατυχήματα.

Οι κυριότερες ρυπογόνες ουσίες που προέρχονται από αγροτικές δραστηριότητες είναι τα ζωικά λύματα, τα άλατα των αρδεύσεων και τα

διάφορα χημικά που εφαρμόζονται στους αγρούς, όπως οι οργανικές και ανόργανες ενώσεις του αζώτου, του φωσφόρου και του καλίου που υπάρχουν στα εμπορικά λιπάσματα, καθώς και τα εντομοκτόνα και τα ζιζανιοκτόνα. Μικρής έκτασης σημειακή ρύπανση μπορεί να προκληθεί από δραστηριότητες τοπικού χαρακτήρα, που σχετίζονται με τη διάθεση αποβλήτων, ζωικών, γεωργοχημικών ή φυτικών, ή από την αποθήκευση διάφορων χημικών ουσιών, λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων κ.λπ.

Η ραδιενεργή ρύπανση των υπόγειων υδάτων προέρχεται κυρίως από βιομηχανικές μονάδες ατομικής ενέργειας και κάθε μορφής πυρηνικών τεχνολογιών. Οι ραδιενεργές ουσίες που βρίσκονται στο υπόγειο νερό είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία ακόμα και σε πολύ μικρές τιμές των συγκεντρώσεών τους.

Η ρύπανση που προέρχεται από φυσικές διεργασίες σχετίζεται με τη διείσδυση θαλασσινού νερού, καθώς και ατμοσφαιρικών ρύπων, τον επαγωγικό εμπλουτισμό υδροφορέων με ακάθαρτα επιφανειακά νερά, τη θερμική ρύπανση και τον τεχνητό εμπλουτισμό. Η διείσδυση θαλασσινού νερού μπορεί να προκληθεί είτε ακούσια είτε μέσω υπεράντλησης παράκτιων υδροφορέων και αποτελεί τον σημαντικότερο τύπο ρύπανσης φυσικής προέλευσης ειδικά για την Ελλάδα, λόγω της έντονης οικιστικής δομής των ακτών της. Η ρύπανση των υπόγειων νερών από ατμοσφαιρικούς ρύπους γίνεται μέσω των σταγόνων της βροχής. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις αποτελούν ρύποι κυρίως ανθρωπογενούς προέλευσης, όπως οι αέριες εκπομπές βιομηχανιών, τα καυσαέρια καθώς και διάφορες μορφές αστικών πηγών (καυστήρες θέρμανσης κατοικιών κτλ.). Επίσης, ο επαγωγικός εμπλουτισμός από επιφανειακούς αποδέκτες, όπως ποτάμια ή λίμνες, που συνδέονται υδραυλικά μ' αυτούς, έχει ως συνέπεια τη μεταφορά οργανικών και ανόργανων ενώσεων, αλλά και παθογόνων μικροοργανισμών και ιών από τα επιφανειακά στα υπόγεια νερά. Ο τύπος αυτής της ρύπανσης εμφανίζει έξαρση κυρίως σε περιοχές με βαριά βιομηχανία. Τέλος, η θερμική ρύπανση (ανεπιθύμητη αύξηση της θερμοκρασίας) των υπόγειων νερών, καθώς και η ρύπανση από τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφορέων είναι δύο τύποι ρύπανσης μικρής συνήθως έκτασης.

2.3.3 Ρύπανση θαλασσών

Τις τελευταίες δεκαετίες έγινε αντιληπτό στην παγκόσμια κοινότητα η ανάγκη θέσπισης μέτρων για την αντιμετώπιση της θαλάσσιας ρύπανσης, με κύριο στόχο την προστασία του πλούτου των θαλάσσιων οικοσυστημάτων.

Το θαλάσσιο περιβάλλον περιλαμβάνει την παράκτια θαλάσσια ζώνη, τις εκβολές των ποταμών, το τμήμα της ανοιχτής θάλασσας, τον θαλάσσιο πυθμένα, καθώς και όλα τα θαλάσσια οικοσυστήματα. Η παράκτια ζώνη αποτελεί τη γεωγραφική περιοχή στην οποία οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ του θαλάσσιου και χερσαίου τμήματος συμβαίνουν σε μορφή σύνθετων οικολογικών συστημάτων, που προκαλούνται από βιοτικά και αβιοτικά συστατικά, συνυπάρχοντας και αλληλοεπιδρώντας με τις ανθρώπινες κοινωνίες και τις σχετικές κοινωνικό-οικονομικές δραστηριότητες (Πρωτόκολλο Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Παράκτιων Περιοχών, της Σύμβασης της Βαρκελώνης, 1976, με τροποποίηση το 1995), συνδέεται με ένα πλήθος ανθρώπινων δραστηριοτήτων (π.χ. τουρισμός, εμπόριο, θαλάσσια βιοτεχνολογία, αλιεία, ναυσιπλοΐα, παραγωγή ενέργειας και πόσιμου νερού, μέσω της αφαλάτωσης και υποθαλάσσια επικοινωνία).

Οι παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο στον υποβιβασμό της ποιότητας του θαλάσσιου περιβάλλοντος σχετίζονται κυρίως με την ανθρώπινη δραστηριότητα (π.χ. έντονη αστικοποίηση των παράκτιων περιοχών, βιομηχανική δραστηριότητα, χρήση του πετρελαίου ως τη βασική πηγή ενέργειας, αύξηση των θαλάσσιων μεταφορών, κυρίως πετρελαιοειδών και χημικών ουσιών, και χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων). Επιπρόσθετα, η πληθυσμιακή έκρηξη και η υπερκατανάλωση που παρατηρείται κυρίως σε αναπτυσσόμενες χώρες τις τελευταίες δεκαετίες, φαίνεται να συντελούν στη διαίωνη των προβλημάτων που σχετίζονται με το φαινόμενο της θαλάσσιας ρύπανσης. Ειδικότερα, το θαλάσσιο περιβάλλον κλειστών γεωγραφικά περιοχών, όπως η Μεσόγειος, δέχεται τεράστιες περιβαλλοντικές πιέσεις, αφενός λόγω των φυσικών διεργασιών και αφετέρου λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας (**Πίνακας 12Α-Β**) (2017/845/ΕΚ).

Πίνακας 12. Πιέσεις (Α) φυσικής και (Β) ανθρωπογενούς προέλευσης, σε συνδυασμό με τις επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον (Οδηγία 2008/56/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου).

A	Επιπτώσεις
Φυσικές απώλειες	<ul style="list-style-type: none"> - Κάλυψη (π.χ. με την κατασκευή ανθρωπογενών δομών, την απομάκρυνση της λάσπης από βυθοκορήσεις, π.χ. η απομάκρυνση υλικών από το βυθό υδάτινου πόρου (θάλασσα, λίμνη, ποτάμι)) - Σφράγιση (που οφείλεται σε μόνιμες κατασκευές).
Φυσικές ζημιές	<ul style="list-style-type: none"> - Μεταβολές της προσάμμωσης (π.χ. απορροή, βυθοκόρηση, απορρίψεις/απομάκρυνση λάσπης από βυθοκορήσεις). - Διάβρωση (π.χ. επίπτωση στον βυθό από εμπορική αλιεία, ναυσιπλοΐα, αγκυροβόληση). - Επιλεκτική εξαγωγή (π.χ. εξερεύνηση και εκμετάλλευση έμψυχων και άψυχων πόρων στον πυθμένα και το υπέδαφος).
Αλληλεπίδραση με υδρολογικές διαδικασίες	<ul style="list-style-type: none"> - Σημαντικές μεταβολές της θερμικής κατάστασης (π.χ. απορροές από σταθμούς παραγωγής ενέργειας) - Σημαντικές μεταβολές της αλατότητας (π.χ. από κατασκευές που εμποδίζουν τις κινήσεις των υδάτων, υδροληψία)
Συστηματική ή/και σκόπιμη ελευθέρωση ουσιών	Εισαγωγή άλλων ουσιών, στερεών, υγρών ή αερίων, σε θαλάσσια ύδατα, λόγω συστηματικής ή/ και σκόπιμης ελευθέρωσης στο θαλάσσιο περιβάλλον, όπως επιτρέπουν, η κοινοτική νομοθεσία ή/και οι διεθνείς συμβάσεις.
B	Επιπτώσεις
Ρύπανση από επικίνδυνες ουσίες	<ul style="list-style-type: none"> - Εισαγωγή συνθετικών ενώσεων (π.χ. ουσίες προτεραιότητας της οδηγίας 2000/60/ΕΚ, όπως φυτοφάρμακα, αντιρρυπαντικές ουσίες, φαρμακευτικές ουσίες, π.χ. λόγω διαρροών από πηγές διάχυσης, ρύπανσης από πλοία, ατμοσφαιρικών εναποθέσεων και βιολογικά δραστικές ουσίες). - Εισαγωγή μη συνθετικών ουσιών και ενώσεων (π.χ. βαρέα μέταλλα, υδρογονάνθρακες π.χ. λόγω ρύπανσης από πλοία και πετρέλαιο, αέριο και μεταλλευτική έρευνα και εκμετάλλευση, ατμοσφαιρικών εναποθέσεων, εισροών ποταμίων υδάτων). - Εισαγωγή ραδιενεργών νουκλεϊδίων.
Άλλες φυσικές οχλήσεις	<ul style="list-style-type: none"> - Υποβρύχιες ηχητικές οχλήσεις (π.χ. από ναυτιλία, υπόγειο ακουστικό εξοπλισμό). - Θαλάσσια ρύπανση από απορρίμματα.
Εμπλουτισμός με θρεπτικές ουσίες και οργανική ύλη	<ul style="list-style-type: none"> - Εναποθέσεις λιπασμάτων και άλλων ουσιών πλούσιων σε άζωτο και φώσφορο (π.χ. γεωργία, οι υδατοκαλλιέργειες, ατμοσφαιρικές εναποθέσεις). - Εισαγωγή οργανικής ύλης (π.χ. υπόνομοι, υδατοκαλλιέργειες, εισροές ποταμίων υδάτων).
Βιολογικές οχλήσεις	<ul style="list-style-type: none"> - Εισαγωγή παθογόνων μικροβιακών οργανισμών - Εισαγωγή μη αυτοχθόνων ειδών και μετατοπίσεις - Επιλεκτική εξαγωγή βιολογικών ειδών, συμπεριλαμβανομένης συμπτωματικής παράπλευρης αλίευσης (π.χ. μέσω εμπορικής και ψυχαγωγικής αλιείας)

Σύμφωνα με στοιχεία της παγκόσμιας οργάνωσης UNEP για την κατάσταση του θαλάσσιου περιβάλλοντος (UNEP, 1990), οι κυριότερες πηγές ρύπανσης σχετίζονται με ανθρώπινες δραστηριότητες που πραγματοποιούνται στη ξηρά (land based discharges) και στην ατμόσφαιρα (atmospheric inputs), ενώ άλλες δραστηριότητες καταλαμβάνουν μικρότερα ποσοστά συμμετοχής στην ανάπτυξη του φαινομένου (**Πίνακας 13**).

Πίνακας 13. Σημαντικότερες πηγές της θαλάσσιας ρύπανσης και ποσοστιαία συμμετοχή τους στην ανάπτυξη του φαινομένου (Αλεξόπουλος, 2004).

Πηγή	% συμμετοχή
Ρύπανση από χερσαίες πηγές (απορροές και απόβλητα)	44
Εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων	33
Εξορύξεις υποθαλάσσιων κοιτασμάτων πετρελαίου	1
Ρύπανση από ναυτιλιακές δραστηριότητες	12
Απορρίψεις-ποντίσεις	10

Οι κυριότερες ρυπογόνες ουσίες που εισέρχονται στη θάλασσα από την ξηρά είναι τα βιομηχανικά λύματα, τα απορρίμματα και τα χημικά που διοχετεύονται απευθείας στη θάλασσα ή χρησιμοποιούνται ως λιπάσματα και φυτοφάρμακα στις γεωργικές καλλιέργειες, ενώ το θερμό ύδωρ από υδροηλεκτρικούς σταθμούς που βρίσκονται στις κοίτες των ποταμών ή στις ακτές μπορεί να προκαλέσει σημαντική ρύπανση σε κλειστούς κόλπους και ημίκλειστες θαλάσσιες περιοχές. Επίσης, διάφορα ραδιενεργά απόβλητα απορρίπτονται στη θάλασσα μέσα σε αεροστεγή μεταλλικά κιβώτια, με τον κίνδυνο διαρροής και εξάπλωσή τους στον υδάτινο όγκο, μετά από διαδικασίες διάβρωσης των μεταλλικών κιβωτίων.

Η ρύπανση που προκαλείται από τις θαλάσσιες μεταφορές αποτελεί σημαντικό πρόβλημα σε περιοχές όπως η Μεσόγειος Θάλασσα, μιας και οι επιπτώσεις της είναι ορατές σε σύντομο χρονικό διάστημα, λόγω των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής. Τα είδη των ρύπων που εισέρχονται στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι το πετρέλαιο σε όλες τις μορφές και τα παράγωγά του, καθώς και χημικά και ρευστοποιημένα αέρια, λύματα ερματισμού, σκουπίδια, συσκευασμένα προϊόντα κ.α.

Είναι γνωστό ότι το συντριπτικό ποσοστό των μεταφορών μεταξύ Ευρώπης και του υπόλοιπου κόσμου πραγματοποιείται μέσω των λιμανιών της

Μεσογείου. Δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι κάθε χρόνο συμβαίνουν περίπου 60 ατυχήματα, από τα οποία ένα μεγάλο ποσοστό αφορά πλοία τα οποία μεταφέρουν πετρελαιοειδή και διάφορα χημικά προϊόντα. Ειδικότερα, περιοχές με έντονη θαλάσσια κυκλοφορία, όπως τα στενά του Γιβραλτάρ και των Δαρδανελίων, οι πορθμοί της Μεσσηνίας και της Σικελίας, καθώς και μεγάλα εμπορικά λιμάνια, όπως του Πειραιά, της Γένοβα, της Τεργέστης κ.α., αποτελούν «καυτά σημεία» ρύπανσης.

Η ρύπανση που προκαλείται από τις θαλάσσιες μεταφορές μπορεί να διακριθεί σε λειτουργική και σε ρύπανση λόγω ατυχημάτων. Η λειτουργική ρύπανση σχετίζεται με τις λειτουργικές διαδικασίες ενός πλοίου, όπως (α) διαρροές κατά τη φόρτωση και την εκφόρτωση, ή κατά τον ερματισμό και αφερματισμό, (β) διαρροές κατάλοιπων στους χώρους φορτίου και μηχανοστασίου, (γ) απορρίψεις αποβλήτων κατά την πλύση των δεξαμενών του πλοίου, (δ) μεταγγίσεις καυσίμων, καθώς και (ε) ρύπανση που προκαλείται από λύματα και απορρίμματα του πλοίου. Από την άλλη πλευρά, το μεγαλύτερο ποσοστό ατυχημάτων που συμβαίνουν στη θάλασσα οφείλεται σε ανθρώπινο σφάλμα και περιλαμβάνει (α) συγκρούσεις ή επαφές πλοίων τόσο μεταξύ τους όσο και με μόνιμες εγκαταστάσεις, (β) προσαράξεις, (γ) εκρήξεις και φωτιές, (δ) βυθίσεις και (ε) ζημιές στη δομή του πλοίου.

Το πετρέλαιο είναι το κυριότερο είδος ρυπογόνου ουσίας που συμβάλλει στη ρύπανση των θαλασσών, μιας και είναι άμεσα ορατό στην επιφάνεια της θάλασσας με τη μορφή των πετρελαιοκηλίδων. Σύμφωνα με στοιχεία της Αμερικάνικης Εθνικής Ακαδημίας Επιστημών (US National Academy of Sciences) το 1990 εισήλθαν στη θάλασσα 569.000 τόνοι πετρελαίου, από τους οποίους ένα σημαντικό ποσό (περίπου 121.000 τόνοι) προέρχονται από ατυχήματα πλοίων και από διεργασίες φορτοεκφόρτωσης στα λιμάνια (περίπου 36.000 τόνοι), ενώ οι συνήθεις λειτουργίες των πλοίων είναι υπεύθυνες για το 70% της εκροής πετρελαιοειδών στη θάλασσα.

Στην περιοχή της Μεσογείου έχουν συμβεί κατά καιρούς σοβαρά ατυχήματα με απελευθέρωση τεράστιων ποσοτήτων πετρελαίου στη θάλασσα (**Πίνακας 14**), ενώ σημαντικός είναι ο αριθμός των πετρελαιοκηλίδων που έχουν εντοπιστεί στον ελλαδικό χώρο (**Εικόνα 19**).

Πίνακας 14. Ατυχήματα δεξαμενόπλοιων στη Μεσόγειο (Αλεξόπουλος, 2004).

Όνομα πλοίου	Ημερ/νια συμβάντος	Περιοχή ατυχήματος	Πετρέλαιο (σε τόνους)
Amoco Cadiz	16-03-1978	Γαλλία	221.000
Urquiola	12-05-1976	Ισπανία	100.000
Independenta	15-11-1975	Τουρκία	95.000
Jakob Maersk	29-01-1975	Πορτογαλία	88.000
Patmos	21-03-1985	Ιταλία	83.000
Irenes Serenade	23-02-1980	Ελλάδα	82.000
Khark 5	19-12-1989	Μαρόκο	80.000
Aegean Sea	03-12-1992	Ισπανία	74.000
Haven	11-04-1991	Ιταλία	50.000
Andros Patria	21-12-1978	Ισπανία	48.000
J.A. Lavalleja	28-12-1980	Αλγερία	39.000
Trader	11-06-1972	Ελλάδα	34.000

**Εικόνα 19.** Πετρελαιοκηλίδες στον Ελλαδικό χώρο (πηγή ΕΛΚΕΘΕ).

2.3.3.1 Νομοθετικό πλαίσιο προστασίας των υδάτινων οικοσυστημάτων και θαλάσσια στρατηγική

Μέχρι σήμερα τα κράτη μέλη της ΕΕ ακολουθούν τη νομοθεσία που άπτεται της προστασίας των υδάτινων οικοσυστημάτων και του θαλάσσιου

περιβάλλοντος (**Πίνακας 15**), προκειμένου να εξασφαλιστεί η βιώσιμη ανάπτυξη και διαχείριση των υδάτινων πόρων και των έμβιων οργανισμών.

Πίνακας 15. Νομοθεσία που σχετίζεται με την προστασία των υδάτινων πόρων και του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Οδηγία ΕΕ	Ρύθμιση
2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 19ης Νοεμβρίου 2008 /ΕΕ L 312 της 22.11.2008, σ. 3.	Οδηγία-πλαίσιο για τα απόβλητα
2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 23ης Οκτωβρίου 2000 /ΕΕ L 327 της 22.12.2000, σ. 1.	Οδηγία-πλαίσιο κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων
2009/147/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 30ής Νοεμβρίου 2009 /ΕΕ L 20 της 26.1.2010, σ. 7.	Οδηγία-πλαίσιο περί της διατήρησης των αγρίων πτηνών.
92/43/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 21ης Μαΐου 1992 /ΕΕ L 206 της 22.7.1992, σ. 7.	Οδηγία-πλαίσιο για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας.
91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 21ης Μαΐου 1991 /ΕΕ L 135 της 30.5.1991, σ. 40.	Οδηγία-πλαίσιο για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων.
1380/2013 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 11ης Δεκεμβρίου 2013, την τροποποίηση των κανονισμών (ΕΚ) αριθ. 1954/2003 και (ΕΚ) αριθ. 1224/2009 του Συμβουλίου και την κατάργηση των κανονισμών (ΕΚ) αριθ. 2371/2002 και (ΕΚ) αριθ. 639/2004 του Συμβουλίου και της απόφασης 2004/585/ΕΚ του Συμβουλίου/ΕΕ L 354 της 28.12.2013, σ. 22	Οδηγία-πλαίσιο σχετικά με την κοινή αλιευτική πολιτική.
Άρθρο. 14 της οδηγίας 2008/56/ΕΚ	Οδηγία-πλαίσιο για τη χρήση μέτρων χωροπροστασίας (π.χ. δημιουργία συνεκτικών και αντιπροσωπευτικών δικτύων θαλάσσιων προστατευόμενων περιοχών, όπως είναι οι ειδικές ζώνες διατήρησης σύμφωνα με την οδηγία για τους οικοτόπους, οι ζώνες ειδικής προστασίας σύμφωνα με την οδηγία για τα πτηνά ή άλλες προστατευόμενες περιοχές).

Δεδομένου ότι οι ανθρωπογενείς επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντική διαταραχή των θαλάσσιων οικοσυστημάτων, γεγονός που αποτελεί ένα σημαντικό «τροχοπέδη» στην προσπάθεια διατήρησης και βιώσιμης χρήσης των θαλάσσιων πόρων της Μεσογείου, η Οδηγία 2008/56/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (της 17ης Ιουνίου 2008, περί πλαισίου κοινοτικής δράσης στο πεδίο της πολιτικής για το θαλάσσιο περιβάλλον, ΕΕ L 164 της 25.6.2008, σ. 19-40) θέτει σαφείς οδηγίες για την θαλάσσια στρατηγική που πρέπει να ακολουθήσουν οι χώρες της ΕΕ προκειμένου να προστατεύσουν το θαλάσσιο περιβάλλον. Σύμφωνα με την οδηγία, τα κράτη μέλη είναι υποχρεωμένα (α) να αξιολογούν την ποιότητα του θαλάσσιου περιβάλλοντος, (β) να προσδιορίζουν την «καλή περιβαλλοντική κατάσταση», (γ) να καθορίζουν κατάλληλους περιβαλλοντικούς στόχους, (δ) να θέτουν κατάλληλα Προγράμματα Παρακολούθησης (Monitoring) και (ε) να εφαρμόζουν μέτρα για τη διασφάλιση της «καλής περιβαλλοντικής κατάστασης» όλων των θαλάσσιων υδάτων της ΕΕ έως το 2020.

Η περιβαλλοντική κατάσταση προσδιορίζεται μέσω (α) μέτρων αντιμετώπισης των πιέσεων που δέχεται το θαλάσσιο περιβάλλον) και (β) μέτρων αντιμετώπισης της κατάστασης/πίεσης που δέχεται η θαλάσσια βιοποικιλότητα (Πίνακες 16-17).

Πίνακας 16. Μέτρα προσδιορισμού της περιβαλλοντικής κατάστασης των θαλάσσιων οικοσυστημάτων, σύμφωνα με την οδηγία 2008/56/ΕΚ.

Συμβολισμός	Περιγραφή	Είδος μέτρου	
D2	Μη αυτόχθονα είδη (NIS)	Αντιμετώπιση πιέσεων	
D3	Εμπορικά εκμεταλλεύσιμοι ιχθύες και οστρακόδερμα		
D5	Ευτροφισμός (π.χ. εισροή θρεπτικών ουσιών).		
D7	Υδρογραφικές αλλοιώσεις/αλλαγές		
D8	Ρυπογόνες ουσίες στη θάλασσα		
D9	Ρυπογόνες ουσίες σε ψάρια και άλλα θαλασσινά		
D10	Θαλάσσια απορρίμματα		
D11	Ενέργεια, συμπεριλαμβανομένου του υποθαλάσσιου θορύβου		
D1	Βιοποικιλότητα		Αντιμετώπιση κατάστασης/πίεσης θαλάσσιας βιοποικιλότητας
D4	Δίκτυα θαλάσσιας τροφής		
D6	Ακεραιότητα του θαλάσσιου βυθού		

Πίνακας 17. Περιγραφή μέτρων αντιμετώπισης πιέσεων, σύμφωνα με την οδηγία 2008/56/ΕΚ.

Συμβολισμός	Περιγραφή
D2-Μη αυτόχθονα είδη (NIS)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Έλεγχος των θαλάσσιων μεταφορών και των υδατοκαλλιεργειών, για την αντιμετώπιση της απειλής της θαλάσσιας βιοποικιλότητας από την εισαγωγή και εξάπλωση μη ενδημικών ειδών, τα οποία μπορεί να απειλήσουν τη θαλάσσια βιοποικιλότητα (χωροκατακτητικά είδη).
D3-Εμπορικά εκμεταλλεύσιμοι ιχθύες και οστρακόδερμα	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Έλεγχος υπεραλίευσης που μπορεί να οδηγήσει στην προοδευτική εξάντληση και εξαφάνιση των αποθεμάτων. ➤ Ελαχιστοποίηση της πίεσης από την εμπορική και ερασιτεχνική αλιεία. ➤ Τήρηση μέγιστης βιώσιμης απόδοσης των αλιευτικών αποθεμάτων έως το 2020. ➤ Μείωση μεγέθους του αλιευτικού στόλου, των συνολικών αλιευμάτων και απαγόρευση της αλιείας ή ορισμένων αλιευτικών πρακτικών (π.χ. αλιεία με τράτες) σε ορισμένες περιοχές. ➤ Μείωση της πίεσης επί των αποθεμάτων που υφίστανται υπερ-εκμετάλλευση (π.χ. χρήση ειδικών αλιευτικών εργαλείων, στοχευμένοι χρονικοί/χωρικοί περιορισμοί και απαγορεύσεις). ➤ Θέσπιση μέτρων χωροπροστασίας (π.χ. δίκτυα Natura 2000, κ.λπ.).
D5-Ευτροφισμός (π.χ. εισροή θρεπτικών ουσιών).	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Αποφυγή υπερβολικών εισροών θρεπτικών και οργανικών ουσιών (κυρίως μέσω της γεωργίας, της βιομηχανίας, των αστικών λυμάτων, των υδατοκαλλιεργειών και της ναυτιλίας σε ορισμένες περιπτώσεις), με δυσμενείς επιπτώσεις για τις παράκτιες περιοχές και σε ύδατα μεγαλύτερου βάθους. ➤ Εφαρμογή σχεδίων διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών, σύμφωνα με τις οδηγίες <ul style="list-style-type: none"> - 2000/60/ΕΚ (οδηγία πλαίσιο για τα ύδατα). - 91/271/ΕΟΚ (οδηγία επεξεργασίας αστικών λυμάτων). - 91/676/ΕΚ (οδηγία για τη νιτρο-ρύπανση). - 2010/75/ΕΕ (οδηγία για τις βιομηχανικές εκπομπές). - 2007/60/ΕΚ (οδηγία για τις πλημμύρες). ➤ Προώθηση πρακτικών βιώσιμης υδατοκαλλιέργειας και γεωργίας. ➤ Καθορισμός περιοχών ελέγχου των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NOx) για τη ναυσιπλοΐα. ➤ Κατασκευή κατάλληλης λιμενικής υποδομής για το υγροποιημένο φυσικό αέριο. ➤ Έλεγχος των απορριμμάτων και των μη επεξεργασμένων λυμάτων από πλοία.
D7-Υδρογραφικές αλλοιώσεις/αλλαγές	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Έλεγχος μεταβολής των φυσικών ιδιοτήτων των θαλάσσιων υδάτων (π.χ. μεταβολές θαλάσσιων ρευμάτων, κυμάτων, παλίρροιας, θερμοκρασίας, pH, αλατότητας ή θολότητας), λόγω παράκτιας ανάπτυξης υποδομών, βυθοκόρησης, αμμοληψίας και αφαλάτωσης, επηρεάζοντας σημαντικά τα θαλάσσια είδη και ενδιαιτήματα). ➤ Εφαρμογή οδηγίας πλαίσιο για τα ύδατα, οδηγίας για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και οδηγίας για τη στρατηγική εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων. ➤ Τήρηση/θέσπιση κατάλληλων διαδικασιών αδειοδότησης που θα πρέπει να καλύπτουν όλες τις πιθανές πιέσεις και επιπτώσεις (π.χ. ανάπτυξη οδηγιών για τα σχετικά έργα υποδομής).
D8-Ρυπογόνες ουσίες στη θάλασσα	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Έλεγχος των εισροών γεωργικών φυτοφαρμάκων, αντιρρυπαντικών πλοίων, φαρμακευτικών προϊόντων, βιομηχανικών και αστικών λυμάτων.

D9-Ρυπογόνες ουσίες σε ψάρια και άλλα θαλασσινά	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Εξασφάλιση χαμηλών επιπέδων (εντός ασφαλών ορίων) των ρυπογόνων ουσιών στο θαλάσσιο περιβάλλον, μέσω τήρησης: <ul style="list-style-type: none"> - της οδηγίας 1881/2006/ΕΚ (καθορισμός μέγιστων επιτρεπτών επιπέδων για ορισμένες ουσίες οι οποίες επιμολύνουν τα τρόφιμα, ΕΕ L 364 της 20.12.2006, σ. 5). - των ρυθμιστικών προτύπων που εφαρμόζονται στην αλιεία και τα προϊόντα υδατοκαλλιέργειας (π.χ. ιχνηλασιμότητα, απαιτήσεις υγειονομικής ποιότητας, τις συνθήκες αναπαραγωγής και εκτροφής, κ.λπ.). - των οδηγιών για τη νιτρο-ρύπανση, τα αστικά λύματα, τις ατμοσφαιρικές εκπομπές (Οδηγία 2016/2284/ΕΚ), τη ρύπανση από τα πλοία (Οδηγία 2009/123/ΕΚ). - του κανονισμού REACH (καταχώριση, αξιολόγηση, αδειοδότηση και περιορισμοί χημικών προϊόντων).
D10-Θαλάσσια απορρίμματα	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Μακρο- και μικρο-απορρίμματα, κυρίως από πλαστικό, καταλήγουν στον βυθό της θάλασσας και στις παραλίες. ➤ Πηγές θαλάσσιων απορριμμάτων θεωρούνται: <ul style="list-style-type: none"> - ο τουρισμός και οι ψυχαγωγικές δραστηριότητες - τα αστικά απόβλητα - οι βιομηχανικές δραστηριότητες - η ναυτιλία - η εμπορική αλιεία. ➤ Τήρηση της νομοθεσίας για τη διαχείριση των αποβλήτων και των αστικών λυμάτων ή για τις λιμενικές εγκαταστάσεις παραλαβής αποβλήτων (Οδηγία 2000/59/ΕΚ). ➤ Λήψη μέτρων διαχείρισης αποβλήτων στον τομέα της αλιείας.
D11-Ενέργεια, συμπεριλαμβανομένου του υποθαλάσσιου θορύβου	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Η χρήση ενέργειας (π.χ. συστήματα θέρμανσης και ηλεκτροδότησης, ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες, ραδιοκύματα) και ο θόρυβος/δονήσεις, μπορούν να ασκήσουν πίεση στο θαλάσσιο περιβάλλον. ➤ Η ναυτιλία, η θαλάσσια έρευνα, οι υπεράκτιες πλατφόρμες παραγωγής ενέργειας και οι κατασκευαστικές εργασίες και δραστηριότητες στον τομέα της άμυνας αποτελούν κύριες πηγές ενέργειας και υποθαλάσσιου θορύβου. ➤ Η φύση του θορύβου (συνεχής ή παλμικός), καθώς και η συχνότητά του μπορεί να προκαλέσει σημαντικές διαταραχές στην ακοή και στην αναπαραγωγική επιτυχία των υδρόβιων οργανισμών. ➤ Προστασία θαλάσσιων περιοχών, μέσω ανάπτυξης «οικολογικών» πλοίων, τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων τύπων φώτων σε εξέδρες άντλησης πετρελαίου και φυσικού αερίου, κ.λπ.
D1-Βιοποικιλότητα	<p>Πτηνά</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Εφαρμογή της οδηγίας για τα πτηνά και της οδηγίας για τους οικοτόπους. ➤ Δημιουργία ζωνών ειδικής προστασίας και ειδικών ζωνών διατήρησης για την προστασία των ενδιαιτημάτων των πτηνών και των τόπων αναπαραγωγής, φωλιάσματος και εκτροφής. <p>Ψάρια και κεφαλόποδα</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Προστασία εμπορικών και μη εμπορικών ειδών, μέσω θεσμοθέτησης μέτρων χωροπροστασίας (δίκτυα Natura 2000), απαγορεύσεις αλιείας σε ορισμένες περιοχές, απαγόρευση αλιευτικών πρακτικών, όπως η αλιεία με τράτα. ➤ Λήψη χωροταξικών μέτρων για την προστασία ενδιαιτημάτων του θαλάσσιου βυθού που αποτελούν χώρους αναπαραγωγής και ανάπτυξης. <p>Θηλαστικά και ερπετά</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Η απώλεια ενδαιτημάτων, η ρύπανση και τα απορρίμματα, καθώς και ο υποθαλάσσιος θόρυβος μπορεί να επηρεάζουν φάλαινες, φώκιες και χελώνες. ➤ Εφαρμογή της οδηγίας για τους οικοτόπους και θεσμοθέτησης μέτρων χωροπροστασίας (δίκτυα Natura 2000). ➤ Λήψη χωροταξικών μέτρων για την προστασία ενδαιτημάτων που αποτελούν χώρους αναπαραγωγής και φωλιάσματος. ➤ Δράσεις ευαισθητοποίησης των αλιέων σχετικά με τις συνέπειες των επιθετικών τεχνικών αλιείας στα θηλαστικά και τις χελώνες ➤ Δράσεις ενθάρρυνσης επιλογής βιώσιμων τουριστικών δραστηριοτήτων.
D4- Δίκτυα θαλάσσιας τροφής	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Σχέδια διαχείρισης προστατευόμενων θαλάσσιων περιοχών. ➤ Εφαρμογή μέτρων χωροπροστασίας δικτύου Natura 2000 και της οδηγίας για τους οικοτόπους. ➤ Μείωση της συγκέντρωσης θρεπτικών και ρυπογόνων ουσιών και βελτίωση των υδρολογικών συνθηκών (αποφυγή ευτροφικών φαινομένων και ρύπανσης).
D6- Ακεραιότητα του θαλάσσιου βυθού	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Μείωση εμπορικής αλιείας με τράτες βυθού, προκειμένου να αποφευχθούν μακροχρόνιες/εκτεταμένες ζημιές, καθώς και η εξαφάνιση ευαίσθητων ενδαιτημάτων του θαλάσσιου βυθού. ➤ Έλεγχος δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τεχνητές προσχώσεις, λιμενικές εργασίες, διάθεση στερεών αποβλήτων (συμπεριλαμβανομένων των υλικών βυθοκόρησης), θαλάσσιες εξορύξεις άμμου και χαλικιού, τοποθέτησης υποβρύχιων καλωδίων και αγωγών, κ.λπ.

2.4 Ρύπανση εσωτερικών χώρων

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες κοινωνίες είναι η ρύπανση των εσωτερικών χώρων. Ήδη, από τα τέλη της δεκαετίας του 1960, επιστημονικές μελέτες έχουν αναφέρει ότι η πλειοψηφία των ανθρώπων, σε ποσοστό που μπορεί να φτάσει το 85%, περνούν τον περισσότερο χρόνο της ημέρας τους σε εσωτερικούς χώρους. Η ρύπανση των εσωτερικών χώρων (π.χ. οικίες, χώροι εργασίας, βρεφονηπιακοί σταθμοί, σχολεία, χώροι αναψυχής κ.λπ.) μπορεί να επέλθει από τη συσσώρευση υψηλών συγκεντρώσεων χημικών στοιχείων, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει σημαντικές επιπτώσεις, ανάλογα με την ευαισθησία ή/και ανοχή του κάθε ατόμου, ακόμα και από τη βρεφική ηλικία.

Η εσωτερική ρύπανση σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να αποβεί σημαντικότερη από την ρύπανση του εξωτερικού περιβάλλοντος, γεγονός που οφείλεται κατά κύριο λόγο στο χαμηλό ρυθμό αραίωσης των εσωτερικών ρύπων. Πηγές αυτού του είδους της ρύπανσης μπορεί να αποτελέσουν οι φούρνοι και τα καύσιμα για το μαγείρεμα και τη θέρμανση, η σκόνη, ο καπνός των τσιγάρων, κ.λπ.

Παρακάτω αναφέρονται περιληπτικά οι κυριότερες εστίες εσωτερικής ρύπανσης.

2.4.1 Οικιακό περιβάλλον

Η καύση στερεών και υγρών καυσίμων αποτελεί την κυριότερη πηγή ρύπανσης των οικιών, ειδικότερα σε αναπτυσσόμενες και υποανάπτυκτες κοινωνίες, οι οποίες χρησιμοποιούν στερεά καύσιμα (ξύλο, κάρβουνο, κ.ά.) για το μαγείρεμα και τη θέρμανση. Αποτέλεσμα της παραπάνω χρήσης είναι η συσσώρευση αιωρούμενων σωματιδίων και τοξικών ουσιών (π.χ. CO, SO₂, NO_x, VOCs κ.α.) με δυσμενείς επιπτώσεις για τους κατοίκους. Συγκεκριμένα, η ατελής καύση των ξύλων που χρησιμοποιούνται για το μαγείρεμα και τη θέρμανση, μπορεί να προκαλέσει πλήθος παθολογικών καταστάσεων, όπως η επιβράδυνση/βράχυνση της αναπνοής, χρόνια βήχα, συριγμό, σφίξιμο στο στήθος και καρκίνο του πνεύμονα.

Επίσης, τα προϊόντα καθαρισμού (π.χ., απορρυπαντικά, αποσμητικά χώρου, εντομοκτόνα κ.λπ.), μπορεί να προκαλέσουν την απελευθέρωση πτητικών οργανικών ενώσεων, η αντίδραση των οποίων με το όζον, μπορεί να

οδηγήσει στη δημιουργία δευτερογενών ρύπων, όπως καρβονυλικές ενώσεις (φορμαλδεΰδες και ακεταλδεΰδες), οργανικά οξέα, υπεροξειδία του υδρογόνου κ.ά. Για παράδειγμα, τα απορρυπαντικά μπορεί να προκαλέσουν δερματικές αλλεργίες, ενώ η φορμαλδεΰδη μπορεί να προκαλέσει μυελογενής λευχαιμία. Τα προϊόντα καθαρισμού προκαλούν πιο σοβαρές επιπτώσεις που σχετίζονται με γενετικές ανωμαλίες και διαταραχές στην αναπαραγωγή.

Ο καπνός και η στάχτη (*thirdhand smoke*) των τσιγάρων θεωρούνται σημαντικές πηγές εσωτερικής ρύπανσης. Ο καπνός είναι πηγή λεπτών αερολυμάτων και μπορεί να επιφέρει πολλές επιπτώσεις στην υγεία τόσο των ενηλίκων που δεν καπνίζουν, όσο και των παιδιών που θεωρούνται πιο ευπαθή στο παθητικό κάπνισμα σε σχέση με τους ενηλίκους. Συγκεκριμένα, το παθητικό κάπνισμα μπορεί να προκαλέσει βήχα, φλέμα, συριγμό, δύσπνοια, μειωμένη ανάπτυξη των πνευμόνων στα παιδιά, πνευμονία, βρογχίτιδα, άσθμα και καρκίνος του πνεύμονα. Το πρόβλημα με το κάπνισμα σε εσωτερικούς χώρους και ιδιαίτερα στο οικιακό περιβάλλον, φαίνεται να εντείνεται στις φτωχότερες οικογένειες. Τέλος, ο θόρυβος στον οποίο εκτίθενται καθημερινά οι κάτοικοι μέσα στα σπίτια τους (προερχόμενος από μέσα μεταφοράς, βιομηχανίες, εστιατόρια, γειτονικά σπίτια και διαμερίσματα) εντείνει φαινόμενα ηχορύπανσης, προκαλώντας πολλά προβλήματα υγείας, όπως η απώλεια ακοής μέσω καταστροφής των κυττάρων του εσωτερικού αυτιού, η υπερένταση, η ενόχληση και η διαταραχή του ύπνου (περίπου 20% των ατόμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση δέχεται καθημερινά θορύβους μεγαλύτερους των 65dB).

2.4.2 Σχολικό περιβάλλον

Η ποιότητα του αέρα στις αίθουσες διδασκαλίας και αθλοπαιδιών είναι πολύ σημαντική για τη διευκόλυνση της μαθησιακής διδασκαλίας και τη δημιουργική απασχόληση των παιδιών. Η υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα μπορεί να επέλθει από κακό αερισμό των χώρων, έλλειψη συντήρησης κτιρίων, χρήση προϊόντων καθαρισμού, καθώς και από την τοποθεσία του οικοδομήματος (σχολικές μονάδες που βρίσκονται κοντά σε δρόμους και βιομηχανικές εγκαταστάσεις δέχονται τη μεγαλύτερη επιβάρυνση). Συγκεκριμένα, βιομηχανικοί ρύποι μπορεί να προκαλέσουν αναπνευστικά προβλήματα, ενώ έχουν κατηγορηθεί για την εμφάνιση φυματίωσης, καρκίνου

της ρινικής κοιλότητας και των πνευμόνων. Η συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων στις σχολικές αίθουσες εξαρτάται από τον αερισμό (ειδικότερα κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών), την καθαριότητα των χώρων και τον αριθμό των μαθητών, καθώς και από την σκόνη που εισέρχεται στις αίθουσες από τον προαύλιο χώρο των σχολικών μονάδων.

2.4.3 Κλειστοί Δημόσιοι Χώροι

Παρά την απαγόρευση του καπνίσματος σε Δημόσιους χώρους από την πλειοψηφία των χωρών της ΕΕ, η επιμονή των καπνιστών και η αδιαφορία των αρμόδιων Αρχών, έχει εντείνει το πρόβλημα της εσωτερικής ρύπανσης. Συγκεκριμένα, σε κλειστούς χώρους εστίασης (π.χ. εστιατόρια), ο καπνός των τσιγάρων αποτελεί την κυριότερη πηγή ρύπανσης. Επίσης, στους κλειστούς χώρους έχουν αναφερθεί πηγές ρύπανσης, όπως τα μονωτικά υλικά, τα οποία περιλαμβάνουν ως κύριο υλικό για την κατασκευή τους φορμαλδεΐδη, η απελευθέρωση της οποίας συνδέεται άμεσα με την εμφάνιση του συνδρόμου του ασθενούς κτιρίου (*sick building syndrome*) και την ύπαρξη υψηλού ποσοστού πασχόντων ατόμων.

2.4.4 Εργασιακό περιβάλλον

Το κάπνισμα, η σκόνη και οι θόρυβοι αποτελούν τις κυριότερες πηγές ρύπανσης σε γραφεία, προκαλώντας διάφορα προβλήματα στην υγεία. Γραφεία που χρησιμοποιούν πιο συχνά κλιματιστικά υποφέρουν κατά 30-200% περισσότερο από το σύνδρομο ασθενούς κτιρίου σε σχέση με αυτά που απλώς ανοίγουν τα παράθυρα για εξαερισμό. Επίσης, η έκθεση σε σωματίδια που απελευθερώνονται από τους φορητούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές και τους εκτυπωτές, μπορεί να βλάψει την υγεία των εργαζομένων, με τις γυναίκες να υποφέρουν περισσότερο από τους άνδρες. Επιπλέον, σε χώρους που εργάζονται πολλά άτομα που χρησιμοποιούν κινητά τηλέφωνα, μπορεί να παρατηρηθούν υψηλά επίπεδα ραδιενέργειας σε σχέση με το οικιακό περιβάλλον. Η ραδιενέργεια των κινητών μπορεί να προκαλέσει πονοκεφάλους, μυρμηγκιασμα, κόπωση και ζαλάδες.

Στην περίπτωση των εργοστασιακών και βιομηχανικών χώρων, οι παράγοντες που σχετίζονται με φαινόμενα εσωτερικής ρύπανσης ποικίλουν και εξαρτώνται από το είδος των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται. Για

παράδειγμα, σε εργοστάσια παρασκευής λιπασμάτων, χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη ραδιονουκλεοτίδια τα οποία εκθέτουν τους εργάτες σε υψηλά επίπεδα ραδιενέργειας. Αντίθετα, σε βυρσοδεψία χρησιμοποιούνται μίγματα διαλυτών, μονοξείδιο του αζώτου, τολουένιο και ξυλένιο, ενώ σε εργοστάσια παραγωγής χημικών προϊόντων, οι εργαζόμενοι εκτίθενται σε πολυμερή, πολυ-ισοκυανικές ενώσεις και σε μονομερή που απελευθερώνονται με την παραγωγή της πολυουρεθάνης. Οι συγκεκριμένοι ρύποι – και όχι μόνο- μπορεί αν προκαλέσουν ενοχλήσεις στη μύτη, στα μάτια, πυρετούς, ρίγη, ναυτίες, μυϊκούς πόνους, μεταλλική γεύση στο στόμα, ζαλάδες και πονοκεφάλους, ενώ στους ανθρώπους που ζουν ή εργάζονται κοντά σε βιομηχανικές περιοχές προκαλούν καταρράκτη, υψηλά ποσοστά θνησιμότητας βρεφών και μικρό βάρος γέννησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΤΟΙΚΗΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ - ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ.

3.1 Υγρά απόβλητα

Τα υγρά απόβλητα (οικιστικής και/ή βιομηχανικής προέλευσης) αποτελούν μία από τις κυριότερες πηγές ρύπανσης του περιβάλλοντος, λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης οργανικού φορτίου και της πληθώρας ρυπογόνων ουσιών που μπορεί να περιέχουν. Στις παρακάτω ενότητες γίνεται αναφορά στα σημαντικότερα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων, προκειμένου να γίνει αντιληπτό το εύρος των επιπτώσεων που μπορεί να επιφέρουν στο περιβάλλον, καθώς και η σημασία τους κατά την επεξεργασία των αποβλήτων.

3.1.1 Φυσικά συστατικά των υγρών αποβλήτων

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία (°C) των υγρών αποβλήτων είναι πολύ σπουδαία φυσική παράμετρος εξαιτίας της επίδρασής της στο ρυθμό των βιοχημικών αντιδράσεων. Η διάθεση θερμών υγρών αποβλήτων σε φυσικούς αποδέκτες επηρεάζει άμεσα το οικοσύστημα, μιας και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη διαλυτότητα του νερού σε οξυγόνο (είναι λιγότερο διαλυτό στο θερμό νερό) και τη διαθεσιμότητά του στους υδρόβιους οργανισμούς.

Αγωγιμότητα

Η αγωγιμότητα (εκφράζεται σε mS/cm), χρησιμοποιείται ως αντιπροσωπευτικό μέτρο της συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στα υγρά απόβλητα. Χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της καταλληλότητας των επεξεργασμένων αποβλήτων που προορίζονται για άρδευση και συνδέεται άμεσα με την αλατότητα (ποσοστό επί τοις χιλίοις (%)).

Πυκνότητα

Η πυκνότητα (εκφράζεται σε g/L ή Kg/m³) είναι σημαντικό φυσικό χαρακτηριστικό εξαιτίας της δυνατότητάς της για σχηματισμό ρευμάτων

πυκνότητας στις δεξαμενές καθίζησης, στις δεξαμενές χλωρίωσης και σε άλλες μονάδες κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

Θολότητα

Η θολότητα ή θολερότητα (εκφράζεται σε μονάδες NTU/Nephelometric Turbidity Unit), συνδέεται με τις αιωρούμενες και τις κolloειδείς ουσίες που υπάρχουν στα απόβλητα. Η μέτρηση βασίζεται στη σύγκριση της έντασης του φωτός που υφίσταται διάχυση περνώντας μέσα από ένα δείγμα αποβλήτων με την ένταση του φωτός που υφίσταται διάχυση κατά τη διέλευσή του από ένα πρότυπο αιώρημα κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

Χρώμα

Το χρώμα συνήθως χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει την ηλικία των υγρών αποβλήτων. Τα φρέσκα αστικά απόβλητα έχουν συνήθως ανοιχτό καφέ-γκρι χρώμα. Κάτω από αναερόβιες συνθήκες τα υγρά απόβλητα αλλάζουν διαδοχικά χρώμα από ανοιχτό καφέ-γκρι σε γκρι και τελικά μαύρο. Όταν το χρώμα των αποβλήτων είναι μαύρο, θεωρείται ότι έχουν υποστεί σήψη. Πολλές φορές το σκούρο γκρι και το μαύρο χρώμα των υγρών αποβλήτων οφείλεται στη δημιουργία σουλφιδίων-μετάλλων, τα οποία σχηματίζονται όταν τα σουλφίδια που παράγονται κάτω από αναερόβιες συνθήκες αντιδρούν με τα μέταλλα των υγρών αποβλήτων.

Στερεά

Στα φυσικά συστατικά των υγρών αποβλήτων ανήκουν τα ολικά στερεά (TS), τα οποία βρίσκονται αιωρούμενα (SS) ή διαλυμένα (DS) στη μάζα των αποβλήτων. Τα στερεά αποτελούνται από οργανικά (εξαερώσιμα, δηλαδή πτητικά) στερεά (VS) και ανόργανα (αδρανή μη εξαερώσιμα, δηλαδή σταθερά) στερεά (FS).

3.1.2 Ανόργανα χημικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

Τα ανόργανα χημικά συστατικά των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνουν τα θρεπτικά συστατικά (κυρίως άλατα του αζώτου και άλατα του φωσφόρου), τα αμέταλλα συστατικά, τα μέταλλα και διάφορα αέρια.

Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου, pH (οξύτητα)

Το pH είναι πολύ σπουδαία παράμετρος και χαρακτηρίζει τόσο τα φυσικά νερά όσο και τα υγρά απόβλητα τα οποία είναι συνήθως αλκαλικά. Ορίζεται ως ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου και επηρεάζει όλες τις βιοχημικές αντιδράσεις. Το κατάλληλο εύρος για τη διατήρηση των περισσότερων μικροοργανισμών είναι συνήθως μεταξύ 6 και 9. Πολύ όξινα ή πολύ αλκαλικά απόβλητα είναι δύσκολο έως αδύνατο να υποστούν βιολογική επεξεργασία. Η αναερόβια επεξεργασία της ιλύος απαιτεί σταθερές τιμές pH (7,0 – 7,5) για να υπάρξει ισορροπία μεταξύ της όξινης και της αλκαλικής ζύμωσης. Οι τιμές pH των εκροών των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων πρέπει να κυμαίνονται από 6,5 – 8,5 ώστε να μην μεταβάλλονται οι αντίστοιχες τιμές των φυσικών νερών.

Χλωριούχα (Cl⁻)

Τα χλωριούχα ιόντα στα απόβλητα οφείλονται στα χλωριούχα των νερών της περιοχής και επηρεάζουν την τελική χρήση των επεξεργασμένων αποβλήτων.

Αλκαλικότητα

Η αλκαλικότητα των υγρών αποβλήτων οφείλεται κυρίως στην παρουσία των ανθρακικών (CO₃²⁻) και των όξινων ανθρακικών ιόντων (HCO₃⁻), των υδροξειδίων (OH⁻) και στοιχείων όπως το ασβέστιο (Ca), το μαγνήσιο (Mg), το κάλιο (K) και το νάτριο (Na). Η αλκαλικότητα είναι πολύ σημαντική παράμετρος γιατί συνεισφέρει στην αντίσταση ενάντια στις αλλαγές του pH, οι οποίες προκαλούνται από την προσθήκη οξέων. Οι χημικές και οι βιολογικές διεργασίες επεξεργασίας συμπεριλαμβανομένης και της βιολογικής απομάκρυνσης των θρεπτικών συστατικών (N, P), προϋποθέτουν σαφή γνώση της αλκαλικότητας των υγρών αποβλήτων. Η αλκαλικότητα εκφράζεται χημικά ως $\Sigma [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+]$ και πρακτικά ως συγκέντρωση (mg/L) ανθρακικού ασβεστίου (CaCO₃).

Άζωτο (N)

Το άζωτο είναι βασικό στοιχείο για τη σύνθεση των πρωτεϊνών και οι γνώσεις για τη μορφή με την οποία βρίσκεται στα απόβλητα, καθώς επίσης και

οι συγκεντρώσεις του σε οποιαδήποτε μορφή, είναι απαραίτητες για τη διαδικασία αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των βιολογικών διεργασιών επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Στα υγρά απόβλητα το άζωτο βρίσκεται σε διάφορες μορφές, κυριαρχεί όμως η μορφή του πρωτεϊνικού υλικού και της ουρίας (NH_2CONH_2). Ανεπαρκής ποσότητα αζώτου μπορεί να επιβάλλει την προσθήκη αζώτου προκειμένου να διευκολυνθεί η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Οι ευαίσθητοι φυσικοί αποδέκτες επεξεργασμένων εκροών απαιτούν την απομάκρυνση του αζώτου από τα υγρά απόβλητα. Το οργανικό κλάσμα, το οποίο βρίσκεται στα απόβλητα σε διαλυτή ή σωματιδιακή μορφή, αποτελείται από αμινοξέα, αμινοσακχαρίτες και πρωτεΐνες. Η κατανομή της αμμωνίας και των αμμωνιακών ιόντων εξαρτάται συνήθως από το pH. Σε απόβλητα με χαμηλό pH κυριαρχεί το άζωτο με τη μορφή των αμμωνιακών (NH_4^+), ενώ σε υψηλότερες τιμές pH κυριαρχεί η αμμωνία (NH_3). Τα νιτρώδη (NO_2^-) ιόντα αποτελούν ένα δείγμα προ υπάρχουσας ρύπανσης, ενώ σπάνια συναντάται υψηλή συγκέντρωση αυτών των ιόντων στα υγρά απόβλητα. Τα NO_2^- θεωρούνται σημαντικά για τα υγρά απόβλητα γιατί είναι ιδιαίτερα τοξικά. Συνήθως όμως οξειδώνονται πολύ γρήγορα σε νιτρικά (NO_3^-) ιόντα. Τα NO_2^- που βρίσκονται στις εκροές των υγρών αποβλήτων οξειδώνονται από το χλώριο κατά την απολύμανση και αυτό οδηγεί στην αύξηση της δόσης του χλωρίου και επομένως και στο κόστος της απολύμανσης. Η υπερίσχυση των NO_3^- , τα οποία αποτελούν τη πιο οξειδωμένη μορφή του αζώτου στα υγρά απόβλητα, υποδηλώνει ότι τα απόβλητα σταθεροποιήθηκαν αναφορικά με τις αιτιήσεις σε οξυγόνο.

Φωσφόρος (P)

Ο φωσφόρος (P) όπως και το άζωτο αποτελεί απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, των φυτών και των ζώων. Λόγω των φαινομένων ευτροφισμού που δημιουργεί στα επιφανειακά νερά πρέπει να απομακρυνθεί από τα υγρά απόβλητα, τα οποία μπορεί να περιέχουν από 4 – 16 mg/L P. Στη βιοτεχνολογία ενδιαφέρον παρουσιάζει η μετατροπή των διαφόρων ανόργανων φωσφορικών αλάτων του εδάφους από τα φυτά σε διάφορες οργανικές ενώσεις του φωσφόρου, ο μεταβολισμός των οργανοφωσφορικών ενώσεων από τα ζώα, και η μετατροπή των οργανοφωσφορικών ενώσεων με τη βοήθεια διαφόρων ετεροτροφικών

μικροοργανισμών (βακτήρια, μύκητες κ.λπ.) σε ανόργανα φωσφορικά άλατα. Οι μορφές του φωσφόρου στη φύση, καθώς και οι τρόποι με τους οποίους οι διάφορες μορφές μετασχηματίζονται στο υδατικό περιβάλλον απεικονίζονται στο σχήμα για τον κύκλο του φωσφόρου. Στα υγρά απόβλητα ο φώσφορος βρίσκεται (περίπου 4 g/κάτοικο την ημέρα) κυρίως στις οργανικές ενώσεις και αποτελεί το 75 % περίπου του συνολικά υπάρχοντος φωσφόρου. Ο υπόλοιπος (25% περίπου) βρίσκεται στα υγρά απόβλητα κυρίως με τη μορφή των ορθοφωσφορικών (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4) διαλυτών ιόντων (70 - 90%) και πολυφωσφορικών ($\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$) ιόντων τα οποία είναι περίπλοκα μόρια, αλλά και με τη μορφή οργανικών φωσφορικών ενώσεων. Ο οργανικά δεσμευμένος φώσφορος δεν έχει ιδιαίτερη σημασία για τα αστικά λύματα. Τα ορθοφωσφορικά ιόντα χρησιμεύουν για το βιολογικό μεταβολισμό χωρίς να διασπώνται περαιτέρω. Τα πολυφωσφορικά ιόντα υφίστανται υδρόλυση για να επανέλθουν στην ορθοφωσφορική μορφή. Η διαδικασία αυτή είναι συνήθως πολύ αργή. Ο φωσφόρος αποτελεί βασικό συστατικό για τη σύνθεση του κυτταρικού ιστού των μικροοργανισμών της ενεργού ιλύος και για την μεταφορά ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα ποσοστό της τάξης του 10 έως 30% της εισερχόμενης ποσότητας φωσφόρου να απομακρύνεται κατά τη διάρκεια της βιολογικής επεξεργασίας στις δεξαμενές αερισμού, ενώ το σύνολο σχεδόν των φωσφορικών ενώσεων μετατρέπεται σε διαλυτά ορθοφωσφορικά ιόντα. Η συγκέντρωση του φωσφόρου στην εκροή των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων καθορίζεται από τον χαρακτηρισμό (ωφέλιμες χρήσεις) του αποδέκτη όπως ισχύει και για τους άλλους ρύπους. Αυτό σημαίνει ότι ο βαθμός απόδοσης του συστήματος και η διαδικασία επεξεργασίας που επιλέγεται είναι άμεσα συνυφασμένη με τον αποδέκτη και τις χρήσεις του. Σε γενικές γραμμές, όταν πρόκειται για ευαίσθητους αποδέκτες θεωρείται ικανοποιητική η ποσότητα του φωσφόρου στην απορροή όταν αυτή δεν υπερβαίνει τα 2 mg/L. Η πρακτική που ακολουθείται πάντως, εφόσον αποφασίζεται απομάκρυνση του φωσφόρου, αποβλέπει απομάκρυνση της τάξης του 90 έως και 95%.

Θείο (S)

Το θείο (S) είναι απαραίτητο στοιχείο στη σύνθεση των πρωτεϊνών και απελευθερώνεται κατά την αποικοδόμησή τους. Τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-})

διασπώνται βιολογικά κάτω από αναερόβιες συνθήκες σε θειούχα (S^{2-}), τα οποία στη συνέχεια σχηματίζουν υδρόθειο (H_2S). Το υδρόθειο εκτός του ότι είναι τοξικό, είναι και επικίνδυνο γιατί οξειδώνεται σε θειικό οξύ (H_2SO_4) το οποίο ευθύνεται για τη διάβρωση των αγωγών αποχέτευσης.

Μέταλλα

Η ύπαρξη μεταλλικών ιχνοστοιχείων είναι απαραίτητη για τους οργανισμούς, μιας και η συμβολή τους σε διάφορες μεταβολικές και βιοχημικές διαδικασίες είναι σημαντική. Αντίθετα, η υπερβολική αύξηση των συγκεντρώσεων ορισμένων μεταλλικών στοιχείων, και ιδιαίτερα η ύπαρξη μη-απαραίτητων μετάλλων, μπορεί να προκαλέσει σημαντικές διαταραχές στην φυσιολογική ομοιόστασή τους, επιφέροντας ακόμη και το θάνατο. Πολλά από αυτά χαρακτηρίζονται σαν ρύποι προτεραιότητας. Οι εκροές των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων πρέπει να ελέγχονται για την ύπαρξη μετάλλων, ιδιαίτερα εάν οι εκροές προορίζονται για άρδευση.

Αέρια

Τα αέρια τα οποία συνδέονται με την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι κυρίως το οξυγόνο (O_2) το οποίο είναι απαραίτητο για την αναπνοή των αερόβιων μικροοργανισμών, η αμμωνία (NH_3), το υδρόθειο (H_2S), το μεθάνιο (CH_4) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2).

3.1.3 Οργανικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων

Στα οργανικά συστατικά των υγρών αποβλήτων (οργανικό φορτίο) ανήκουν οι οργανικές ουσίες, ο προσδιορισμός των οποίων μπορεί να γίνει μέσω μέτρησης του (α) Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (Biochemical Oxygen Demand BOD), (β) Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (Chemical Oxygen Demand COD) και (γ) Ολικού Οργανικού Άνθρακα (Total Organic Carbon TOC).

Το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD) είναι η παράμετρος που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του οργανικού φορτίου (της τροφής) των υγρών αποβλήτων και των ρυπασμένων νερών. Η τιμή BOD καθορίζει την ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για την πλήρη βιοχημική οξείδωση των περιεχόμενων

οργανικών ουσιών. Η ταχύτητα της βιολογικής αυτής οξειδωσης εξαρτάται από το είδος της οργανικής ύλης που περιέχεται στο προς εξέταση δείγμα. Υπάρχουν οργανικές ουσίες που οξειδώνονται (αποικοδομούνται) βιολογικά σχετικά εύκολα, αλλά υπάρχουν και αυτές που δεν οξειδώνονται βιολογικά (μη βιοαποικοδομήσιμες ουσίες). Ως γνωστόν τα αστικά λύματα περιέχουν κυρίως υδατάνθρακες π.χ. κυτταρίνη, σάκχαρα, άμυλο, καθώς επίσης και αζωτούχες (ουρία, πρωτεΐνες κ.λπ.) και θειούχες ενώσεις. Οι περισσότερες απ' αυτές τις ουσίες κατά την βιολογική οξείδωση διασπώνται σε άλλες απλούστερες και δίνουν ανάλογα προϊόντα όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), αμμωνία (NH_3) και νερό (H_2O). Οι οξειδωτικές αυτές αντιδράσεις είναι συνυφασμένες με υψηλή κατανάλωση οξυγόνου, η οποία λαμβάνεται σαν μέτρο της οργανικής ρύπανσης των νερών.

Η βιολογική αποικοδόμηση των ρυπογόνων (οργανικών) ουσιών γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο αποικοδομούνται κυρίως οι ενώσεις του άνθρακα (υδατάνθρακες, λίπη), προηγείται δηλαδή η οξείδωση των ευκολότερα βιοαποικοδομήσιμων ουσιών, ενώ στο δεύτερο οι ενώσεις του αζώτου (πρωτεΐνες, αμινοξέα). Το πρώτο στάδιο, για θερμοκρασία 20 °C, αρχίζει αμέσως και ολοκληρώνεται μέσα σε 20 περίπου ημέρες. Το δεύτερο στάδιο, για θερμοκρασία 20 °C, αρχίζει μετά την πάροδο 10 - 15 ημερών και διαρκεί πολύ περισσότερο χρόνο. Σημειώνεται ότι σε υψηλές θερμοκρασίες η αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών γίνεται ταχύτερα και ότι κατά το στάδιο οξείδωσης των αζωτούχων ενώσεων παράγεται νιτρικό οξύ το οποίο στη συνέχεια αντιδρά με τα ανθρακικά και όξινα ανθρακικά και ουδετεροποιείται. Η ολοκλήρωση της μέτρησης της τιμής BOD απαιτεί πολύ χρόνο. Για θερμοκρασία 20 °C απαιτούνται περίπου 20 ημέρες για να ικανοποιηθούν τα 95-99 % του ολικού BOD και γι' αυτό η κατανάλωση του οξυγόνου καθορίζεται με βάση τον προσδιορισμό του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου σε πέντε (5) ημέρες (BOD_5). Είναι προφανές ότι η ταχύτητα αποικοδόμησης των οργανικών ουσιών είναι διαφορετική στις διάφορες θερμοκρασίες. Σε υψηλές θερμοκρασίες η αποικοδόμηση πραγματοποιείται ταχύτερα.

Για τη μέτρηση της τιμής BOD_5 το δείγμα τοποθετείται σε μια γυάλινη σκουρόχρωμη φιάλη και αναδεύεται ισχυρά ώστε το περιεχόμενό της να εμπλουτιστεί με οξυγόνο. Στη συνέχεια σφραγίζεται και διατηρείται υπό ανάδευση στο σκοτάδι και σταθερή θερμοκρασία 20°C για πέντε (5) ημέρες.

Μετά τη πάροδο των 5 ημερών υπολογίζεται (συνήθως μανομετρικά) η διαφορά πίεσης που υπάρχει στη φιάλη από την κατανάλωση οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς προκειμένου αυτοί να επιβιώσουν και να αποικοδομήσουν το οργανικό φορτίο του δείγματος. Το αποτέλεσμα της κατανάλωσης οξυγόνου είναι το BOD₅ και εκφράζεται σε mg O₂ L⁻¹ λυμάτων. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) που παράγεται κατά τη βιολογική οξείδωση εξουδετερώνεται με την προσθήκη NaOH.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του BOD χρησιμοποιούνται (α) για την εύρεση της ποσότητας οξυγόνου που απαιτείται για τη βιοχημική οξείδωση των οργανικών ουσιών, (β) για την εύρεση του μεγέθους των εγκαταστάσεων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, (γ) για τη μέτρηση της αποδοτικότητας μερικών διεργασιών επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και (δ) για την εύρεση των τιμών συμμόρφωσης με τα όρια των εκροών τα οποία τίθενται από τη νομοθεσία.

Το απαιτούμενο οξυγόνο για την οξείδωση μιας ποσότητας οργανικών ουσιών (της τροφής) μπορεί να μετρηθεί και με χημικές μεθόδους. Πρόκειται για το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο το οποίο συμβολίζεται ως COD. Με τον όρο COD εννοούμε την ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την χημική οξείδωση της οργανικής ύλης σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και νερό (H₂O). Η οξείδωση αφορά το σύνολο των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε ένα δείγμα και μπορούν να οξειδωθούν με ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο. Σαν τέτοιο οξειδωτικό χρησιμοποιείται το διχρωμικό κάλιο (K₂Cr₂O₇) σε όξινο περιβάλλον. Η οξείδωση του οργανικού φορτίου γίνεται σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και χαμηλού pH παρουσία θειικού αργύρου (Ag₂SO₄) σαν καταλύτη. Η εξουδετέρωση των χλωριούχων ιόντων που συνήθως υπάρχουν στο δείγμα, γίνεται με θειικό υδράργυρο (HgSO₄), ενώ η εξουδετέρωση της περίσσειας των διχρωμικών (Cr₂O₇²⁻) ιόντων γίνεται με διάλυμα θειικού αμμωνιούχου σιδήρου (FeSO₄(NH₄)₂SO₄ · 6H₂O) γνωστής κανονικότητας. Για την ογκομετρική ανάλυση (τιτλοδότηση) χρησιμοποιείται δείκτης Ferroin.

Η μέτρηση του COD χρησιμοποιείται πολλές φορές αντί της μέτρησης του BOD ή συμπληρωματικά. Η ταχύτητα της μέτρησης είναι το μεγάλο πλεονέκτημά της αφού ολοκληρώνεται σε 2-3 ώρες, σε αντίθεση με τη μέτρηση του BOD₅, η οποία διαρκεί 5 ημέρες. Η μέτρηση του COD είναι κατά κάποιον τρόπο λιγότερο αντιπροσωπευτική από τη μέτρηση του BOD₅ όταν πρόκειται

για προσδιορισμό του οργανικού φορτίου που υπάρχει στα τυπικά αστικά λύματα. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg/L COD. Κατά κανόνα το COD είναι πάντα μεγαλύτερο από το BOD₅ και για τα αστικά λύματα ο λόγος COD / BOD₅ είναι 1,2 - 1,5.

Ο Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC) αποτελεί μια παράμετρο μέτρησης (έκφρασης) του οργανικού φορτίου. Χρησιμοποιείται κυρίως για τον προσδιορισμό μικρών συγκεντρώσεων οργανικής ύλης που ενδιαφέρουν ιδιαίτερα την παραγωγή πόσιμου νερού. Με τις σύγχρονες αναλυτικές συσκευές ο προσδιορισμός του ολικού οργανικού άνθρακα είναι πολύ απλή διαδικασία. Ένας αυτόματος αναλυτής TOC απαιτεί ελάχιστη ποσότητα υγρού δείγματος το οποίο εισάγεται σε ειδική στήλη με καταλύτη όπου καίγεται σε υψηλή θερμοκρασία προς διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Η ανάλυση του TOC έχει το πλεονέκτημα ότι ολοκληρώνεται σε 5 με 10 λεπτά. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε mg L⁻¹ TOC.

3.1.4 Βιολογικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων/λύματων

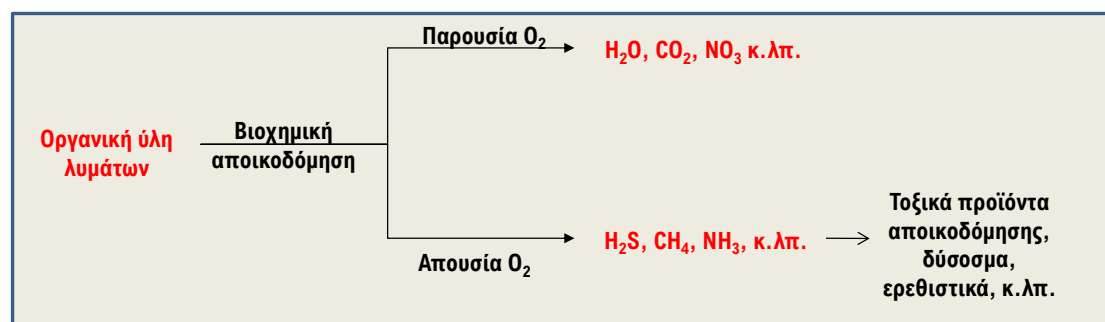
Τα υγρά απόβλητα/λύματα είναι συνήθως ανθρωπογενούς προέλευσης και χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη μικροβίων και σαπροφυτικών μικροοργανισμών, οργανικών ουσιών, στερεών συστατικών, καθώς και μικρή συγκέντρωση τοξικών ουσιών (π.χ. βαρέα μέταλλα, κυανιούχες ουσίες, απορρυπαντικά, φαινόλες, αλογονομένοι υδρ/κες). Συγκεκριμένα, μικρόβια, όπως κολοβακτηριοειδή, εντερόκοκκοι, κλωστρήδια και εντεροβακτηρίδια (σαλμονέλλες, συγκέλλες), ιοί (π.χ. ο ιός της ηπατίτιδας και της πολυομυελίτιδας κ.α.) είναι συνήθως κοπρανώδους προέλευσης και μπορεί να βρίσκονται στα υγρά απόβλητα, ενώ πιθανή είναι η ύπαρξη εντερικών παρασίτων, όπως αμοιβάδες και νηματώδεις σκώληκες (**Πίνακας 18**).

Πίνακας 18. Είδη μικροοργανισμών/φορείς ασθενειών που μπορεί να βρίσκονται στα λύματα και πιθανές εστίες μόλυνσης.

Μικροοργανισμός	Ασθένεια	Πιθανές εστίες μόλυνσης
<i>Vibrio cholera</i>	Χολέρα	Υδατα υπονόμων και μολυσμένων υδάτων.
<i>Salmonella typhi</i>	Τυφοειδής πυρετός	Επιδημιολογική κατάσταση σε ύδατα υπονόμων.
<i>Salmonella paratyphi</i> <i>Shingela spp.</i>	Παράτυφος, Βακτηριακή δυσεντερία.	Μολυσμένα νερά σε κόπρανα και ανθρώπινες ακαθαρσίες.
<i>Bacillua anthracis</i>	Άνθρακας	Νερά υπονόμων (σπάνια περίπτωση).
<i>Brucella spp.</i>	Βρουκέλωση ή μελιταιός πυρετός	Μολυσμένο γάλα και διαφυγή σε υδάτινες πηγές, νερά υπονόμων.
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Φυματίωση	Νερά υπονόμων και υδατικά λύματα.
<i>Leptospira icterohaemorrhagiae</i>	Ικτεροαιμορραγική απειροχαιτίαση ή νόσος του Weil.	Τρωκτικά υπονόμων.
<i>Entamoeba istolytica</i>	Αμοιβαδική δυσεντερία	Νερά υπονόμων.
<i>Schistosoma spp.</i>	Σχιστοσωμίαση ή βιλαρζίωση	Νερά των υπονόμων.
<i>Taenia spp.</i>	Ταινία	Ανθεκτικά αυγά σε νερά υπονόμων.

Στους σαπροφυτικούς οργανισμούς ανήκουν κυρίως βακτήρια, μύκητες, φύκη, πρωτόζωα, τροχόζωα και καρκινοειδή και ο κύριος ρόλος τους είναι η βιοαποικοδόμηση της οργανικής ύλης που βρίσκεται στα λύματα. Συγκεκριμένα η οργανική ύλη των λυμάτων αποτελεί το θρεπτικό υπόστρωμα των σαπροφυτικών μικροοργανισμών, οι οποίοι πραγματοποιούν βιοαποικοδόμηση/βιοδιάσπασή της με αερόβιες και αναερόβιες διαδικασίες.

Τα τελικά προϊόντα της αερόβιας αποικοδόμησης της οργανικής ύλης είναι νερό, διοξείδιο του άνθρακα και οξείδια του αζώτου, ενώ από την αναερόβια αποικοδόμηση προκύπτουν τοξικά προϊόντα, όπως το υδρόθειο, το μεθάνιο και η αμμωνία, τα οποία είναι δύσσομα και αρκετά ερεθιστικά (**Εικόνα 20**).



Εικόνα 20. Προϊόντα αερόβιας και αναερόβιας αποικοδόμησης της οργανικής ύλης των λυμάτων.

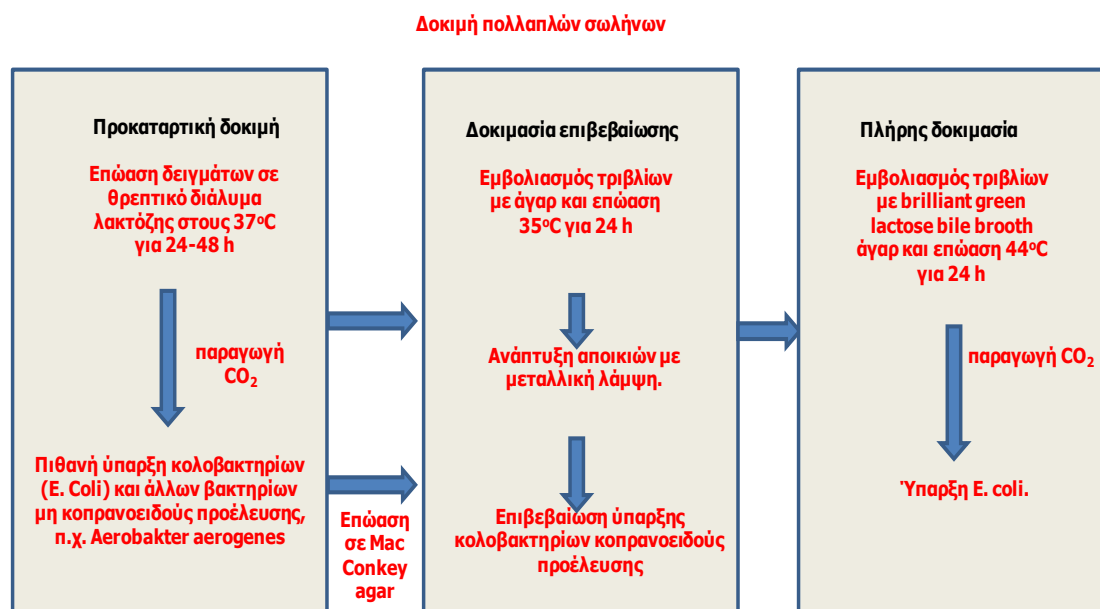
3.1.4.1 Ανίχνευση μικροβιακού φορτίου σε υγρά απόβλητα

Η ανίχνευση του μικροβιακού φορτίου των νερών αποτελεί μια πολύ σημαντική διαδικασία, μιας και μας δίνεται η δυνατότητα να εκτιμήσουμε τόσο την ποιότητα των υδάτων, την προέλευσή τους, καθώς και την ικανότητα επιβάρυνσης του περιβάλλοντος. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση του μικροβιακού φορτίου συνίστανται στην εκτίμηση ή/και τον προσδιορισμό του αριθμού του κολοβακτηρίου *Escherichia coli*.

Μέθοδος δοκιμής πολλαπλών σωλήνων και διηθητικών μεμβρανών

Η δοκιμή των πολλαπλών σωλήνων στοχεύει στην ανίχνευση της *Escherichia coli* στο υπό εξέταση υγρό δείγμα, μετά από επώασή του σε διαφορετικά θρεπτικά διαλύματα και διακρίνεται σε 3 επιμέρους δοκιμασίες. Συγκεκριμένα, το υπό εξέταση δείγμα επωάζεται αρχικά σε δοκιμαστικούς σωλήνες που περιέχουν θρεπτικό διάλυμα λακτόζης (προκαταρκτική δοκιμή) για 24-48 ώρες και σε θερμοκρασία 37°C και μετά το τέλος της επώασης ελέγχεται η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, η οποία αποτελεί ένδειξη ύπαρξης κολοβακτηρίων, όπως η *E. coli*, καθώς και άλλων βακτηρίων μη κοπρανώδους προέλευσης, όπως το βακτήριο *Aerobacter aerogenes*. Για την επιβεβαίωση της ύπαρξης βακτηρίων κοπρανώδους προέλευσης πραγματοποιείται εμβολιασμός σε τριβλίο που περιέχει άγαρ ως θρεπτικό υλικό, ή αιματούχο θρεπτικό άγαρ (Mac Conkey agar) και επώαση στους 35°C για 24 ώρες. Η εμφάνιση αποικιών με μεταλλική λάμψη αποτελεί ένδειξη της ύπαρξης κολοβακτηρίων κοπρανώδους προέλευσης (δοκιμασία επιβεβαίωσης). Η ύπαρξη του κολοβακτηρίου *E. coli* πραγματοποιείται με την πλήρη δοκιμασία, κατά την οποία πραγματοποιείται εμβολιασμός τριβλίων που περιέχουν ως θρεπτικό υλικό brilliant green lactose bile broth agar και μετά από επώαση στους 44 °C για 24 ώρες και παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα επιβεβαιώνεται η ύπαρξη της *E. coli* (**Εικόνα 21**). Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος των διηθητικών μεμβρανών, κατά την οποία μικρή ποσότητα του υπο εξέταση δείγματος διηθείται διαμέσου ειδικών μεμβρανών για τη συγκράτηση των μικροβίων. Στη συνέχεια οι μεμβράνες επωάζονται παρουσία ειδικών θρεπτικών υλικών και ελέγχονται για την παρουσία αποικιών

με μεταλλική λάμψη, οι οποίες αποτελούν ένδειξη για την παρουσία μικροοργανισμών κοπρανώδους προέλευσης, καθώς και αποικιών που αναπτύσσουν έντονο μπλε χρώμα και αποτελούν ένδειξη ύπαρξης *E. coli* (Εικόνα 22).



Εικόνα 21. Δοκιμή πολλαπλών σωλήνων.



Εικόνα 22. Μέθοδος διηθητικών μεμβρανών.

Οι μέθοδοι ανίχνευσης του κολοβακτηρίου *E. coli* στα λύματα και στα μολυσμένα υδάτινα ρεύματα δίνει σημαντικά στοιχεία για την επιβάρυνση των υδάτων με μολυσματικούς παράγοντες, καθώς έχει αποδειχθεί ότι υπάρχει μια σημαντική ποσοτική σχέση μεταξύ του αριθμού των κολοβακτηριοειδών και τον αριθμό των παθογόνων στελεχών της *Salmonella typhi*, η οποία είναι υπεύθυνη για την εμφάνιση του τυφοειδούς πυρετού. Η σχέση αυτή παραμένει σταθερή όταν τα λύματα και/ή το μολυσμένο νερό υποβάλλονται σε

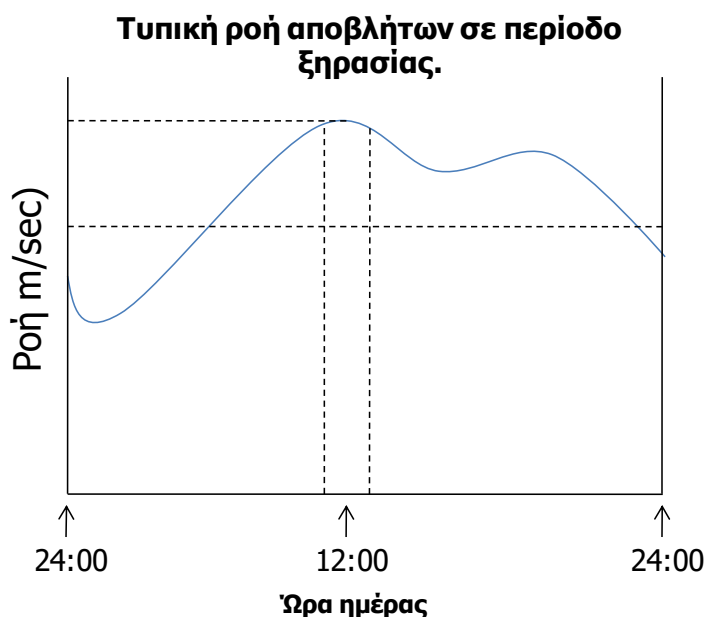
επεξεργασία, καθώς και όταν τα αποχευτευτικά δίκτυα υποβάλλονται σε φυσικό αυτοκαθαρισμό (**Πίνακας 19**).

Πίνακας 19. Νοσηρότητα τυφοειδούς πυρετού σε σχέση με το λόγο του αριθμού των ατόμων σαλμονέλλας και *E. coli* σε μολυσμένα ύδατα (πηγή: *American Water Works Association*, 1950).

Νοσηρότητα τυφοειδούς πυρετού (αριθμός ασθενών ανά έτος/100000 κατοίκους)	Αριθμός σαλμονέλλων ανά 10 ⁶ άτομα <i>Escherichia coli</i>
1	3
5	6
10	9
50	19
100	26

3.2 Συλλογή αποβλήτων

Η αποτελεσματική επεξεργασία των αστικών αποβλήτων προϋποθέτει την ύπαρξη ενός εκτεταμένου δικτύου συλλογής και μεταφοράς τους στις μονάδες βιολογικού καθαρισμού. Το αποχευτευτικό δίκτυο δέχεται κυρίως οικιακά λύματα/εισροές, βιομηχανικά απόβλητα και διηθήσεις υπόγειων νερών. Η ροή των οικιακών λυμάτων μπορεί να παρουσιάζει ημερήσιες και εποχικές μεταβολές. Για παράδειγμα οι μέγιστες ημερήσιες εισροές παρουσιάζονται κυρίως κατά τις μεσημεριανές ώρες, ενώ οι μέγιστες εποχικές εισροές εμφανίζονται κυρίως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (**Εικόνα 23**). Οι εισροές περιλαμβάνουν νερά της βροχής που καταλήγουν στους υπονόμους, με αυξημένη παροχή να παρατηρείται σε περιόδους βροχοπτώσεων.



Εικόνα 23. Ημερήσιες μεταβολές των εισροών αποβλήτων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Τα βιομηχανικά απόβλητα ποικίλουν ποσοτικά και ποιοτικά. Η ύπαρξη μη-αποικοδομήσιμων και τοξικών ουσιών καθιστά απαραίτητη την ανάγκη επεξεργασίας των λυμάτων στη βιομηχανική μονάδα για την εξουδετέρωση των ανεπιθύμητων χαρακτηριστικών των λυμάτων. Ο υπολογισμός τους βασίζεται συνήθως στην εκτίμηση της ποσότητας του νερού που καταναλώνεται. Συγκεκριμένα, η μέγιστη ωριαία παροχή βιομηχανικών αποβλήτων (Q_{\max}) υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Q_{\max} = 1/m \times Q_{\beta} \quad (\text{m}^3/\text{h}),$$

όπου,

m , ο μέσος όρος των ωρών λειτουργίας της βιομηχανίας

Q_{β} , η ημερήσια παροχή βιομηχανικών αποβλήτων.

Σχετικά με τις υπόγειες διηθήσεις, πρόκειται για την είσοδο υπογείων υδάτων στο αποχετευτικό δίκτυο, πιθανό λόγω κακής συντήρησης του τελευταίου (π.χ. ρωγμές, βροχοπτώσεις κ.λπ.).

3.2.1 Διάταξη αποχετευτικού δικτύου

Ένα τυπικό σύστημα αποχέτευσης αποτελείται από πλαστικούς σωλήνες, διαμέτρου 15 cm, οι οποίοι βρίσκονται στις οικίες και οδηγούν τα οικιακά λύματα σε μεγαλύτερους κεντρικούς και πλευρικούς σωλήνες λυμάτων που

βρίσκονται κάτω από το οδικό δίκτυο. Οι κεντρικοί αγωγοί των λυμάτων θα μεταφέρουν τα λύματα στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας των λυμάτων. Βασικές προϋποθέσεις για την αποτελεσματική λειτουργία των αποχετευτικών δικτύων είναι η ικανοποιητική ροή των λυμάτων προς τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας τους με φυσιολογικό τρόπο και η ύπαρξη φρεατίων ελέγχου και καθαρισμού (σε απόσταση 120-180 m μεταξύ τους).

Τα δίκτυα διακρίνονται σε (α) μικτά και (β) χωριστικά ή διακριτά συστήματα. Στην πρώτη περίπτωση τα βρόχινα νερά και τα λύματα καταλήγουν σε κοινούς αγωγούς συλλογής, ενώ στη δεύτερη περίπτωση υπάρχει ικανότητα διακριτής συλλογής τους. Τα πλεονεκτήματα των διακριτών/χωριστικών αποχετευτικών δικτύων είναι ουσιαστικής σημασίας για την αποτελεσματική συλλογή, μεταφορά και επεξεργασία των λυμάτων. Συγκεκριμένα, υπάρχει η δυνατότητα άντλησης των λυμάτων και μεταφοράς, επεξεργασίας και απόθεσής τους στη μονάδα εγκατάστασης αποβλήτων. Επίσης, εξασφαλίζεται ο καθαρισμός των αγωγών και η αποφυγή φαινομένων ρύπανσης, λόγω υπερχείλισης, μιας και ο διαχωρισμός των υδάτων από τα λύματα και η διοχέτευσή τους απευθείας σε υδάτινους αποδέκτες, εξασφαλίζει την αποφυγή επιμόλυνσης των υδάτων. Τέλος, τα διακριτά αποχετευτικά δίκτυα εξασφαλίζουν μια σχετική πληρότητα ροής και αποδοτικότερες ταχύτητες ροής και αυτοκαθαρισμού των αγωγών, με επιθυμητές ταχύτητες 0.60 m/sec και 0,75-0,90 m/sec.

3.3 Επεξεργασία αποβλήτων/λυμάτων σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού

Οι Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων (αναφέρονται και ως Μονάδες Βιολογικού Καθαρισμού) αποτελούν πρωταρχική προτεραιότητα σε αστικές περιοχές. Τα λύματα μετά τη συλλογή τους από τους κεντρικούς αγωγούς των αποχετευτικών δικτύων μεταφέρονται για την τελική τους επεξεργασία στις μονάδες, προκειμένου να επεξεργαστούν κατάλληλα για την απαλλαγή από ρύπους και μολυσματικούς παράγοντες.

Στις μονάδες βιολογικού καθαρισμού τα λύματα υφίστανται διάφορα στάδια επεξεργασίας που σε γενικές γραμμές διακρίνονται σε Πρωτοβάθμια, Δευτεροβάθμια και Τριτοβάθμια επεξεργασία.

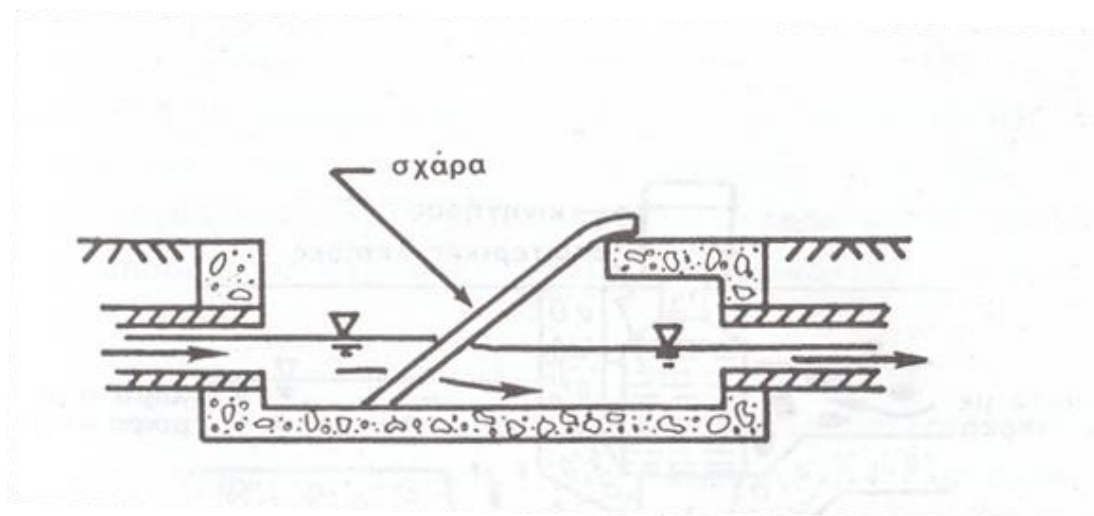
3.3.1 Πρωτοβάθμια επεξεργασία (Προ-επεξεργασία και πρωτοβάθμια καθίζηση)

Η πρωτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων στοχεύει κυρίως στην αφαίρεση των στερεών και αιωρούμενων υλικών (οργανικά και ανόργανα) και διακρίνεται επιμέρους στην προ-επεξεργασία και την πρωτοβάθμια καθίζηση.

3.3.1.1 Προ-επεξεργασία

Σχάρισμα

Τα λύματα που εισέρχονται στη μονάδα βιολογικού καθαρισμού, περνάνε από ειδικές μεταλλικές σχάρες διαφορετικής διαμέτρου (5-20 mm λεπτές, 20-40 mm μεσαίες και/ή 40-150 mm χοντρές), με τις οποίες πραγματοποιείται η συγκράτηση μεγάλων στερεών φερτών υλικών (σχάρισμα), τα οποία θα μπορούσαν να προκαλέσουν βλάβες στις μετέπειτα συσκευές της εγκατάστασης (**Εικόνα 24**). Η ικανοποιητική ταχύτητα προσέγγισης των λυμάτων στις σχάρες κυμαίνεται πρέπει αν είναι μεγαλύτερη από 0,3-0,5 m/sec, ενώ ταχύτητα διέλευσης από τα διάκενα της σχάρας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0,7-1 m/sec.



Εικόνα 24. Σχάρισμα λυμάτων κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων.

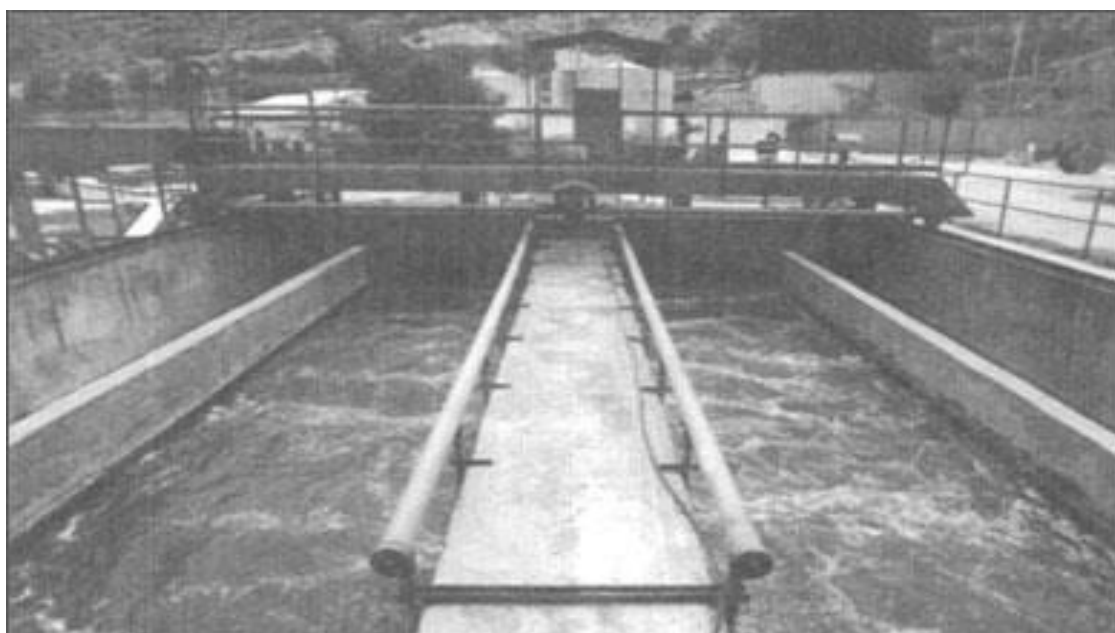
Πολτοποίηση

Μετά τη φάση του σχαρίσματος των λυμάτων που εισέρχονται στη μονάδα βιολογικού καθαρισμού, πραγματοποιείται άλεσμα των σχαρισμάτων

έτσι ώστε να προκύψουν κομμάτια μεγέθους 0,3 cm ή και μικρότερα, τα οποία επανεισάγονται στα λύματα και συνεχίζεται η επεξεργασία.

Αμμοσυλλογή

Η διαδικασία της αμμοσυλλογής πραγματοποιείται σε ειδικές δεξαμενές, με κύριο στόχο την απομάκρυνση της άμμου που βρίσκεται στα λύματα και την προφύλαξη από τυχόν φθορές που θα μπορούσε να προκληθούν στις μετέπειτα συσκευές της εγκατάστασης επεξεργασίας των λυμάτων (**Εικόνα 25**). Με την παραπάνω διαδικασία δεν απομακρύνεται το οργανικό υλικό των λυμάτων.

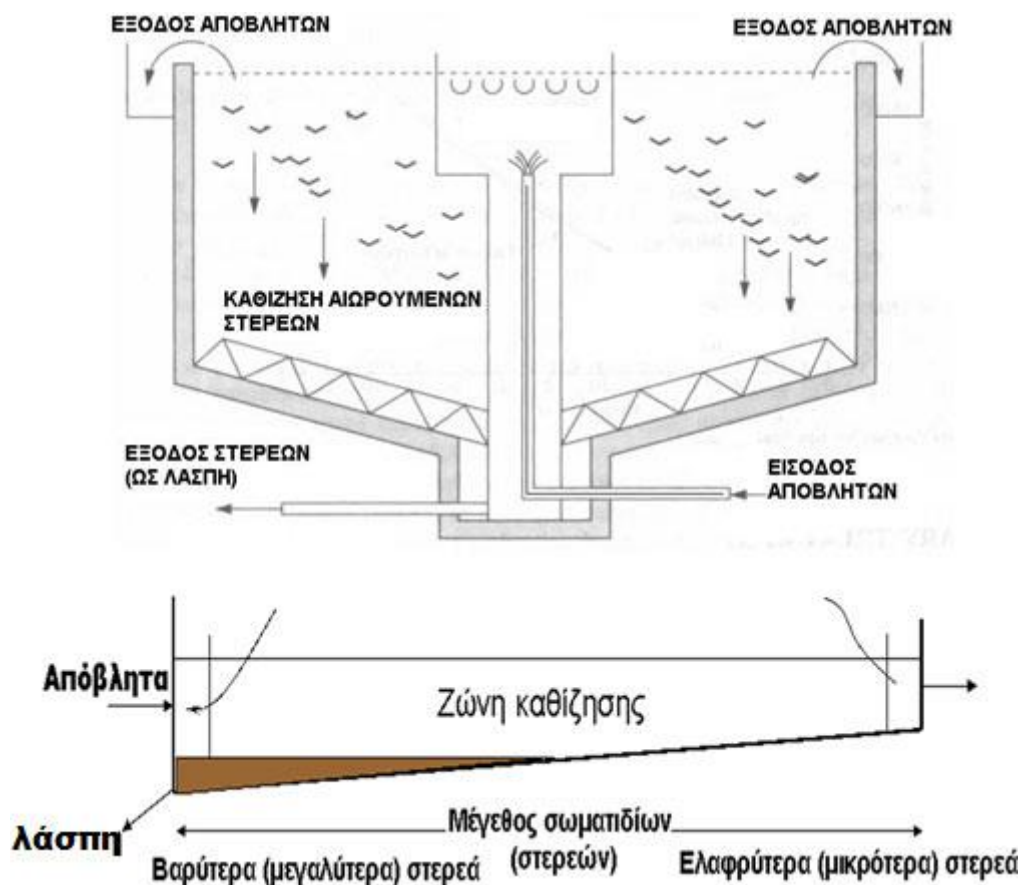


Εικόνα 25. Τυπικά συλλογή αμμοσυλλογής (πηγή: Στάμου, 2004).

3.3.1.2 Πρωτοβάθμια καθίζηση

Τα προ-επεξεργασμένα λύματα εισέρχονται σε ειδικές δεξαμενές (συνήθως κυκλικής διατομής), οι οποίες ονομάζονται δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ), (**Εικόνα 26**), στις οποίες πραγματοποιείται περαιτέρω απομάκρυνση στερεών υλικών (μεγέθους 10^{-1} έως 10^{-2} mm), έτσι ώστε να μειωθεί η ποσότητα του ρυπαντικού φορτίου που προορίζεται για τα επόμενα στάδια επεξεργασίας. Η απομάκρυνση επιτυγχάνεται με τη μορφή ακατέργαστης λάσπης που ονομάζεται δραστική λάσπη πρωτοβάθμιας επεξεργασίας ή ενεργός ίλυ. Η δραστική λάσπη είναι αρκετά υδαρής και

δύσοση, πλούσια σε οργανικό φορτίο και συνήθως υπόκειται σε περαιτέρω επεξεργασία.



Εικόνα 26. Τυπική δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης.

Με το στάδιο της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας επιτυγχάνεται η μείωση των στερεών ουσιών των λυμάτων (**Πίνακας 20**), ενώ παράμετροι όπως τα επίπεδα BOD και φωσφόρου παραμένουν σε υψηλά επίπεδα.

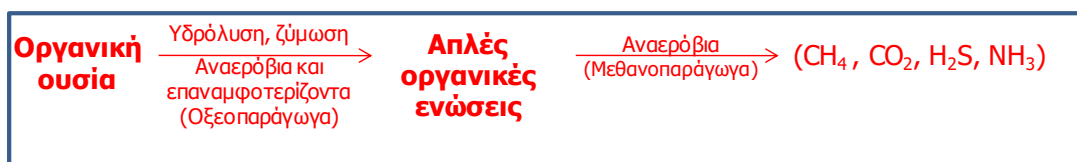
Πίνακας 20. Μεταβολή παραμέτρων των ακατέργαστων λυμάτων, μετά την πρωτοβάθμια επεξεργασία τους στη μονάδα βιολογικού καθαρισμού.

Παράμετροι	Ακατέργαστα λύματα	Πρωτοβάθμια επεξεργασία
Αιωρούμενα στερεά/SS (mg/L)	220	60
Φωσφόρος (mg/L)	8	7
BOD ₅ (mg/L)	250	175

3.3.2 Δευτεροβάθμια επεξεργασία ή βιολογικός καθαρισμός

Μετά το τέλος της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας τα λύματα υπόκεινται στο βιολογικό καθαρισμό, με κύριο στόχο την απομάκρυνση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου, μέσω της μεσολάβησης αποικοδομητικών μικροοργανισμών. Η δευτεροβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων πραγματοποιείται μέσω αναερόβιων, αερόβιων και μικτών διαδικασιών (αναερόβια και αερόβια).

Κατά την αναερόβια διαδικασία τα λύματα μεταφέρονται σε δεξαμενές στις οποίες πραγματοποιείται σταθεροποίηση των οργανικών ουσιών με τη μεσολάβηση αναερόβιων ή επαναμφοτερίζοντων (αερόβιων και αναερόβιων) οργανισμών, απουσία οξυγόνου. Συγκεκριμένα, οι οργανικές ενώσεις μετατρέπονται σε απλούστερες ενώσεις, οι οποίες με τη σειρά τους, με τη μεσολάβηση των μεθανοπαράγωγων βακτηρίων, μετατρέπονται τελικά σε απλές ενώσεις, όπως το μεθάνιο, το υδρόθειο, η αμμωνία και διοξείδιο του άνθρακα (**Εικόνα 27**). Η αποτελεσματικότητα της αναερόβιας επεξεργασίας των λυμάτων προϋποθέτει την απουσία διαλυμένου οξυγόνου, την έλλειψη αυξημένων συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων, τιμές pH 6.6-7.6, επάρκεια θρεπτικών και κατάλληλη θερμοκρασία.



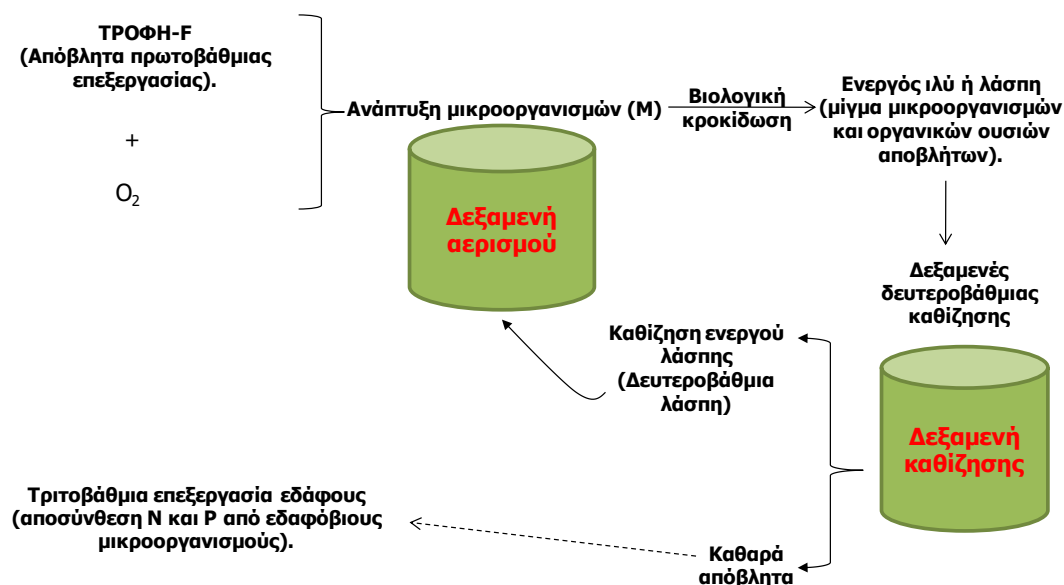
Εικόνα 27. Αναερόβια επεξεργασία οργανικών ουσιών.

Η αναερόβια επεξεργασία πραγματοποιείται επιπλέον για τη χώνευση της δραστικής λάσπης καθώς και την επεξεργασία πυκνών βιομηχανικών αποβλήτων. Αντίθετα, κατά την αερόβια επεξεργασία, τα λύματα που προέρχονται από την πρωτοβάθμια επεξεργασία εισέρχονται σε δεξαμενές σταθεροποίησης, στις οποίες υπόκεινται σε αερισμό και δευτεροβάθμια επεξεργασία, με τη μεσολάβηση αερόβιων και επαναμφοτερίζοντων μικροοργανισμών. Τα τελικά προϊόντα της αερόβιας επεξεργασίας είναι το διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου και νερό, τα οποία είναι λιγότερα επιβαρυντικά για το περιβάλλον συγκριτικά με τα τελικά προϊόντα της αναερόβιας επεξεργασίας.

Η αερόβια επεξεργασία πραγματοποιείται συνήθως με τη χρησιμοποίηση χαλικοδιύλιστηριών και δεξαμενών δευτεροβάθμιας καθίζησης. Συγκεκριμένα, τα χαλικοδιύλιστήρια αποτελούν βιολογικά φίλτρα, στα οποία παρέχονται τα κατάλληλα υποστρώματα για την ανάπτυξη και συγκράτηση των μικροοργανισμών για μεγάλο χρονικό διάστημα, επιτυγχάνοντας υψηλές συγκεντρώσεις βιομάζας σε μικρούς όγκους. Πρόκειται για ειδικές δεξαμενές που αποτελούνται από κατάλληλα διαβαθμισμένα στρώματα χαλικιού. Τα λύματα ραντίζονται με τη βοήθεια περιστροφικού διανομέα στη δεξαμενή, δημιουργώντας **ένα δραστικό βιολογικό στρώμα (ζωογλοία)** με τη μεσολάβηση των μικροοργανισμών. Με τη χρησιμοποίηση του οργανικού φορτίου των λυμάτων από τους μικροοργανισμούς επιτυγχάνεται η βιολογική αποικοδόμηση των οργανικών συστατικών, καθώς και η ανανέωση του μικροβιακού φορτίου που είναι απαραίτητο για τη διαδικασία της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας των λυμάτων.

Κατά τη διαδικασία της αερόβιας επεξεργασίας των λυμάτων και μετά τη μεσολάβηση των μικροοργανισμών, τα λύματα οδηγούνται σε δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης, στις οποίες πραγματοποιείται η καθίζηση της δραστικής λάσπης (δευτεροβάθμια δραστική λάσπη) και κατ' επέκταση ο διαχωρισμός των καθαρών αποβλήτων, τα οποία θα οδηγηθούν στην τριτοβάθμια επεξεργασία. Η δευτεροβάθμια δραστική λάσπη θα οδηγηθεί ξανά στη δεξαμενή αερισμού για επαναχρησιμοποίηση των μικροοργανισμών στη διαδικασία της αερόβιας επεξεργασίας, παρουσία των απαραίτητων οργανικών που προέρχονται από τη συνεχή παροχή λυμάτων (**Εικόνα 28**).

Η αποτελεσματικότητα της παραπάνω διαδικασίας προϋποθέτει συνεχή τροφοδοσία με τροφή (F), δηλ., με απόβλητα πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, επαρκή παροχή οξυγόνου (μέθοδος παρατεταμένου αερισμού), καθώς και σταθεροποίηση ορισμένων ανόργανων ουσιών, όπως η αμμωνία και τα νιτρώδη, με παρατεταμένη παραμονή των αποβλήτων στις δεξαμενές αερισμού, έτσι ώστε να αναπτυχθούν τα αυτότροφα νιτροβακτήρια (μέσος χρόνος παραμονής αστικών λυμάτων 10 μέρες, στους 21-22°C). Παράλληλα η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας ελέγχεται μέσω της μέτρησης του ρυθμού καθίζησης της δραστικής λάσπης (δείκτης όγκου λάσπης, SVI).



Εικόνα 28. Στάδια αερόβιας επεξεργασίας λυμάτων.

Ο κύριος στόχος της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας των λυμάτων είναι η περαιτέρω μείωση των αιωρούμενων στερεών, καθώς και της τιμής BOD (Πίνακας 21).

Πίνακας 21. Μεταβολή παραμέτρων στα λύματα, μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία τους.

Παράμετροι	Ακατέργαστα λύματα	1 ^θ μια επεξεργασία	2 ^θ μια επεξεργασία	Επιθυμητές τιμές λυμάτων
Αιωρούμενα στερεά (mg/L)	220	60	15	≤35*
Φωσφόρος (mg/L)	8	7	6	≤1**
BOD ₅ (mg/L)	250	175	15	≤25

* Για πληθυσμό άνω των 10.000 κατοίκων
** Για πληθυσμό άνω των 100.000 κατοίκων

3.3.3 Τριτοβάθμια επεξεργασία

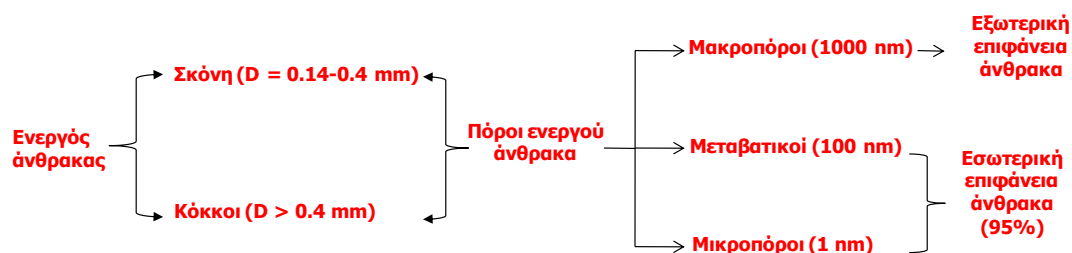
Η τριτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων στοχεύει κυρίως στην απομάκρυνση τοξικών ουσιών, όπως τα βαρέα μέταλλα και άλλα συστατικά, με κύριο στόχο την επαναχρησιμοποίηση των υγρών απορροών για διάφορους σκοπούς, όπως η άρδευση. Το συγκεκριμένο στάδιο επεξεργασίας των λυμάτων

εφαρμόζεται κυρίως σε βιομηχανικές μονάδες, όπου απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή, λόγω της χρησιμοποίησης και παραγωγής επικίνδυνων/τοξικών ουσιών.

Κατά τη διαδικασία της τριτοβάθμιας επεξεργασίας των αποβλήτων πραγματοποιείται περαιτέρω απομάκρυνση αιωρούμενων ουσιών, με τη χρησιμοποίηση μικροδιηθητών. Οι μικροδιηθητές είναι ανοξειδωτά διάτρητα κυκλικά τύμπανα τα οποία περιστρέφονται και μέσω ψεκασμού με νερό καθαρίζονται οι τρύπες και φιλτράρονται τα αιωρούμενα σωματίδια.

Επιπλέον, τα λύματα υπόκεινται σε περαιτέρω επεξεργασία απομάκρυνσης BOD, μέσω της άντλησής τους σε δεξαμενές οξείδωσης ή διαμέσου υλικών προσρόφησης. Συγκεκριμένα, οι δεξαμενές οξείδωσης βρίσκονται στο έδαφος και τα λύματα υφίστανται αερόβια και αναερόβια χώνευση. Εναλλακτικά, η μέθοδος προσρόφησης πραγματοποιείται η συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών σε διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ υγρής και στερεής φάσης. Ως υλικά προσρόφησης χρησιμοποιείται κυρίως λεπτή άργιλος ή ενεργός αλουμίνα, ενώ τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται ο ενεργός άνθρακας σε στήλη ή σύστημα στηλών (σταθερή ή κινητή κλίνη).

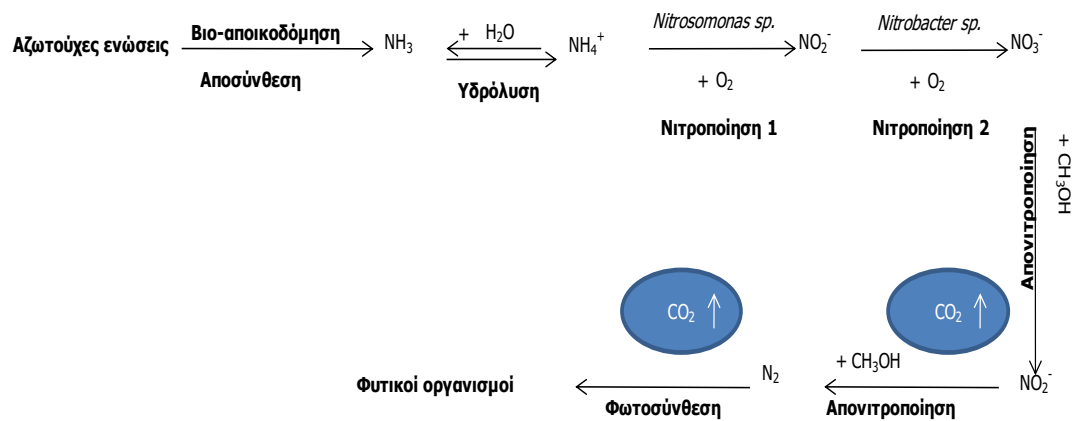
Ο ενεργός άνθρακας (**Εικόνα 29**) χαρακτηρίζεται από μεγάλη επιφάνεια προσρόφησης (εξωτερική και εσωτερική επιφάνεια προσρόφησης), λόγω της ύπαρξης πόρων διαφορετικής διαμέτρου και εκτός των διαλυμένων οργανικών προσροφούνται και αιωρούμενα στερεά.



Εικόνα 29. Ενεργός άνθρακας.

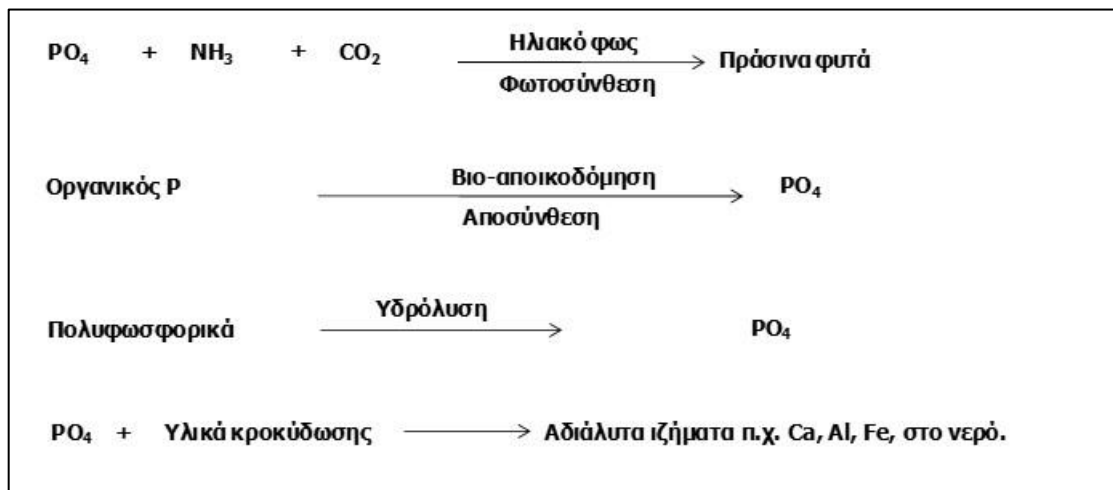
Εκτός από την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου και των αιωρούμενων σωματιδίων, η ποιότητα των κατεργασμένων λυμάτων κρίνεται από τα επίπεδα αζώτου και φωσφόρου. Το άζωτο στα λύματα μπορεί να βρίσκεται με τη μορφή της αμμωνίας, η οποία αποτελεί κύριο συστατικό τοξικότητας των κατεργασμένων λυμάτων και πρέπει να απομακρυνθεί πριν τη τελική διάθεσή τους. Η απομάκρυνση των αζωτούχων ενώσεων

πραγματοποιείται με τη μεσολάβηση νιτροποιητικών και απονιτροποιητικών βακτηρίων κατά το στάδιο επεξεργασίας των αποβλήτων και την τελική διοχέτευση των επεξεργασμένων λυμάτων σε φυτικούς οργανισμούς (**Εικόνα 30**), μια διαδικασία με την οποία αποτρέπεται η απελευθέρωση προϊόντων του αζώτου, όπως η αμμωνία, στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 30. Παραγωγή νιτροϊόντων και απομάκρυνση του αζώτου με τη μεσολάβηση νιτροποιητικών και απονιτροποιητικών βακτηρίων.

Από την άλλη πλευρά, ο φωσφόρος απαντά στα λύματα κυρίως με τη μορφή των ορθοφωσφορικών και η απομάκρυνσή του επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους και υλικά προσρόφησης (**Εικόνα 31**).



Εικόνα 31. Τρόποι απομάκρυνσης φωσφόρου.

Το τελικό αποτέλεσμα της τριτοβάθμιας επεξεργασίας των λυμάτων είναι η σημαντική μείωση των επιβαρυντικών για το περιβάλλον παραμέτρων των

λυμάτων (**Πίνακας 22**), πριν την τελική τους διάθεση ή χρησιμοποίησή τους για διάφορες δραστηριότητες.

Πίνακας 22. Τελικές τιμές παραμέτρων των λυμάτων, μετά την τριτοβάθμια επεξεργασία τους.

Παράμετροι	Ακατ/στα λύματα	2^θμα επεξεργασία	3^θμα επεξεργασία	Επιθυμητές τιμές λυμάτων
Αιωρούμενα στερεά (mg/L)	220	15	10	≤35*
Φωσφόρος (mg/L)	8	6	0,5	≤1**
BOD₅ (mg/L)	250	15	10	≤25

* Για πληθυσμό άνω των 10.000 κατοίκων
** Για πληθυσμό άνω των 100.000 κατοίκων

3.3.4 Επεξεργασία και διάθεση δραστικής λάσπης

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που προκύπτει στις μονάδες βιολογικού καθαρισμού, είναι η επεξεργασία και η διάθεση της δραστικής λάσπης που δημιουργείται κατά τη διαδικασία της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας επεξεργασίας των λυμάτων. Η δραστική λάσπη είναι πλούσια σε αιωρούμενα στερεά, με ιδιαίτερα σημαντικά επίπεδα οργανικού φορτίου, ενώ η δευτεροβάθμια δραστική λάσπη χαρακτηρίζεται από μεγάλο μικροβιακό φορτίο. Και στις δύο περιπτώσεις, η δυσοσμία και η επικινδυνότητα διάθεσής της στο περιβάλλον απαιτούν την επεξεργασία της.

3.3.4.1 Σταθεροποίηση δραστικής λάσπης

Σε ένα πρώτο στάδιο, η δραστική λάσπη σταθεροποιείται με προσθήκη ασβέστη με τη μορφή Ca(OH)₂ ή CaO, έτσι ώστε να μειωθεί η δυσοσμία και να καταστραφούν οι παθογόνοι μικροοργανισμοί. Το βασικό μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι αποτελεί μια προσωρινή μέθοδο. Γι' αυτό το λόγο, η δραστική λάσπη υπόκεινται σε αερόβια χώνευση, μέσω μακροχρόνιας παραμονής της σε δεξαμενές αερισμού, έτσι ώστε να απομακρυνθούν τα ολικά και πτητικά στερεά μέσω της ενδογενούς αναπνοής των μικροοργανισμών. Το βασικό μειονέκτημα της παραπάνω διαδικασίας είναι ότι δεν μπορεί εύκολα να πραγματοποιηθεί η μείωση της ποσότητας νερού της λάσπης, κάτι το οποίο επιτυγχάνεται με την αναερόβια χώνευσή της, με τη μεσολάβηση

αβαθείς δεξαμενές εξάτμισης, ενώ ιδιαίτερα διαδεδομένη είναι στις μέρες μας η χρήση φίλτρων με κενό ή υπο πίεση, η φυγοκέντριση της λάσπης, καθώς και η θερμική εξάτμισή της. Στη συνέχεια, η δραστική λάσπη μπορεί να διατεθεί προς υγειονομική ταφή, ή να χρησιμοποιηθεί ως υλικό λίπανσης σε αγροτικές εκτάσεις.

3.4 Απολύμανση υγρών αποβλήτων

Το τελευταίο στάδιο στην επεξεργασία αποβλήτων είναι η απολύμανσή τους, η οποία στοχεύει στην καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών, ώστε να αποφευχθεί η μόλυνση του αποδέκτη και η διάδοση ασθενειών. Η διαδικασία της απολύμανσης απαιτεί τη χρήση απολυμαντικών μέσων, τα οποία (α) να εμφανίζουν ισχυρή δράση έναντι της πλειοψηφίας των παθογόνων μικροοργανισμών (μικρόβια, έλμινθες, πρωτόζωα, ιοί), (β) να εφαρμόζονται εύκολα και με χαμηλό κόστος και (γ) να μην προκαλούν δυσάρεστες καταστάσεις τόσο στο σύστημα απολύμανσης και στο προσωπικό, όσο και στο περιβάλλον. Η απολύμανση των υδάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους, με πιο διαδεδομένους να είναι:

A) η χλωρίωση.

B) ο οζονισμός.

Γ) η χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας.

3.4.1 Χλωρίωση

Η περισσότερο διαδεδομένη και δοκιμασμένη μέθοδος απολύμανσης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι η χλωρίωση, με τη χρήση κατάλληλων απολυμαντικών που έχουν ως βάση το χλώριο (π.χ. Cl₂, ClO₂, NaOCl). Συγκεκριμένα, ενώσεις του χλωρίου, όπως το υποχλωριώδες οξύ (HOCl) (**Εικόνα 33**) παρουσιάζουν ισχυρή βακτηριοκτόνο δράση σε πολύ σύντομο διάστημα εφαρμογής της μεθόδου της απολύμανσης (25-30 min).



Σε τιμές pH < 7 η συγκέντρωση των HOCl είναι μεγαλύτερη από των ιόντων

Εικόνα 33. Αντιδράσεις σχηματισμού υποχλωριώδους οξέος και ιόντων, με έντονη βακτηριοκτόνο δράση, κατά τη διαδικασία της χλωρίωσης των αποβλήτων.

Η διαδικασία της χλωρίωσης περιλαμβάνει 4 διακριτά στάδια. Σε ένα πρώτο στάδιο πραγματοποιείται προσθήκη χλωρίου, με τη μορφή χλωρίνης (περίπου 15% κ.ο), έτσι ώστε να επιτευχθεί αποχρωματισμός των υγρών αποβλήτων και εξαφάνιση των δυσάρεστων οσμών, καθώς και καταστροφή των μικροβίων που υπάρχουν στο νερό. Σε ένα δεύτερο στάδιο, πραγματοποιείται προσθήκη θειϊκού αργίλου για την κροκίδωση των υπολειπόμενων στερεών σωματιδίων (ολικά διαλυμένα στερεά) του νερού, καθίζησή τους σε μεγάλες δεξαμενές και διοχέτευση του νερού μέσα από ειδικά αμμόφιλτρα για τη συγκράτηση μικρών και ελαφρών σωματιδίων. Το νερό στη συνέχεια, αφού υποστεί μετα-χλωρίωση, διατίθεται σχεδόν 100% απαλλαγμένο από μικρόβια.

Η μέθοδος της χλωρίωσης είναι απλή και το κόστος εφαρμογής της είναι μικρό, ενώ βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι το γεγονός ότι το χλώριο μπορεί να σχηματίσει αλογονομένες ενώσεις (π.χ. χλωροφόρμιο, CHCl₃), οι οποίες σχετίζονται με την πρόκληση τοξικών επιπτώσεων για τους υδρόβιους οργανισμούς. Επίσης, η ύπαρξη υπολειμμάτων χλωρίου μπορεί να προκαλέσει τοξικές επιπτώσεις στους υδρόβιους οργανισμούς, γεγονός το οποίο απαιτεί

την αποχλωρίωση των αποβλήτων (π.χ. με τη χρήση ενεργού άνθρακα ή SO_2), καθώς και τη διενέργεια περαιτέρω εργαστηριακών αναλύσεων για τον προσδιορισμό του υπολειμματικού χλωρίου, που αυξάνει το κόστος εφαρμογής της μεθόδου.

3.4.2 Οζονισμός

Η μέθοδος του οζονισμού είναι 300-3000 φορές πιο αποτελεσματική από τη χλωρίωση, έναντι παθογόνων μικροοργανισμών και ιών. Ο χρόνος εφαρμογής της μεθόδου (20 min) είναι μικρότερος της χλωρίωσης, ενώ το όζον (O_3) δε δημιουργεί τοξικά παράγωγα. Επιπλέον, Το υπολειμματικό όζον (O_3) αποσυντίθεται ταχύτατα, μειώνοντας τις τοξικές επιπτώσεις για τους υδρόβιους οργανισμούς, ενώ η απόδοση της μεθόδου δεν επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, pH), όπως με τη χλωρίωση. Αντίθετα, βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου είναι το υψηλό κόστος του απαιτούμενου εξοπλισμού, η μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις παραγωγής όζοντος, καθώς και το γεγονός ότι το όζον είναι διαβρωτικό, διασπάται γρήγορα και δεν μπορεί εύκολα να ελεγχθεί. Επίσης, η ύπαρξη ρυπογόνων ουσιών στα επεξεργασμένα απόβλητα που υπόκεινται στη διαδικασία της απολύμανσης, μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου του οζονισμού, ενώ συχνά σχηματίζονται εποξειδία και βρωμιωμένες ενώσεις, ιδιαίτερα τοξικές για τους οργανισμούς.

3.4.3 Υπεριώδης ακτινοβολία

Η μέθοδος απολύμανσης με τη χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας, στηρίζεται στην ικανότητα της UV ακτινοβολίας (μήκη κύματος 250-265 nm) να διασπών το γενετικό υλικό των μικροοργανισμών και ιών. Η συγκεκριμένη μέθοδος δεν εμφανίζει καμία από τις επιδράσεις που μπορεί να επιφέρουν το χλώριο και το όζον, ενώ βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αποτελούν (α) οι αυξημένες δαπάνες συντήρησης των εγκαταστάσεων και (β) η μείωση της απόδοσης των συσκευών ακτινοβόλησης με την πάροδο του χρόνου. Στον **Πίνακα 23** συνοψίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των 3 μεθόδων που αναλύθηκαν.

Πίνακας 23. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθόδων απολύμανσης των νερών. Με αστερίσκους υποδηλώνεται ο βαθμός απόδοσης της κάθε μεθόδου (* μικρή, ** μεσαία και *** μεγάλη).

Χαρακτηριστικές ιδιότητες	Χλωρίωση	Οζονισμός	UV
Ιοκτόνος δράση	*	***	**
Βακτηριοκτόνος δράση	**	*	**
Επανεμφάνιση βακτηρίων στα επεξεργασμένα απόβλητα	*	*	*
Παραπροϊόντα επεξεργασίας	***	*	-
Απομένουσα τοξικότητα	***	*	-
Προβλήματα ασφαλείας	***	**	*
Κόστος επένδυσης	*	**	*
Ευκολία εγκατάστασης	*	*	**
Λειτουργικό κόστος	*	**	*
Κόστος συντήρησης	**	*	***

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ (ECOLOGICAL RISK ASSESSMENT)

4.1 Εκτίμηση οικολογικού κινδύνου – Βασικές έννοιες

Η συνεχής βιομηχανική ανάπτυξη και η ανεξέλεγκτη εξάπλωση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων θέτει την ανάγκη εκτίμησης των οικολογικών επιπτώσεων και του κινδύνου που εγκυμονεί η ανθρώπινη παρέμβαση στο περιβάλλον. Γι' αυτό το λόγο, στα πλαίσια ερευνών της περιβαλλοντικής τοξικολογίας γίνονται προσπάθειες να εκτιμηθούν οι βλαβερές επιδράσεις των χημικών ουσιών τόσο στο περιβάλλον, όσο και στον ίδιο τον άνθρωπο.

Η εκτίμηση του οικολογικού κινδύνου αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο διαχείρισης που στοχεύει στη λήψη αποφάσεων που αφορούν τη χρήση νέων υλικών για τα οποία υπάρχουν αμφιβολίες για τη χρησιμότητα και τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Με άλλα λόγια, πραγματοποιείται η εκτίμηση της πιθανότητας να συμβεί ένα ανεπιθύμητο γεγονός σε ένα οικολογικό σύστημα, το οποίο υφίσταται την επίδραση είτε κάποιου εξωγενούς παράγοντα (χημική ουσία-ρύπος), είτε μίας νέας περιβαλλοντικής καταπόνησης/παράγοντα έντασης, (π.χ., θερμοκρασιακές αλλαγές, επίδραση ιοντίζουσας ακτινοβολίας, κ.λπ). Η επαφή των οργανισμών του οικοσυστήματος με τον παράγοντα έντασης ή τη νέα περιβαλλοντική κατάσταση μπορεί να οδηγήσει σε διάφορες δυσάρεστες καταστάσεις, όπως πρόκληση μεταλλαξιγένεσης, η διαταραχή της φυσιολογικής ομοιόστασης των οργανισμών και η διαταραχή της οικολογικής ισορροπίας του οικοσυστήματος.

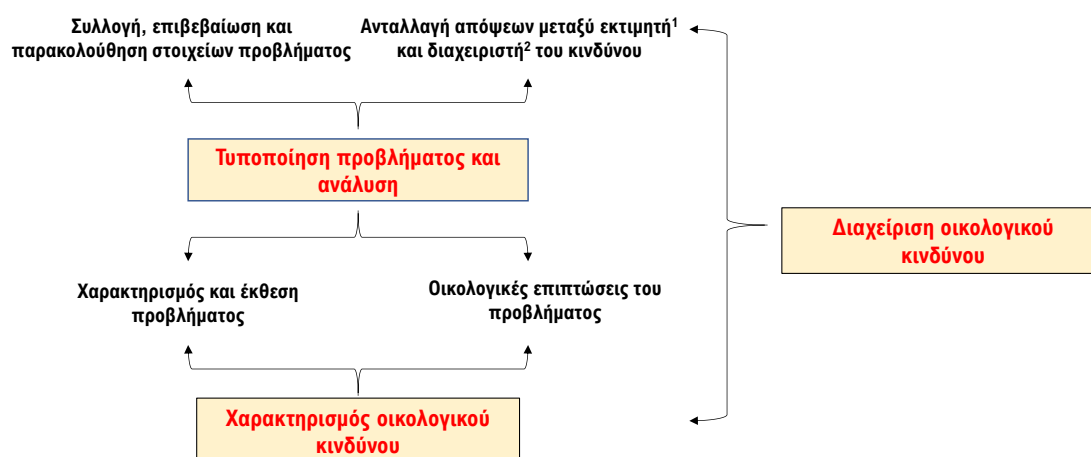
Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα που αποδεικνύει τη χρησιμότητα της εκτίμησης του οικολογικού κινδύνου αποτελεί η περίπτωση των κατοίκων του κόλπου Minamata στην Ιαπωνία (1959). Σε αυτή την περιοχή, απόβλητα ενός εργοστασίου, πλούσια σε υδράργυρο, απορρίπτονταν ακατέργαστα στα νερά του κόλπου. Η επαφή του μετάλλου με το υδάτινο μέσο προκάλεσε τη μετατροπή του σε μεθυλοϋδράργυρο, που αποτελεί μια τοξική μορφή του μετάλλου με έντονη βιοσυσσώρευση στους υδρόβιους οργανισμούς και ειδικότερα στα ψάρια που αποτελούσαν την κύρια διατροφική πηγή των κατοίκων της περιοχής. Η έντονη επιβάρυνση του κόλπου με τη μεθυλομορφή του υδραργύρου προκάλεσε μεγάλο αριθμό δηλητηριάσεων και θανάτων μεταξύ των κατοίκων του κόλπου, ενώ μεγάλος αριθμός ατόμων έμειναν

παράλυτα. Η ανυπαρξία προληπτικών μέτρων και ελέγχου των δραστηριοτήτων της εργοστασιακής μονάδας οδήγησε στην ανεξέλεγκτη επιβάρυνση του υδάτινου οικοσυστήματος με άμεσο αντίκτυπο τόσο στην δομή και στην επιβίωση των υδρόβιων οργανισμών, όσο και στην ανθρώπινη υγεία.

Η στρατηγική που πρέπει να ακολουθείται για την εκτίμηση του οικολογικού κινδύνου, περιλαμβάνει διάφορα στάδια, τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, με κύριο γνώμονα την εξαγωγή αντικειμενικών δεδομένων. Ειδικά στην περίπτωση των φυσικών οικοσυστημάτων, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πολυπλοκότητά τους, όπως οι διάφορες τροφικές αλυσίδες και τα τροφικά πλέγματα, ο βαθμός επίδρασης και η «επιμονή» του παράγοντα έντασης, η σύσταση και το είδος των βιοτόπων, η δυναμική των πληθυσμών, καθώς και προηγούμενες οικοτοξικολογικές αναλύσεις. Στην περίπτωση που ο παράγοντας έντασης αφορά την ύπαρξη και τις επιπτώσεις ρυπογόνων ουσιών, η εκτίμηση του οικολογικού κινδύνου μπορεί να σχετίζεται με την ικανότητα του ρύπου να προκαλεί δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία του ανθρώπου (**hazard assessment**/ποιοτική αξιολόγηση της επικινδυνότητας της ουσίας), καθώς και την ποσοτική εκτίμηση του κινδύνου που διατρέχει το περιβάλλον από την ύπαρξη της ρυπογόνου ουσίας (**risk assessment**). Στην τελευταία περίπτωση, η χρήση οικοτοξικολογικών μελέτων μπορεί να μας δώσει χρήσιμα ποσοτικά δεδομένα σχετικά με την πιθανότητα πρόκλησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων καθώς και διαταραχών στην ανθρώπινη υγεία και στην ομοιόσταση των έμβιων οργανισμών.

4.2 Πλαίσιο εκτίμησης οικολογικού κινδύνου

Το πλαίσιο εκτίμησης του οικολογικού κινδύνου που διατρέχει ένα οικοσύστημα αποτελεί ένα πολύπλοκο δίκτυο επιμέρους διεργασιών, το οποίο περιλαμβάνει (α) την γνώση του προβλήματος, μετά από συλλογή, επιβεβαίωση και ανάλυση των στοιχείων (**τυποποίηση του προβλήματος και ανάλυση**), (β) τον χαρακτηρισμό της επικινδυνότητας και των οικολογικών επιπτώσεων του παράγοντα έντασης (**χαρακτηρισμός του οικολογικού κινδύνου**) και (γ) τη δημιουργία ενός διαχειριστικού πλάνου, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο οικολογικός κίνδυνος (**διαχείριση οικολογικού κινδύνου**) (Εικόνα 34).



Εικόνα 34. Διαγραμματική απεικόνιση του πλαισίου εκτίμησης οικολογικού κινδύνου (EPA, 1992). ¹Εκτιμητής κινδύνου (risk assessor): ο εμπειρογνώμονας που ασχολείται με την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση του προβλήματος, ²Διαχειριστής κινδύνου (risk manager): η αρμόδιες αρχές που θα αναλύσουν τεχνο-οικονομικά και βάσει της εισήγησης του εκτιμητή το μέγεθος του προβλήματος και θα προχωρήσουν στην ορθή διαχείριση.

Η τυποποίηση του προβλήματος που διατρέχει το περιβάλλον απαιτεί τη συλλογή και πιστοποίηση των δεδομένων που αφορούν τον παράγοντα έντασης. Τα παραπάνω επιτυγχάνονται με τη μεσολάβηση του κατάλληλου εμπειρογνώμονα (risk assessor) που ασχολείται (α) με την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση του προβλήματος, (β) τη συλλογή, επιβεβαίωση και συνεχή παρακολούθηση των δεδομένων και (γ) με την εκτίμηση της αβιοτικής και βιολογικής κατάστασης του οικοσυστήματος που βρίσκεται ή θα βρεθεί υπό πίεση. Στη συνέχεια, ο εμπειρογνώμονας θα επικοινωνήσει τα αποτελέσματα της μελέτης με τις αρμόδιες διαχειριστικές αρχές (risk manager), προκειμένου να γίνει τεχνο-οικονομική ανάλυση των δεδομένων και η σωστή διαχείριση και επίτευξη των τελικών στόχων (π.χ. προστασία αγριοπανίδας ή αγριοχλωρίδας, υδάτινοι πόροι και ρύπανση). Η ανάλυση του προβλήματος και της πίεσης που διατρέχει το οικοσύστημα αποσκοπεί στον χαρακτηρισμό του οικοσυστήματος και την αποκατάσταση και περιλαμβάνει (α) ανάλυση εκθέσεων που αφορούν μετρήσεις συγκεντρώσεων, δεδομένα βιοδιαθεσιμότητας, βιοσυσσώρευσης, βιομεγέθυνσης, μετασχηματισμών, κατανομής και αποικοδόμησης των ρύπων, (β) δεδομένα τοξικότητας σε εργαστηριακές μελέτες και μελέτες πεδίου, (γ) οικολογικά δεδομένα και σχέσεις τοξικότητας, καθώς και (δ) ανάλυση του προφίλ του παράγοντα έντασης και των επιπτώσεων σε επίπεδο βιοκοινοτήτων και οικοσυστήματος.

Τα δεδομένα που θα προκύψουν από την τυποποίηση και ανάλυση του προβλήματος συνεισφέρουν ουσιαστικά στον χαρακτηρισμό του οικολογικού κινδύνου που διατρέχει το οικοσύστημα. Ο χαρακτηρισμός περιλαμβάνει (α) την ενσωμάτωση των τοξικολογικών δεδομένων στην τελική έκθεση για τον χαρακτηρισμό της επικινδυνότητας, (β) την ανάλυση και αναφορά στις αβεβαιότητες των δεδομένων, (γ) την περιγραφή των δυνητικών επιπτώσεων των ρύπων στο οικοσύστημα (εκτίμηση πραγματικού κινδύνου) και εν τέλει (δ) μια ορθή και κατανοητή, για τον διαχειριστή, ερμηνεία της οικολογικής σημασίας του κινδύνου, προκειμένου ο τελευταίος να θέσει ως βασική του προτεραιότητα την επίτευξη του τελικού στόχου που είναι η προστασία του περιβάλλοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΞΕΝΟΒΙΟΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ

Για την πρόκληση περιβαλλοντικών διαταραχών και ειδικότερα την εμφάνιση επιπτώσεων στους οργανισμούς δεν αρκεί απλά η παρουσία μιας ρυπογόνου ουσίας στο περιβάλλον ενός οργανισμού, αλλά θα πρέπει να εισέλθει στον οργανισμό από την κατάλληλη οδό, να φτάσει στο όργανο στόχο στην κατάλληλη ποσότητα και να δράσει την κατάλληλη στιγμή. Κατά συνέπεια, η ποσότητα της ουσίας δεν είναι κάτι δεδομένο και απόλυτο, αλλά εξαρτάται από τον οργανισμό και τη φυσική του κατάσταση, τον τρόπο εισόδου και το ποσοστό απορρόφησής της.

Στις επιμέρους ενότητες που θα ακολουθήσουν θα αναφερθούν περιληπτικά οι διάφορες μορφές με τις οποίες μπορεί να βρίσκεται μια ρυπογόνος ουσία στο περιβάλλον, οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να προσληφθεί από τους οργανισμούς, οι τρόποι δράσης μια τοξικής ουσίας, καθώς και οι μηχανισμοί που διαθέτουν οι οργανισμοί, προκειμένου να αντιμετωπίσουν τις τοξικές επιπτώσεις της.

5.1 Βιοδιαθεσιμότητα μιας ξενοβιοτικής ουσίας

Μια ρυπογόνος ουσία (οι ρυπογόνες ουσίες ονομάζονται και ξενοβιοτικές ουσίες) μπορεί να είναι (α) στη σωματιδιακή της μορφή, (β) σε σύμπλοκο με άλλες ενώσεις του περιβάλλοντος, (γ) διαλυμένη στο υδάτινο μέσο, σε μορφή ιόντων, (δ) σε αέρια μορφή, ή σε συνδυασμό των παραπάνω. Στο υδάτινο περιβάλλον, οι ρυπογόνες ουσίες εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις σε παράκτιες περιοχές. Η υδατοδιαλυτότητά τους, ο ρυθμός και η έκταση της έκλουσής τους από τη στερεά φάση στον υδάτινο όγκο, καθώς και η ικανότητα διαλυτοποίησής τους από τις πεπτικές διαδικασίες των οργανισμών αποτελούν τους κυριότερους παράγοντες ελέγχου της βιοδιαθεσιμότητάς της. Για παράδειγμα, οργανισμοί που προσλαμβάνουν θρεπτικά σωματίδια του ιζήματος γίνονται αποδέκτες οργανικών ρύπων, οι οποίοι μπορεί εύκολα να προσληφθούν και να απελευθερωθούν στο εσωτερικό των υδρόβιων οργανισμών, εφόσον παρουσιάζουν ασταθή σύνδεση με την οργανική ύλη. Αντίθετα, ενώσεις που παρουσιάζουν σταθερή σύνδεση με την οργανική ύλη δεν απελευθερώνονται εύκολα και απομακρύνονται από τον οργανισμό μέσω της διαδικασίας της απέκκρισης.

5.2 Πρόσληψη διαλυμένων στο υδάτινο μέσο ξενοβιοτικών ουσιών

Λαμβάνοντας υπόψη μας τις φυσικοχημικές ιδιότητες μιας ξενοβιοτικής ουσίας, καθώς και τις βιολογικές παραμέτρους των οργανισμών που έρχονται σε επαφή στο υδάτινο μέσο, μπορούμε να προσδιορίσουμε την πρόσληψη μιας ρυπογόνου ουσίας διαλυμένης στο νερό από τους οργανισμούς. Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση μιας διαλυμένης ουσίας στον οργανισμό είναι συνάρτηση του ρυθμού πρόσληψής της, καθώς και της συγκέντρωσης με την οποία απαντά στο υδάτινο μέσο και δίνεται από την εξίσωση (1):

$$C_A = K_U C_W T \quad (1)$$

όπου,

C_A : η συγκέντρωση της ουσίας στον οργανισμό (ng/g)

C_W : η συγκέντρωση της ουσίας στον υδάτινο όγκο (ng/g)

T : ο χρόνος (h)

K_U : η σταθερά του ρυθμού πρόσληψης της ουσίας (1/h)

Για παράδειγμα, η σταθερά K_U του βενζο[α]πυρενίου στο Δίθυρο Μαλάκιο *Mercenaria mercenaria* ισούται με τιμή 5, ενώ μπορεί να επηρεαστεί από τη θερμοκρασία του νερού, το μεταβολικό ρυθμό του οργανισμού και την ικανότητα μετακίνησης της ουσίας διαμέσου των βραγχίων του οργανισμού.

Με παρόμοιο τρόπο μπορούμε να προσδιορίσουμε την πρόσληψη μιας ξενοβιοτικής ουσίας από τα ψάρια και την μεταφορά της στο λιπώδη ιστό, σύμφωνα με την εξίσωση (2) των Gobas & Mackay (1987):

$$V_F Z_F \frac{df_F}{dt} = V_L Z_L \frac{df_L}{dt} = D_F (f_w - f_L) \quad (2)$$

όπου,

V : ο όγκος (m^3)

Z : η ικανότητα διαφυγής της ουσίας από τη φάση στην οποία βρίσκεται κατά την πρόσληψή της και η μεταφορά της στη λιπιδική μορφή ($mol/m^3 \times Pa$)

f : η διαφυγή

t: ο χρόνος (sec)

D: η παράμετρος μεταφοράς, η οποία περιλαμβάνει το σύνολο των αντιστάσεων μεταξύ λιπιδικής σύστασης και υδάτινου μέσου ($\text{mol/Pa} \times \text{sec}$).

W: αναφέρεται στο υδάτινο μέσο

F: αναφέρεται στον οργανισμό που προσλαμβάνει την ουσία.

L: αναφέρεται στην ποσότητα του λίπους, στην οποία η ξενοβιοτική ένωση «διαφεύγει».

Σύμφωνα με τους Stegeman & Teal (1973), υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ της λιπιδικής σύστασης και της συσσώρευσης πετρελαιοειδών στα οστρακοειδή. Συγκεκριμένα, στρείδια υψηλής και χαμηλής λιπιδικής σύστασης συσσωρεύουν 334 και 161 $\mu\text{g/g}$ ιστού πετρελαιοειδών αντίστοιχα. Η συγκέντρωση των βραγχίων σε λίπος φαίνεται ότι παίζει σημαντικό ρόλο στον έλεγχο της πρόσληψης της ουσίας. Ο προσδιορισμός της ικανότητας μιας ουσίας να προσλαμβάνεται από τα βράγχια και να μεταπηδά από το υδάτινο μέσο στο εσωτερικό του οργανισμού δίνεται με την παράμετρο K_{ow} , η οποία είναι ο συντελεστής διάλυσής της στο υδάτινο μέσο.

Η βιοσυσσώρευση ορισμένων οργανικών ρύπων λαμβάνει χώρα όταν ο ρυθμός απομάκρυνσης της ουσίας είναι μικρότερος από το ρυθμό πρόσληψής της από τον οργανισμό και βρίσκεται σε άμεση σχέση με το συντελεστή K_{ow} . Ο παράγοντας βιοσυσσώρευσης περιγράφει το βαθμό συσσώρευσης μιας ξενοβιοτικής ουσίας στους ιστούς ενός οργανισμού, λαμβάνοντας υπόψη τη συγκέντρωσή της στο υδάτινο μέσο και δίνεται με την παρακάτω εξίσωση (3):

$$C_a = (K_u/K_D) C_w \{1 - \exp[-f(1/K_D)t]\} \quad (3)$$

όπου,

C_a : η συγκέντρωση της ουσίας στο σώμα του οργανισμού (ng/g)

C_w : η συγκέντρωση της ουσίας στην υδάτινη μάζα (ng/g)

K_u : ο συντελεστής ρυθμού πρόσληψης ($1/\text{h}$)

K_D : ο συντελεστής ρυθμού απομάκρυνσης της ουσίας ($1/\text{h}$)

Από την απλοποίηση της παραπάνω εξίσωσης προκύπτει ότι ο **συντελεστής συσσώρευσης (BCF)** μιας ξενοβιοτικής ουσίας στο σώμα των οργανισμών, εξαρτάται από την ικανότητα του οργανισμού να προσλαμβάνει

την ουσία από το υδάτινο μέσο και από το ρυθμό με τον οποίο την απομακρύνει (εξίσωση 4).

$$(BCF) = C_a/C_w = K_u/K_D \quad (4)$$

5.3 Πρόσληψη ξενοβιοτικών ουσιών από το ίζημα

Πολλές μελέτες έδειξαν ότι παράκτιοι οργανισμοί μπορεί να προσλάβουν μια ξενοβιοτική ουσία τόσο μέσω των ιζημάτων, όσο και μέσω της τροφής τους. Πολύχαιτοι και ασπόνδυλοι οργανισμοί, που αποτελούν τροφή διάφορων ψαριών, μπορεί να συσσωρεύουν ουσίες από τα ιζήματα και να γίνονται ενδιάμεσοι κρίκοι στη μεταφορά της ουσίας σε οργανισμούς ανώτερων τροφικών επιπέδων. Άλλοι οργανισμοί προσλαμβάνουν οργανική ύλη από το βένθος και μέσω της πεπτικής οδού αφομοιώνουν τα απαραίτητα τροφικά σωματίδια. Η πρόσληψη ουσιών μέσω της πεπτικής οδού και η εσωτερική πέψη τους εξαρτάται από το ρυθμό τροφοληψίας του ζώου, την αποδοτικότητα της αφομοίωσης της τροφής, καθώς και τη συγκέντρωση της ουσίας στα σωματίδια της τροφής. Για παράδειγμα, η κινητική του βενζο[α]πυρενίου από το ίζημα στην πεπτική οδό του αμφίποδου *Diporeia sp.* δίνεται από την παρακάτω εξίσωση (5) (Kukkonen & Landrum, 1998):

$$C_a = [K_s C_s (1 - e^{-K_e t}) / K_e] \quad (5)$$

όπου,

C_a : η συγκέντρωση της οργανικής ουσίας στον οργανισμό (mmol/g).

K_s : ο συντελεστής πρόσληψης (g ξηρού βάρους ιζήματος/g υγρού ιστού x h). Ο συντελεστής K_s ισούται με το λόγο K_u/K_D .

C_s : η συγκέντρωση της ουσίας στο ίζημα (mol/g)

t: ο χρόνος (h)

K_e : σταθερά του ρυθμού εξουδετέρωσης/απομάκρυνσης της οργανικής ουσίας (1/h)

Ο συντελεστής βιοσυσσώρευσης περιλαμβάνει την πρόσληψη και την απομάκρυνση της ξενοβιοτικής ουσίας από τον οργανισμό και κυμαίνεται από 0.1 έως 20 για τους παράκτιους οργανισμούς. Η συγκριτική μελέτη των συντελεστών βιοσυσσώρευσης μεταξύ διαφορετικών οργανισμών θα πρέπει να

λαμβάνει υπόψη της το λιπιδικό περιεχόμενο των ιστών του κάθε οργανισμού, καθώς και τη συνολική ποσότητα της οργανικής ύλης των ιζημάτων, σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση (6):

$$BCF = \frac{\text{συγκέντρωση ουσίας/ ποσότητα λίπους οργανισμού}}{\text{συγκέντρωση ουσίας στο ίζημα/ Συνολική ποσότητα οργανικής ύλης στο ίζημα}} \quad (6)$$

5.4 Πρόσληψη ξενοβιοτικών ουσιών μέσω της τροφής

Η πρόσληψη μιας ξενοβιοτικής ουσίας, μέσω της τροφοληπτικής οδού είναι μια αρκετά πολύπλοκη διαδικασία, κατά την οποία θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μια πληθώρα παραμέτρων, όπως η συγκέντρωση της ουσίας στην τροφή που προσλαμβάνεται από τον οργανισμό, η συγκέντρωση της ουσίας στο υδάτινο μέσο κ.λπ. και δίνεται από την παρακάτω εξίσωση (7):

$$C_i = \frac{k_1 C_w + (p_{ix} CAE I_{ix}) C_x}{k_2 + k_G + k_M + k_E} \quad (7)$$

όπου,

C_i : η συγκέντρωση της ουσίας στον οργανισμό (μg/kg λιπώδους ιστού)

K_1 : ο συντελεστής ροής/πρόσληψης από το υδάτινο μέσο (l/ημέρα/g λιπώδους ιστού)

C_w : η συγκέντρωση της ουσίας στο υδάτινο μέσο (μg/l)

p_{ix} : η προτίμηση του οργανισμού στην τροφή, έστω x

CAE : η χημική ικανότητα αφομοίωσης της ουσίας (g αφομοίωσης/g πέψης)

I_{ix} : ρυθμός πέψης της τροφής x (g τροφής/g οργανισμού/ημέρα)

C_x : συγκέντρωση ουσίας στην τροφή x (μg/kg λιπώδους ιστού)

K_2 : συντελεστής καθαρισμού (l/ημέρα)

K_M : συντελεστής μεταβολικής ικανότητας της ουσίας (l/ημέρα)

K_E : ρυθμός απέκκρισης (l/ημέρα)

K_G : σταθερά ανάπτυξης (l/ημέρα)

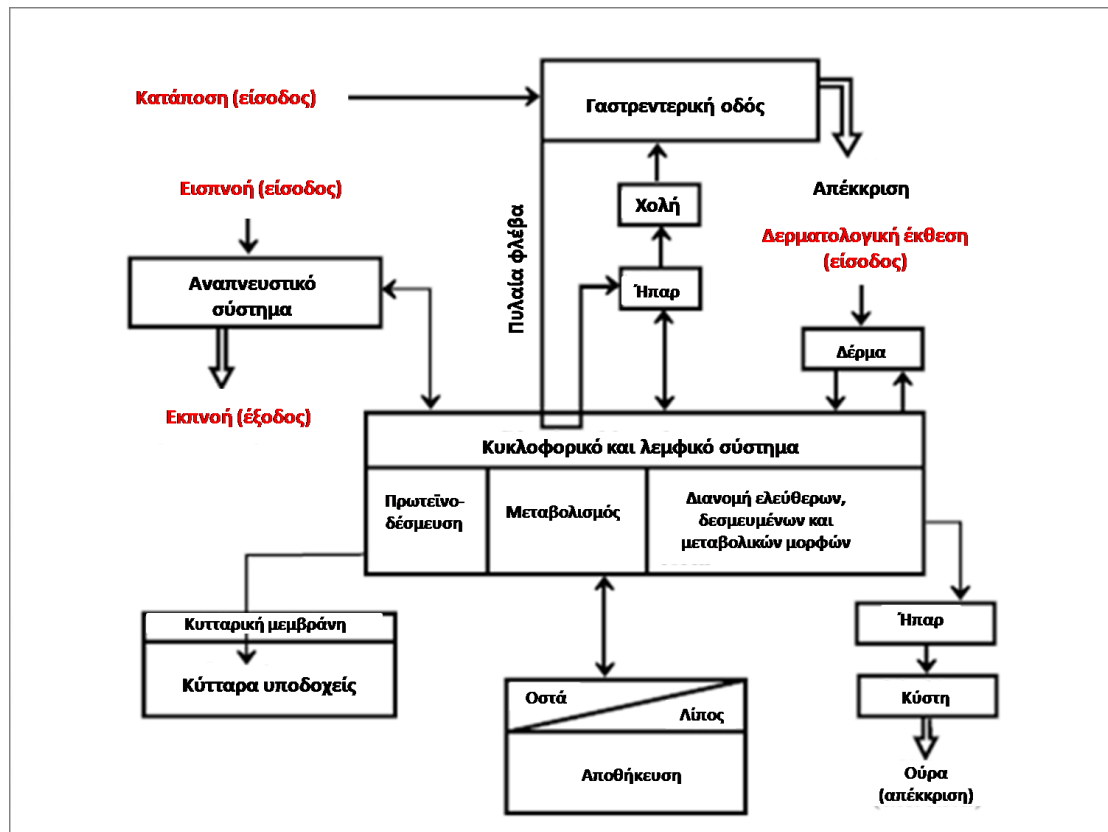
Με άλλα λόγια το γινόμενο $k_1 C_w$ αντιπροσωπεύει την πρόσληψη της ουσίας από το νερό, ενώ το γινόμενο $p_{ix} CAE I_{ix}$ την πρόσληψη της ουσίας από την τροφή x. Η πρόσληψη μέσω της τροφής εξαρτάται από τις διατροφικές

συνήθειες (p), το ρυθμό πρόσληψης/πέψης (I) και την αναλογία του συνολικού ποσού της ουσίας που προσλαμβάνεται από την τροφή ή το ίζημα (CAE). Ο παρανομαστής της εξίσωσης αντιπροσωπεύει της απώλεια της ουσίας μέσω της αποτοξίνωσης του οργανισμού (K_2), της αναπτυξιακής διαδικασίας (K_G), του μεταβολικού ρυθμού (K_M) και της απέκκρισης της ουσίας από τον οργανισμό (K_E).

5.5 Είσοδος ξеноβιοτικών ουσιών στον οργανισμό

Η είσοδος μιας ξеноβιοτικής ουσίας στον οργανισμό μπορεί να επιτευχθεί μέσω (α) της κατάποσης, (β) της αναπνοής, (γ) του δέρματος, με τη συμμετοχή της γαστρεντερικής οδού, των πνευμόνων ή βραγχίων, των ιδρωτοποιών και σμηγματογόνων αδένων (**Εικόνα 35**). Η είσοδος/πρόσληψη από το στόμα και η επακόλουθη απορρόφησή της ουσία από το επιθήλιο της γαστρεντερικής οδού, εξαρτάται τόσο από το pH, όσο και από την ύπαρξη εξειδικευμένων μεταφορικών μηχανισμών. Μέσω των πνευμόνων απορροφώνται κυρίως πτητικά αέρια, καθώς και μικρά σταγονίδια υπό μορφή «αεροζόλ». Η διέλευση μιας ουσίας διαμέσου της μεμβράνης των κυττάρων μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με απλή διάχυση, είτε με εξειδικευμένη/ενεργητική ή παθητική μεταφορά.

Η είσοδος/πρόσληψη της ουσίας ακολουθείται από μια σειρά μεταβολικών διαδικασιών που επιτελούνται σε ειδικά όργανα του σώματος, όπως το ήπαρ και οι νεφροί, καθώς και τη δέσμευση των ουσιών σε ειδικές πρωτεΐνες, με απώτερο στόχο την απομάκρυνσή τους από τον οργανισμό. Η αποβολή των τοξικών ουσιών που βρίσκονται στην κυκλοφορία του αίματος πραγματοποιείται κυρίως με τα ούρα, ενώ με τα περιττώματα αποβάλλονται ενώσεις που δεν πέπτονται ή αποβάλλονται μέσω των χολικών υγρών. Πτητικές ενώσεις και αέρια αποβάλλονται μέσω της εκπνοής.

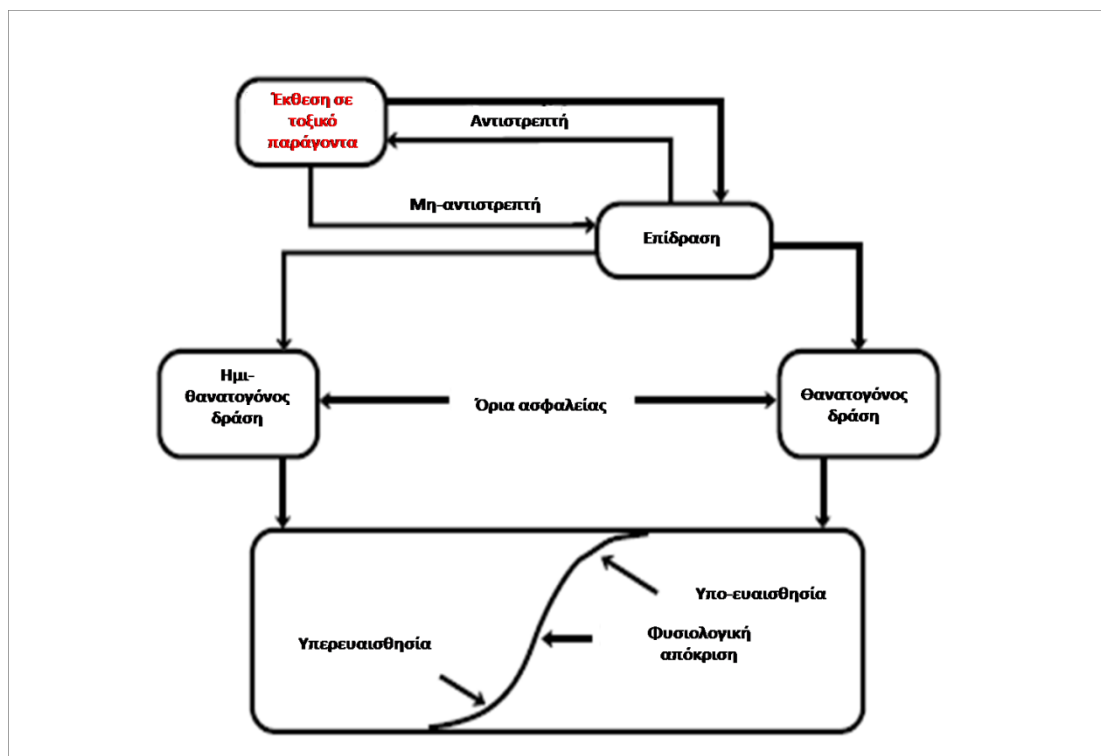


Εικόνα 35. Είσοδος, μεταβολισμός και αποθήκευση τοξικών ουσιών στο σώμα. Πορείες διανομής και απομάκρυνσης της ουσίας από τον οργανισμό (τροποποιημένη από Toxicological Chemistry and Biochemistry, 3rd Ed.).

Ο βαθμός διαλυτότητας της ουσίας που προσλαμβάνεται παίζει σημαντικό ρόλο στην είσοδό της στην κυκλοφορία του αίματος. Πολλές από τις ουσίες που εισέρχονται στην κυκλοφορία του αίματος δεσμεύονται με διάφορες μεταφορικές πρωτεΐνες, ή μεταφέρονται σε διάφορα όργανα και ιστούς, όπου και αποτίθενται. Επιπλέον, σημαντικό μέρος της ουσίας (δεσμευμένη με πρωτεΐνες, ελεύθερη ή με τη μεταβολική της μορφή) μπορεί να αποθηκευτεί σε ιστούς του οργανισμού. Κύρια μέρη αποθήκευσης τοξικών ενώσεων είναι το πλάσμα του αίματος, το ήπαρ, οι νεφροί, το λίπος και τα οστά.

5.6 Έκφραση τοξικής δράσης ξеноβιοτικών ουσιών

Η έκθεση ενός οργανισμού σε ένα ξеноβιοτικό παράγοντα/ουσία μπορεί να προκαλέσει μια σειρά από αλλαγές της συμπεριφοράς του, καθώς και διαταραχές της φυσιολογικής του ομοιόστασης, ανάλογα με τη φύση και την τοξικότητα της ουσίας, το βαθμό ευαισθησίας του οργανισμού και τη φυσιολογική του απόκριση (**Εικόνα 36**).



Εικόνα 36. Επαγωγή τοξικών επιδράσεων μετά από έκθεση σε τοξικό παράγοντα και αποκρίσεις του οργανισμού (τροποποιημένη από Toxicological Chemistry and Biochemistry, 3rd Ed.).

Το μέγεθος της τοξικότητας κάθε ουσίας εξαρτάται από την ποσότητα που φτάνει στον ιστό στόχο. Οργανισμοί που παρουσιάζουν ιδιαίτερη ανθεκτικότητα στον τοξικό παράγοντα μπορεί να ανταπεξέλθουν ικανοποιητικά, ενώ οργανισμοί με μικρή ανθεκτικότητα/απόκριση και κατ'επέκταση μεγάλη ευαισθησία, αδυνατούν να ανταπεξέλθουν ικανοποιητικά, με αποτέλεσμα την επαγωγή τοξικών και/ή θανατογόνων επιπτώσεων. Η τοξική δράση μιας ουσίας μπορεί να εκφραστεί με τους τρόπους που αναφέρονται στον **Πίνακα 24**.

Πίνακας 24. Τοξικές επιδράσεις ουσιών (Δημητριάδης και συν. 2006).

Διαταραχή	Στόχος	Τοξικός παράγοντας
Φυσιολογική λειτουργία μεμβρανικών υποδοχέων	Νευροϋποδοχείς και νευροδιαβιβαστές. Ορμονικοί υποδοχείς Ενζυμική δραστηριότητα Πρωτεΐνες μεταφοράς.	LSD, d-tubocurarine, atropine, οργανοφωσφορικά, αντιισταμινικά DES, TCDD, οργανοφωσφορικά, κυανίδιο, CO, νιτρικά, νιτρώδη
Κυτταρικές μεμβρανικές δομές	Ιοντική διαπερατότητα. Ρευστότητα μεμβρανών. Λυσοσωμικές μεμβράνες. Μιτοχονδριακές μεμβράνες.	saxitonin, tetrodotoxin, DDT οργ/κοί διαλύτες, αιθανόλη, τοπικά αναισθητικά carbon tetrachloride, organotins
Μηχανισμοί απόδοσης και παραγωγής ενέργειας	Οξυγόνωση ιστών. Οξειδωτική φωσφορλίωση. Αναστολή μεταφοράς ηλεκτρονίων. Αναστολή του μεταβολισμού των υδατανθράκων.	CO, νιτρώδη νιτροφαινόλες, organotins fluoroacate
Δέσμευση σε βιομόρια	Υπεροξειδωση μεμβρανικών λιπιδίων (Δημιουργία λιπιδικών υπεροξειδασών). Επαγωγή οξειδωτικού stress (Επαγωγή δημιουργίας ελεύθερων ριζών & οξειδωση πρωτεϊνικών σουλφυδρυλικών ομάδων, δέσμευση γλουταθειόνης. Διαταραχή της δομής των DNA & RNA.	CCl ₄ , paraquat, ozon
Φυσιολογική ομοίωση ασβεστίου	Κυτταροσκελετικές αλλαγές. Ενεργοποίηση φωσφολιπασών, πρωτεασών και ενδονουκλεασών.	Βαρέα μέταλλα οργανικές ουσίες
Κύτταρα και όργανα	Διαταραχή ορμονών και φυσιολογικής λειτουργίας αδένων (π.χ., θυροειδής αδένας). Εμβρυϊκές δυσμορφίες. Γενετικές ανωμαλίες. Καρκινογένεση.	DDT και μεταβολίτες του, βαρέα μέταλλα, paraquat

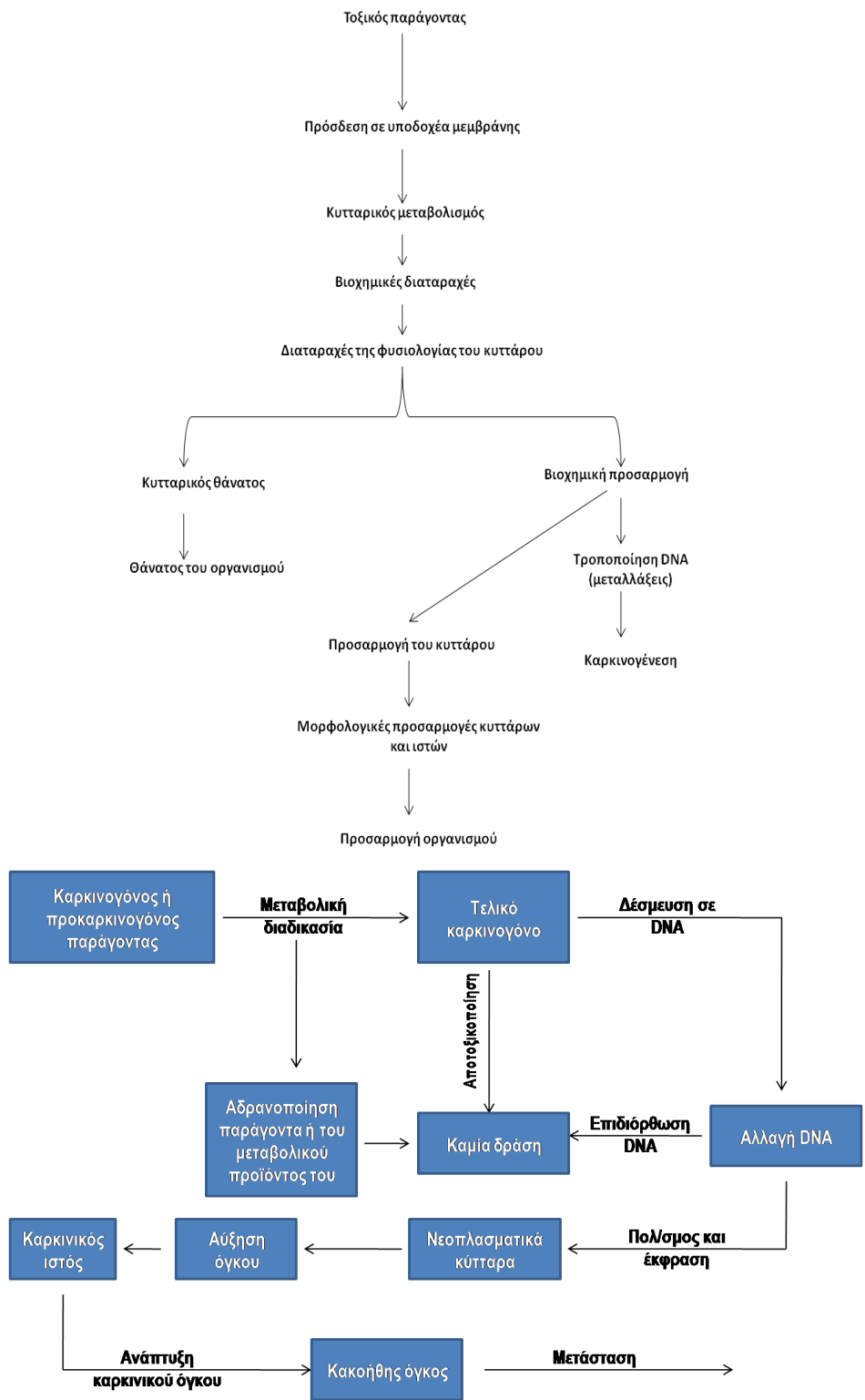
5.7 Βιοεπιδράσεις και βιολογικές αποκρίσεις του οργανισμού

Η είσοδος μιας ρυπογόνου ουσίας στο εσωτερικό του οργανισμού, είτε διαμέσου της τροφής, είτε διαμέσου της αναπνευστικής οδού, κινητοποιεί μια σειρά ενεργειακά δαπανηρών μηχανισμών που συντελούν στην αποτοξικοποίηση/αποτοξίνωση του οργανισμού και την απομάκρυνση του ρύπου. Οι μηχανισμοί που ελάγονται στοχεύουν στην μείωση των πιθανών επιπτώσεων του ρύπου στην εύρυθμη λειτουργία του οργανισμού. Η αδυναμία αντιμετώπισης των ρυπογόνων ουσιών μπορεί να επιφέρει δυσάρεστες επιπτώσεις τόσο σε κυτταρικό όσο και σε οργανισμικό επίπεδο. Σε αυτή την περίπτωση εμφανίζονται μη-προστατευτικές επιδράσεις, με κυριότερες επιπτώσεις τη βιοσυσσώρευση των ρύπων και την πρόκληση σημαντικών διαταραχών της φυσιολογικής λειτουργίας των οργανισμών (**Πίνακας 25**).

Πίνακας 25. Προστατευτικές και μη-προστατευτικές αποκρίσεις σε χημικές ενώσεις (Walker και συν. 2001).

Τύπος επίδρασης	Παράδειγμα	Συνέπειες
Προστατευτική	1) Επαγωγή μονο-οξυγενασών	Αύξηση του μεταβολισμού της ένωσης προς υδατοδιαλυτή μορφή με αποτέλεσμα την αύξηση της αποβολής της.
	2) Επαγωγή μεταλλοθειονινών	Αύξηση του ρυθμού δέσμησης μετάλλων και μείωση της βιοδιαθεσιμότητάς τους.
Μη-προστατευτική (πιθανή εμφάνιση τοξικών φαινομένων)	1) Παρεμπόδιση της δράσης της AChE.	Τοξικές επιδράσεις, μετά από παρεμπόδιση κατά 50%. Μεταλλάξεις-καρκινογένεση.
	2) Σχηματισμός συμπλόκων χημικών ενώσεων-DNA.	

Η επίδραση ενός τοξικού παράγοντα σχετίζεται με την επαγωγή βιοχημικών διαταραχών και επακόλουθη διαταραχή της φυσιολογικής λειτουργίας του κυττάρου. Όταν οι κυτταρικοί μηχανισμοί αδυνατούν να ανταπεξέλθουν ικανοποιητικά στην αντιμετώπιση του τοξικού παράγοντα, τότε το κύτταρο οδηγείται σε θάνατο. Σε αντίθετη περίπτωση, μεσολαβούν βιοχημικές προσαρμογές, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε κυτταρική, ιστολογική και οργανισμική προσαρμογή, είτε σε τροποποιήσεις του γενετικού υλικού (μεταλλαξιγένεση και καρκινογένεση) (**Εικόνα 37**).



Εικόνα 37. Διαγραμματική απεικόνιση των επιπτώσεων σε βιοχημικό και γενετικό επίπεδο των τοξικών παραγόντων (τροποποιημένη από Hinton και συν., 1992, και Manahan, 2003).

5.8 Βιομεταμόρφωση και Βιοενεργοποίηση ξενοβιοτικών ουσιών

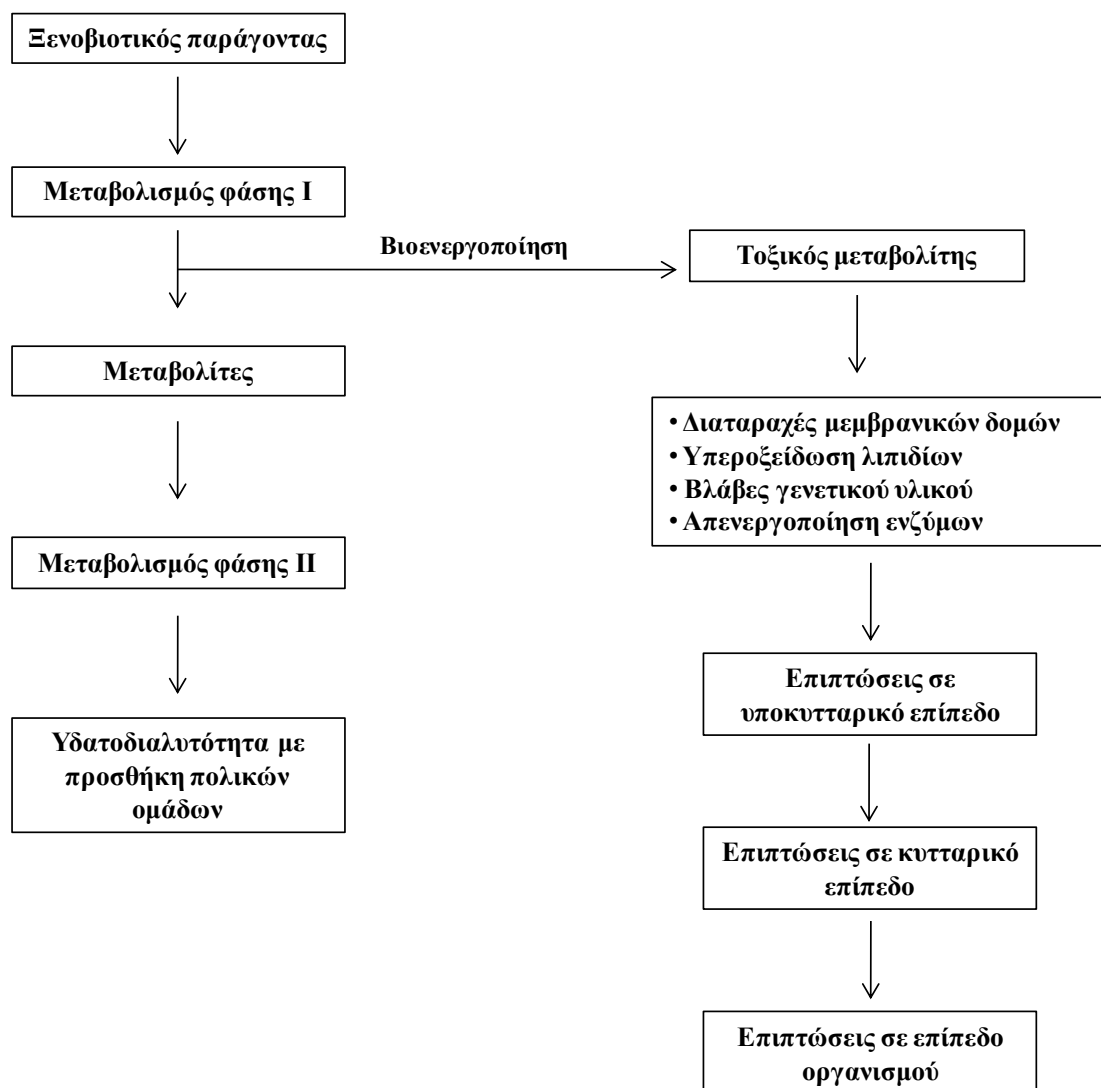
Οι λιπόφιλες ξενοβιοτικές ουσίες απορροφούνται άμεσα από τον οργανισμό και διαχέονται στις κυτταρικές μεμβράνες, ενώ οι περισσότερες υδατοδιαλυτές ενώσεις αποβάλλονται. Η διαρκής επαφή των οργανισμών με λιπόφιλες ξενοβιοτικές ουσίες θα οδηγούσε σε συσσώρευση των ουσιών αυτών στο εσωτερικό τους με απρόβλεπτες ή και προβλέψιμες αρνητικές συνέπειες στη φυσιολογική λειτουργία και επιβίωσή τους.

Η αντίσταση του οργανισμού απέναντι τις λιπόφιλες ουσίες περιλαμβάνει μια πληθώρα μηχανισμών που τις μετατρέπουν σε υδρόφιλες, καθιστώντας έτσι εφικτή την αποβολή τους από τον οργανισμό. Οι μηχανισμοί αυτοί αποκαλούνται **μηχανισμοί βιομεταμόρφωσης** και στην πλειοψηφία τους είναι ενζυμικά συστήματα (**Εικόνα 38**).

Ανάλογα με την βιομεταμόρφωση που μπορεί να υποστεί μια ουσία, διακρίνουμε 2 τύπους ενζυμικών συστημάτων που κατηγοριοποιούνται σε 2 φάσεις, τη φάση I και τη φάση II. Τα ένζυμα που συμμετέχουν στη φάση I ονομάζονται ένζυμα αποτοξίνωσης. Είναι στην πλειοψηφία τους μικροσωμικά και βρίσκονται κυρίως στο ενδοπλασματικό δίκτυο ή δεσμευμένα πάνω σε μεμβράνες, σε αντίθεση με τα ένζυμα της φάσης II, τα οποία είναι κυτταροπλασματικά. Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι τα προϊόντα της φάσης I μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποστρώματα της φάσης II. Συνήθως παρουσιάζουν μια μεγάλη ποικιλία ως προς τα υποστρώματά τους, τα οποία είναι συνήθως τοξικές ουσίες.

Ο μηχανισμός της βιομεταμόρφωσης αποσκοπεί στην απομάκρυνση των ξενοβιοτικών ουσιών από τον οργανισμό με το μικρότερο λειτουργικό κόστος. Πολλές φορές όμως τα ενδιάμεσα μεταβολικά προϊόντα τέτοιων αντιδράσεων μπορεί να είναι τοξικότερα των αντιδρώντων ξενοβιοτικών ουσιών, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στην βιομεταμόρφωση ορισμένων οργανικών ουσιών. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται ο όρος **βιοενεργοποίηση** για να υποδείξει το σχηματισμό ενδιάμεσων τοξικών προϊόντων, μέσω της βιομεταμορφωτικής διαδικασίας, τα οποία είναι υπεύθυνα για την πρόκληση μιας σειράς φαινομένων που οδηγούν σε θάνατο του κυττάρου, εμφάνιση καρκίνου, τερατογένεση, ή σε ένα αριθμό άλλων τοξικών φαινομένων (**Εικόνα 38**). Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του βενζο[α]πυρενίου, του οποίου ο μεταβολίτης είναι ιδιαίτερα τοξικός και μπορεί να προκαλέσει σοβαρές

διαταραχές στη φυσιολογική ομοιόσταση του οργανισμού. Στα θηλαστικά ο μεταβολίτης της παραπάνω ένωσης σχετίζεται με διαταραχές στη δομή του γενετικού υλικού και θεωρείται υπεύθυνος για καρκινογενέσεις. Στην επόμενη παράγραφο γίνεται μια προσπάθεια να αναλυθούν οι μηχανισμοί με τους οποίους ο οργανισμός προσπαθεί να μεταβολίσει ξеноβιοτικές ουσίες, όπως οι οργανικοί και οι ανόργανοι ρύποι.



Εικόνα 38. Βιομεταμόρφωση και βιοενεργοποίηση μιας ξеноβιοτικής ουσίας (τροποποιημένη από Toxicological Chemistry and Biochemistry, 3rd Ed.).

5.9 Μεταβολισμός οργανικών ενώσεων

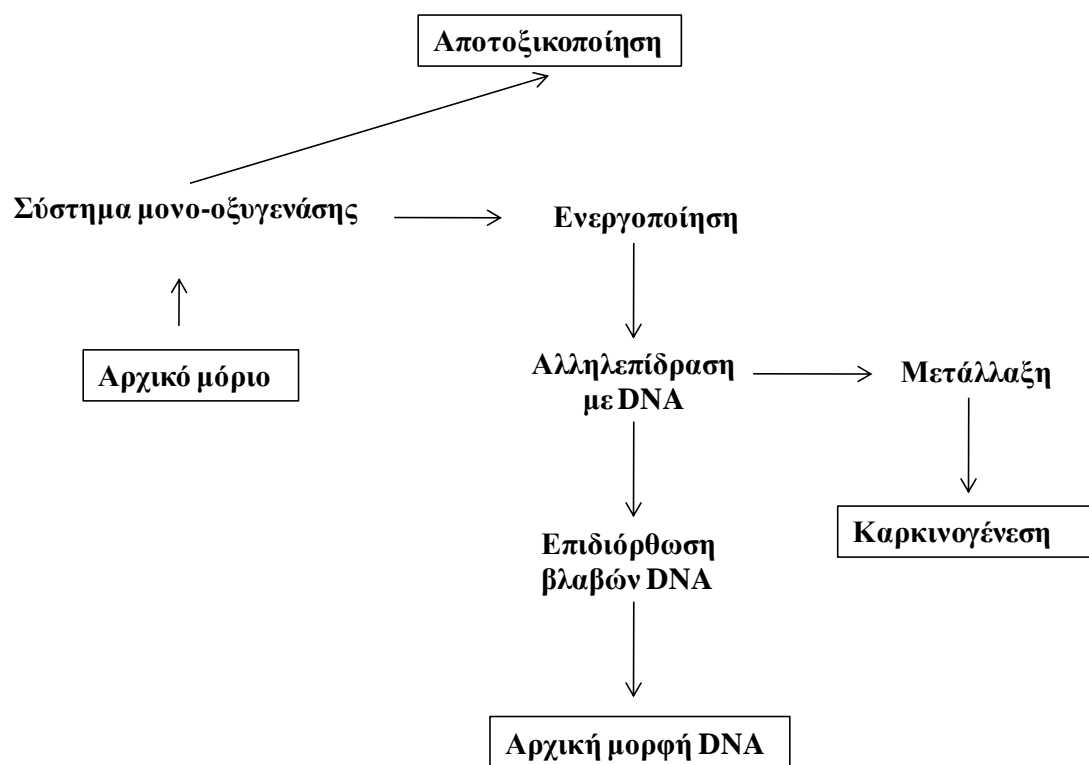
Η πρόσληψη οργανικών ρυπογόνων ουσιών γίνεται συνήθως παθητικά και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον υδρόφοβο χαρακτήρα της εκάστοτε οργανικής ουσίας. Η πορεία και η δράση της στο εσωτερικό του οργανισμού εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τις διαδικασίες μεταβολισμού και απομάκρυνσής της στο περιβάλλον.

Ο μεταβολισμός των οργανικών ενώσεων πραγματοποιείται με ένα εύρος ενζυμικών παραγόντων και διακρίνεται σε 2 φάσεις: α) **λειτουργικός μεταβολισμός** (φάση I) και β) **μεταβολισμός συζυγίας** (φάση II). Πολλά από τα ένζυμα του μεταβολισμού λαμβάνουν μέρος σε φυσιολογικές μεταβολικές διαδικασίες ενδογενών συστατικών, όπως στεροειδή, βιταμίνες και προσταγλανδίνες.

5.9.1 Λειτουργικός μεταβολισμός (φάση I)

Τα ένζυμα του λειτουργικού μεταβολισμού (φάση I) καταλύουν ένα μεγάλο αριθμό αντιδράσεων που μπορεί να υποστεί ένα συστατικό, όπως οξείδωση, αναγωγή, υδρόλυση, κ.λπ., με σκοπό τη δημιουργία μιας ενεργής ομάδας (-OH, -NH₂, -COOH κ.λπ.), πάνω στον οργανικό παράγοντα. Ένζυμα της φάσης I θεωρούνται η μονο-οξυγενάση του κυτοχρώματος P₄₅₀ (Mixed-Function-Monooxygenase/MFO), το σύστημα της μονο-οξυγενάσης της φλαβοπρωτεΐνης (FAD), οξειδάσες, υδρολάσες, ρεδουκτάσες, εστεράσες, φωσφατάσες, υδροξυλάσες κ.λπ.

Ένζυμα που παίρνουν μέρος στο λειτουργικό μεταβολισμό λιπόφιλων ξενοβιοτικών ουσιών στοχεύουν στη μετατροπή τους σε υδατοδιαλυτές μορφές, προκειμένου να αποβληθούν ευκολότερα από τα κύτταρα και κατ' επέκταση τον οργανισμό. Το πιο σημαντικό ενζυμικό σύστημα αυτής της κατηγορίας είναι το σύστημα της μονο-οξυγενάσης με το κυτόχρωμα P₄₅₀ στο καταλυτικό του κέντρο, που εντοπίζεται στο ενδοπλασματικό δίκτυο, κυρίως των ηπατοκυττάρων των σπονδυλωτών. Το σύστημα της μονο-οξυγενάσης του κυτοχρώματος P₄₅₀ είναι ένα ενζυμικό σύστημα το οποίο αυξάνει το ρυθμό παραγωγής υδατοδιαλυτών μεταβολιτών και συμπλόκων ενώσεων χαμηλής τοξικότητας για την εύκολη απομάκρυνση/αποβολή των ρυπογόνων ουσιών από τον οργανισμό (**Εικόνα 39**).

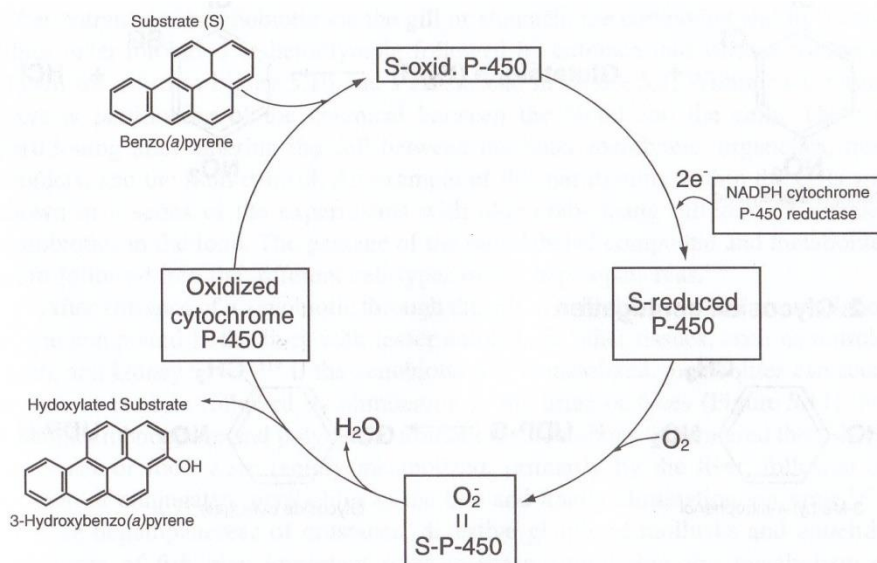


Εικόνα 39. Μονοπάτι ενεργοποίησης και αποτοξικοποίησης των χημικών ρύπων (Walker και συν. 2001).

Πολλές λιπόφιλες ουσίες μπορεί όχι μόνο να δράσουν ως επαγωγείς του κυτοχρώματος P₄₅₀, αλλά να αποτελέσουν και υποστρώματα αυτού. Για παράδειγμα η οικογένεια I του κυτοχρώματος P₄₅₀ είναι μια ενζυμική ομάδα η οποία αντιδρά με επίπεδα μόρια ξενοβιοτικών ουσιών, όπως οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs), PCBs και διοξίνες.

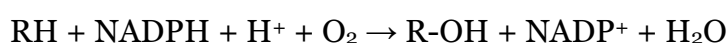
Μολονότι, το ενζυμικό σύστημα της μονο-οξυγενάσης έχει ως απώτερο στόχο την αποτοξίνωση του οργανισμού από ξενοβιοτικές ουσίες, υπάρχει πιθανότητα κάποιοι από τους ενδιάμεσους μεταβολίτες ορισμένων ξενοβιοτικών ουσιών να ασκούν τοξικότερη δράση (**φαινόμενο βιοενεργοποίησης**). Για παράδειγμα ο μεταβολισμός ορισμένων πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων από τα ένζυμα της οικογένειας I του κυτοχρώματος P₄₅₀ οδηγεί στην παραγωγή ενδιάμεσων μεταβολιτών με καρκινογόνο δράση (π.χ., βενζο[α]πυρένιο, διβενζο[ah]ανθρακένιο, αφλατοξίνη, κ. λπ.), (**Εικόνες 39, 40**). Πρόκειται για καρκινογόνες ουσίες, οι οποίες μπορεί να μετατραπούν σε ιδιαίτερα τοξικές ενώσεις με σοβαρές επιπτώσεις σε κυτταρικό και γενετικό επίπεδο, (σύνδεση σε υποδοχείς της κυτταρικής μεμβράνης, παρεμπόδιση καναλιών Na⁺, π.χ., τετραδοτοξίνη). Επίσης ο μεταβολισμός ορισμένων PCBs οδηγεί στην παραγωγή ενδιάμεσων

προϊόντων του μεταβολισμού τους, οι οποίοι μπορεί να δράσουν ως ανταγωνιστές της ορμόνης θυροξίνης.



Εικόνα 40. Αντιδράσεις που λαμβάνουν μέρος στο μεταβολισμό του βενζο[α]πυρενίου, μέσω του συστήματος της μονοοξυγενάσης του κυτοχρώματος P450 (τροποποιημένη από Toxicological Chemistry and Biochemistry, 3rd Ed.).

Η τυπική δράση του συστήματος της μονο-οξυγενάσης του κυτοχρώματος P₄₅₀ απαιτεί οξυγόνο και μια πηγή αναγωγής, όπως το NADPH, σύμφωνα με την παρακάτω στοιχειομετρική αντίδραση:



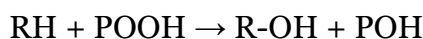
Όπου,

RH: οργανικός ξενοβιοτικός παράγοντας

R-OH: υδροξυλιωμένος οργανικός παράγοντας.

Η παραπάνω αντίδραση είναι γνωστή ως αντίδραση μονο-οξυγόνωσης με τη μεσολάβηση 2e⁻.

Μια δεύτερη αντίδραση που καταλύεται από το σύστημα είναι η παρακάτω:



Όπου,

POOH: υπεροξειδική ένωση

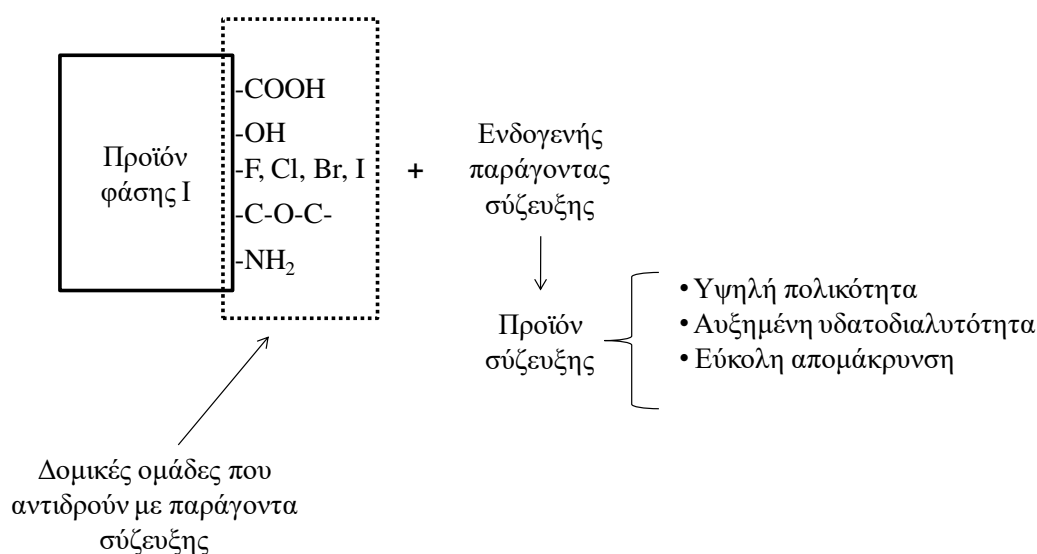
Η παραπάνω αντίδραση δεν απαιτεί NADPH και μοριακό οξυγόνο.

Μια άλλη σημαντική αντίδραση που καταλύει το σύστημα της μονο-οξυγενάσης του κυτοχρώματος P₄₅₀ είναι η αντίδραση οξειδωσης με τη μεσολάβηση ενός e⁻ (one-electron oxidation), η οποία έχει προταθεί ως ο κύριος τρόπος αποτοξικοποίησης του συστήματος της μονο-οξυγενάσης του κυτοχρώματος P₄₅₀ στα Δίθυρα Μαλάκια. Σε αυτούς τους οργανισμούς, η δραστηριότητα του συστήματος είναι μικρή και παρουσιάζει εποχικές διακυμάνσεις, με αποτέλεσμα ο μεταβολισμός ορισμένων οργανικών ενώσεων, όπως οι PAHs, να είναι μια αρκετά δύσκολη διαδικασία. Η κατάλυση μονο-οξειδωσης με τη μεσολάβηση ενός e⁻, σχηματίζει αδιάλυτες μορφές ενδιάμεσων μεταβολιτών που συνδέονται με μακρομόρια και πρωτεΐνες του κυττάρου, ενώ φυσιολογικά θα έπρεπε να αποβληθούν ως πολικές υδρόφιλες μορφές μεταβολιτών. Ως αποτέλεσμα, τα σύμπλοκα μεταβολιτών PAHs-πρωτεΐνης συσσωρεύονται στο εσωτερικό των κυττάρων και σε συνδυασμό με το χαμηλό ρυθμό αποβολής τους συγκεντρώνονται σε μεγάλες ποσότητες (φαινόμενο βιοσυσσώρευσης). Οι PAHs μπορεί να οξειδωθούν με την παραπάνω αντίδραση και να ενωθούν με DNA, πρωτεΐνες και άλλα βιομακρομόρια, με τη μορφή των γουϊνονών.

5.9.2 Μεταβολισμός συζυγίας (φάση II)

Η μεταβολική διαδικασία των οργανικών ουσιών συνεχίζεται με την παρέμβαση των ενζύμων που συμμετέχουν στον μεταβολισμό συζυγίας (φάση II). Συγκεκριμένα, μια ομάδα πολικών μορίων συνδέεται με την ενεργή ομάδα του οργανικού προϊόντος, προσδίδοντάς του υδρόφιλο χαρακτήρα, ενώ ταυτόχρονα το καθιστά κατάλληλο για έκκριση από το κύτταρο. Στη φάση II συμμετέχουν η τρανσφεράση-S της γλουταθειόνης, η διφωσφορική-γλυκοροτρανσφεράση της ουριδίνης, διάφορες ακετυλάσες, θειοτρανσφεράσες, φορμυλάσες και μεθυλάσες (**Εικόνα 41**).

Σε ανώτερους οργανισμούς υπάρχει και η φάση III που περιλαμβάνει υδρόλυση και επαναμεταβολισμό του προϊόντος. Η μεταβολική ικανότητα των οργανισμών επηρεάζεται σημαντικά από την ποσότητα των ενζύμων στους διάφορους ιστούς, τις ιδιότητες και τη ρύθμισή τους, καθώς και την εποχική διακύμανσή τους (αν αυτή υπάρχει), η οποία επηρεάζει σημαντικά την μεταβολική τους ικανότητα.



Εικόνα 41. Διαδικασίες σύζευξης κατά τη φάση II (τροποποιημένη από Toxicological Chemistry and Biochemistry, 3rd Ed.).

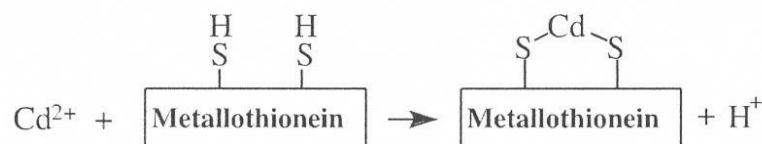
5.10 Μεταβολισμός ανόργανων ιόντων (μεταλλικά ιόντα)

Η βιοσυσσώρευση των μετάλλων εξαρτάται από τη χημική τους μορφή, τις πορείες και τους μηχανισμούς εισροής, την ενδοκυτταρική τους διαμερισματοποίηση και άλλες πτυχές της κυτταρικής ομοιόστασης. Διαλυτές μορφές μετάλλων φαίνεται ότι εισρέουν παθητικά, ενώ έχει διαπιστωθεί ενεργητική μεταφορά μεταλλικών ιόντων κατά την ενδοκυτταρική είσοδο (κατανάλωση ενέργειας με τη μορφή ATP).

Μετά την είσοδό τους στο κύτταρο, τα βαρέα μέταλλα δημιουργούν σύμπλοκο με μόρια πλούσια σε σουλφυδρυλομάδες, όπως τα αμινοξέα, η γλουταθειόνη και ειδικές μεταλλο-πρωτεΐνες που ονομάζονται μεταλλοθειονίνες. Επιπρόσθετα, μέρος του μετάλλου διαμερισματοποιείται στο λυσοσωμικό δίκτυο ή παγιδεύεται σε διάφορους τύπους ειδικών κυστιδίων ανόργανων ιόντων (Cu²⁺- & Ca²⁺- κυστίδια).

Οι Μεταλλοθειονίνες (metallothioneins/ MTs) αποτελούν μια ομάδα πρωτεϊνών χαμηλού μοριακού βάρους (6-7 kDa), πλούσιες σε κυστεΐνη. Βρίσκονται κυρίως στο κυτταρόπλασμα των κυττάρων όπου και συνδέονται με μεταλλικά ιόντα. Η οικογένεια των MTs έχει αναφερθεί σε όλους τους οργανισμούς, τόσο σε σπονδυλωτά (θηλαστικά, ιχθύες, αμφίβια, ερπετά, πτηνά) και ασπόνδυλα (εχινόδερμα, καρκινοειδή, έντομα και μαλάκια), όσο και σε ευκαρυωτικούς και προκαρυωτικούς μικροοργανισμούς (αναλυτικότερα οι MTs αναφέρονται παρακάτω στο κεφάλαιο 10).

Οι μεταλλοθειονίνες (MTs) δεσμεύονται με ιόντα Zn^{2+} και Cu^{2+} , αλλά και με μέταλλα, όπως Hg^{2+} , Cd^{2+} , Au^{2+} και Ag^{2+} . Ο φυσιολογικός τους ρόλος είναι η ομοιόσταση των ιόντων Zn^{2+}/Cu^{2+} και η αντιοξειδωτική τους δράση, ενώ παίζουν καθοριστικό ρόλο στην αποτοξικοποίηση των κυττάρων από τα βαρέα μη-απαραίτητα μέταλλα (Cd^{2+} , Hg^{2+} κ.λπ.), (**Εικόνα 42**). Ιόντα Zn^{2+} αντικαθίστανται από ιόντα Cd^{2+} και επάγεται η σύνθεση νέων μορίων MTs.



Εικόνα 42. Δέσμευση ιόντων καδμίου σε ομάδες-SH των μεταλλοθειονινών (τροποποιημένη από Toxicological Chemistry and Biochemistry, 3rd Ed.).

Η συσσώρευση βαρέων μετάλλων σε λυσοσώματα είναι αρκετά γνωστή, ενώ λίγα δεδομένα σχετίζονται με το μοριακό μηχανισμό που εμπλέκεται στην παραπάνω διαδικασία. Τα μέταλλα δεσμεύονται σε ενδοκυτικά κυστίδια, τα οποία στη συνέχεια μετατρέπονται σε **πρωτοταγή λυσοσώματα**. Τα πρωτοταγή λυσοσώματα αποθηκεύουν άπεπτα τελικά προϊόντα της λιπιδικής υπεροξειδωσης (οξειδωμένα λιπίδια και πολυμερή πρωτεϊνών) και ονομάζονται **λιποφουσκίνες**, διαδικασία που λαμβάνει χώρα ιδιαίτερα στα Δίθυρα Μαλάκια. Οι λιποφουσκίνες μπορεί να δέχονται μέταλλα με 2 τρόπους, είτε ασθενώς συνδεδεμένα με ομάδες της εξωτερικής επιφάνειας των κυστιδίων λιποφουσκίνης, ικανά να εισχωρήσουν στο κυτταρόπλασμα μαζί με άλλα κατιόντα που είδη υπάρχουν σε αυτό, είτε παγιδευμένα σε μη-τοξική μορφή στο κέντρο νέο-αναπτυσσόμενων κυστιδίων.

Μια εναλλακτική μέθοδος αποτοξικοποίησης από τα μέταλλα αποτελεί η μεταφορά μεταλλικών ιόντων, όπως ο Cu^{2+} με ειδικές πρωτεΐνες στο εσωτερικό των λυσοσωμάτων και η απέκκρισή τους με τη μορφή ειδικών κυστιδίων που ονομάζονται **υπολειπόμενα σωματίδια**. Η ενεργή μεταφορά των υπολειπόμενων σωματίων επιτρέπει την απέκκρισή τους από το κύτταρο. Για το Cd^{2+} πιστεύεται ότι δεν χρησιμοποιείται καμία από τις παραπάνω μεθόδους

αποτοξικοποίησης στα Δίθυρα Μαλάκια, με αποτέλεσμα ο χρόνος ημιζωής του μετάλλου να φτάνει τους 7 μήνες, σε αντίθεση με τις 9 ημέρες του Cu.

Άλλα μονοπάτια που χρησιμοποιούνται από τους οργανισμούς περιλαμβάνουν τα μονοπάτια τύπου Α, το οποίο εμπλέκεται στην ενδοκυτταρική συσσώρευση ασβεστίου και μαγνησίου με τη μορφή των φωσφορικών αλάτων, καθώς και του τύπου Γ, το οποίο περιλαμβάνει τη συσσώρευση του πλεονάζοντος άχρηστου σιδήρου, διαδικασία, η οποία λαμβάνει μέρος στα ισόποδα και τις αράχνες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΚΥΤΤΑΡΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

6.1 Μοριακοί και βιοχημικοί μηχανισμοί τοξικότητας των ρυπογόνων ουσιών

Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και η εξειδίκευση των διαφόρων ρυπογόνων ουσιών καθορίζουν την τοξική τους δράση τόσο σε βιοχημικό, όσο και μοριακό επίπεδο. Παρακάτω ακολουθούν περιληπτικά οι μοριακοί μηχανισμοί τοξικότητας διάφορων ουσιών, ανάλογα με τη δράση τους.

6.1.1 Νευροτοξική δράση ρυπογόνων ουσιών

Ορισμένοι ρύποι χαρακτηρίζονται από έντονη νευροτοξική δράση (τεχνητές νευροτοξίνες), παρόμοια με αυτή των φυσικών νευροτοξινών, όπως οι τετραδοτοξίνες (ψάρι puffer fish), οι βοτουλινο-τοξίνες (αναερόβιο βακτήριο *Clostridium botulinum*), οι ατροπίνες, η νικοτίνη (φυσικό εντομοκτόνο) και η πυρεθρίνη (στα άνθη του φυτού *Chrysanthemum sp.*), οι οποίες μπορεί να δράσουν ως δηλητήρια του νευρικού συστήματος. Από την άλλη πλευρά, τα οργανοφωσφορικά, οργανοχλωριωμένα, καρβαμικά και πυρεθροειδή εντομοκτόνα που ανήκουν στην κατηγορία των τεχνικών νευροτοξινών, έχουν την ικανότητα να διαταράσσουν την κανονική μεταβίβαση του δυναμικού δράσης κατά μήκος του νεύρου και/ή διαμέσου των συνάψεων, μεταβάλλοντας τη ροή των ιόντων Na^+ κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης. Επίσης έχει βρεθεί ότι μπορεί να διαταράσσουν τη λειτουργία των καναλιών Cl^- (GABA υποδοχείς) και των υποδοχέων της ακετυλχολίνης, ασκώντας έντονη νευροτοξική δράση. Για παράδειγμα, το **DDT** (οργανοχλωριωμένο εντομοκτόνο) δρα στα κανάλια Na^+ των μεμβρανών των νευραξόνων, με αποτέλεσμα τη διαταραχή του δυναμικού δράσης που ταξιδεύει κατά μήκος του νεύρου και κατ'επέκταση τη διαταραχή της διαβίβασης των παλμών κατά μήκος του, ενώ η **διελδρίνη** δρα στους GABA υποδοχείς που βρίσκονται κυρίως στην προ- και μετα-συναπτική μεμβράνη παρακείμενων συνάψεων.

6.1.2 Αναστολή μιτοχονδριακών συστημάτων

Οργανικές ουσίες που ονομάζονται **βιοσίδια** μπορεί να δράσουν ως αναστολείς μιτοχονδριακών συστημάτων. Για παράδειγμα η **2,4-δινιτροφαινόλη** θεωρείται σημαντικός αναστολέας της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης, εμποδίζοντας την απόδοση της ενέργειας, με τη μορφή ATP, στο κύτταρο. Ανάλογη δράση ασκούν το φυσικό εντομοκτόνο ροτενόνη, καθώς και τα ιόντα κυανιδίου, τα οποία αναστέλλουν τη λειτουργία της αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων.

6.1.3 Ανταγωνιστές βιταμινών

Ορισμένες ξενοβιοτικές ουσίες μπορεί να δράσουν ως αναστολείς/ανταγωνιστές της θεμελιώδους δράσης ορισμένων βιταμινών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η αναστολή της δράσης της βιταμίνης K, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στα σπονδυλωτά, μιας και είναι ο βασικός παράγοντας σύνθεσης πρωτεϊνών πήξης του αίματος που πραγματοποιείται στο ήπαρ. Η καρβοξυλίωση των πρωτεϊνών πήξης και η απελευθέρωσή τους στο αίμα συμβάλλει στην επούλωση τυχόν τραυμάτων που μπορεί να συμβούν σε αγγεία. Ουσίες όπως η **γουαρφαρίνη (ή ουαρφαρίνη)** και το **φλοκουμαφένιο** παρουσιάζουν δομική ομοιότητα με τη βιταμίνη K και ανταγωνίζονται στις θέσεις σύνδεσης της τελευταίας, με αποτέλεσμα να αναστέλλεται η πήξη του αίματος.

6.1.4 Ανταγωνιστές ορμονών

Είναι γνωστή η δράση ορισμένων ξενοβιοτικών ουσιών στην αναστολή της δράσης και της έκκρισης διαφόρων ορμονών. Για παράδειγμα, η ορμόνη θυροξίνη (T₄) αποτελεί μια πρωτεΐνη του θυρεοειδή αδένος και παίζει σημαντικό ρόλο σε μεταβολικές διαδικασίες του οργανισμού. Συγκεκριμένα, η T₄ συνδέεται στην πρωτεΐνη τρανθυρετίνη που βρίσκεται ως σύμπλοκο μεταφοράς στο αίμα και στη συνέχεια το σύμπλοκο τρανθυρετίνη-θυροξίνη συνδέεται με τη σειρά του στο σύμπλοκο που δημιουργεί μια άλλη πρωτεΐνη, η ρετινόλη. Οι υδροξυλιωμένοι μεταβολίτες **3,3'-4,4' τετραχλωροδιφαινύλιο** (3,3'-4,4'-TCB)/ υδροξυλιωμένος μεταβολίτης του PCB) και **4'-υδροξυ-3,3'-4,5' τετραχλωροφαινόλιο**, δρουν ως ανταγωνιστές της θυροξίνης, παρεμποδίζοντας τη σύνδεσή της με τη ρετινόλη. Αποτέλεσμα της δράσης

αυτών των ουσιών είναι η απώλεια θυροξίνης και ρετινόλης από το αίμα, με συνέπεια τη διαταραχή σημαντικών μεταβολικών διαδικασιών του οργανισμού.

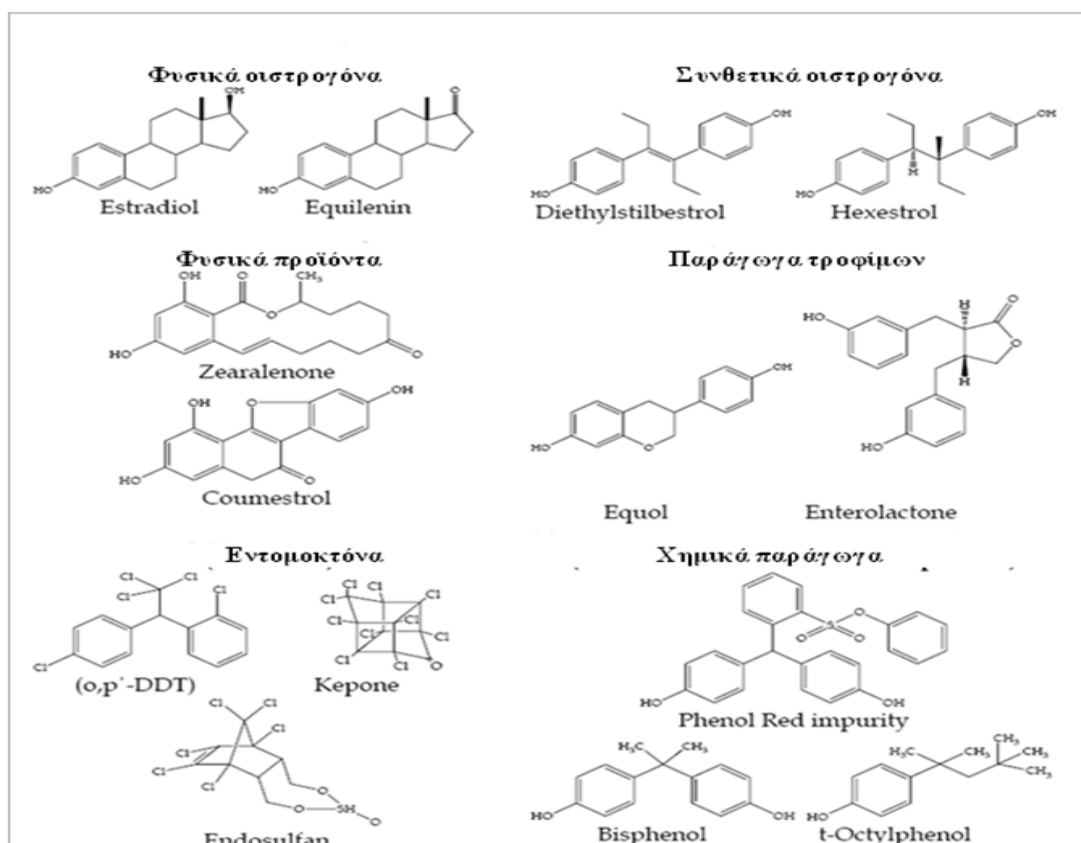
6.1.5 Αναστολή της δράσης ενζυμικών συστημάτων

Χαρακτηριστικό παράδειγμα διαταραχής της δράσης ενζυμικών συστημάτων είναι η αναστολή των ΑΤΡασων. Οι ΑΤΡασες (αδενοτριφωσφατάσες) είναι μια σημαντική οικογένεια ενζύμων που παίζουν σημαντικό ρόλο στην μεταφορά ιόντων, στη διαδικασία της οσμωρύθμισης, στη διατήρηση των επιπέδων αλάτων στο σώμα, π.χ., θαλασσοπούλια, κ. λπ. Ορισμένα τοξικά προϊόντα, όπως οι **οργανοχλωρίνες**, μπορεί να προκαλέσουν ραγδαία αναστολή της δράσης αυτών των ενζύμων. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της δράσης του **p-DDE**, ο οποίος είναι ο επικρατών και δραστικότερος μεταβολίτης του DDT. Συγκεκριμένα, ο μεταβολίτης p-DDE αναστέλλει τη δράση της Ca⁺²-ΑΤΡασης, η οποία συμβάλλει στη μεταφορά ιόντων ασβεστίου. Η αναστολή του ενζύμου έχει ως αποτέλεσμα την μειωμένη απόθεση ασβεστίου στο αναπτυσσόμενο κέλυφος του αυγού στον ωαγωγό των πτηνών, με συνέπεια τη λέπτυνσή του.

6.1.6 Περιβαλλοντικά οιστρογόνα και ανδρογόνα

Ορισμένοι περιβαλλοντικοί ρύποι έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον των ερευνητών τα τελευταία χρόνια, λόγω της ικανότητάς τους να δρουν ως χημικά οιστρογόνα (**Εικόνα 43**). Οι ουσίες με οιστρογόνο ή αντι-οιστρογόνο δράση μπορεί να διακριθούν σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη χημική δομή τους. Τέτοιες ουσίες είναι τα φυσικά οιστρογόνα, όπως η **17β-οιστραδιόλη**, η οποία αποτελεί την πλέον ισχυρή οιστρογόνο ουσία, η **κουμεστρόλη** (cumestrol), συνθετικά οιστρογόνα, όπως η διαιθυλοστιλβεστρόλη, ορισμένα φυτοφάρμακα, όπως το chlordane, το o,p-DDT, τα χλωριωμένα διφαινύλια (**PCBs**) που δρουν μέσω οιστρογονικών υποδοχέων, οι **διοξίνες** (dioxins) και το Endosulfan που δρουν ως αντι-οιστρογόνα (anti-estrogens), και άλλες ουσίες που εμπλέκονται σε μηχανισμούς οιστρογονικής δράσης σε βιολογικούς οργανισμούς, όπως τα **Arochlor 1254**, διθειοκαρβαμιδικά φυτοφάρμακα, ο διθειάνθρακας, εστέρες του φθαλικού οξέος και χρώματα ανιλίνης. Υπάρχουν επίσης και άλλες ουσίες, οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν οιστρογονική διαταραχή σε ασπόνδυλα ζώα, όπως το diquat bromide, τα φυτοφάρμακα

Atrazine, Diuron, Simazine, Endrin, Bisphenol A, τα μέταλλα Cd, Hg, Cu, **ο τριβουτυλοκασσίτερος** (Tributyltin, TBT), το φυσικό στεροειδές testosterone, οι αλκυλοφαινόλες (νονυφαινόλες ή εννεανοφαινόλες) και πεντυλοφαινόλες, καθώς και απόβλητα υπονόμων, πλούσια σε οιστρογόνα και στεροειδή ανθρωπογενούς προέλευσης.



Εικόνα 43. Ουσίες και χημικά προϊόντα που μπορεί να δράσουν ως ενδοκρινικοί αποδιοργανωτές ή διαταρράκτες (τροποποιημένη από Toxicological Chemistry and Biochemistry, 3rd Ed.).

Η ικανότητα δέσμευσης αυτών των ψευδο-οιστρογόνων σε υποδοχείς των οιστρογόνων μπορεί να προκαλέσει είτε τη διέγερση μεταγραφικών διεργασιών, είτε την αναστολή της δράσης των υποδοχέων και κατεπέκταση των οιστρογονικών διεργασιών, με αποτέλεσμα την «αδρανοποίηση» του οργανισμού. Ορισμένα οργανοχλωριομένα εντομοκτόνα, ο τριβουτυλικός κασσίτερος (TBT), διάφορα φθαλικά και νουλφαινόλες, καθώς και η τετραχλωρο-διβενζο-διοξίνη (TCDO) μπορεί να δράσουν ως χημικά οιστρογόνα.

6.1.7 Αντιδράσεις με σουλφυδρυλικές ομάδες πρωτεϊνών

Τα ιόντα Hg^{+2} και Cd^{+2} είναι τοξικά και αντιδρούν με ομάδες $-SH$ ενζύμων και πρωτεϊνών που παίζουν σημαντικό ρόλο στην εύρυθμη λειτουργία των οργανισμών. Οι σουλφυδρυλικές ομάδες παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στη δομική και λειτουργική αρτιότητα των πρωτεϊνών, όσο και στην ενζυμική δραστηριότητα ορισμένων από αυτών.

6.1.8 Διαταραχή φωτοσυνθετικού μηχανισμού και ανάπτυξης των φυτών

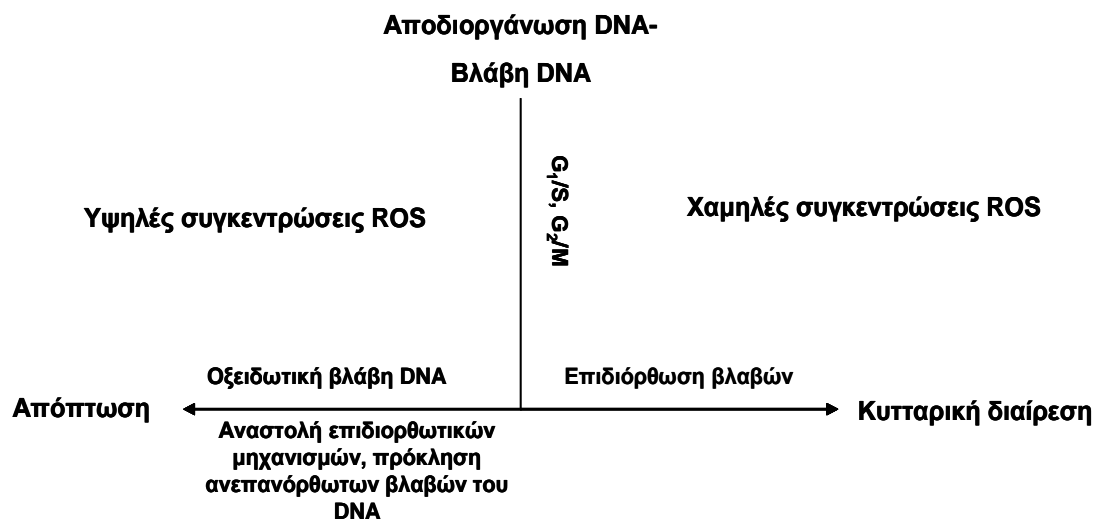
Τα φυτοκτόνα δείχνουν χαμηλή τοξικότητα στα σπονδυλωτά και τα έντομα, λόγω της απουσίας υποδοχέων για ρύθμιση της ανάπτυξης, με δομή παρόμοια με αυτά των φυτών. Παρόλα αυτά, τα φυτοκτόνα, όπως οι *τριαζίνες* και η υποκατεστημένη ουρία εμποδίζουν τη ροή ηλεκτρονίων στα συστήματα που είναι υπεύθυνα για τις φωτο-εξαρτώμενες αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης, π.χ., τη διάσπαση του νερού για την απελευθέρωση μοριακού οξυγόνου. Άλλα φυτοκτόνα, όπως τα 2-μεθυλ-χλωροφαινοξυ-οξικό οξύ (MCPA), το 2,4-φαινοξυ-οξικό (2,4-D) και -βουτυρικό οξύ (2,4-DB), καθώς και το CMPP, προκαλούν την παραγωγή αιθυλενίου στα φυτά, το οποίο ρυθμίζει την ανάπτυξη των φυτών.

6.1.9 Επαγωγή φαινομένων οξειδωτικής καταπόνησης (oxidative stress)

Σημαντική παράμετρος των επιπτώσεων που μπορεί να επιφέρουν οργανικοί και ανόργανοι ρύποι αποτελεί η επαγωγή οξειδωτικού stress, λόγω της δημιουργίας ελεύθερων ριζών οξυγόνου στους ιστούς των οργανισμών (reactive oxygen species/ROS). Οι δραστικές μορφές οξυγόνου (ROS) έχουν σοβαρές επιπτώσεις στη φυσιολογική λειτουργία των βιολογικών συστημάτων. Συγκεκριμένα, οι ROS προκαλούν υπεροξειδωση των λιπιδίων της κυτταρικής μεμβράνης, αλλά και άλλων μεμβρανικών δομών του κυττάρου, μετουσίωση πρωτεϊνών, αδρανοποίηση ενζύμων, καθώς και αλλοίωση της γενετικής σύστασης, μέσω της οξειδωσης νουκλεϊκών οξέων και πυριμιδίνων στο εσωτερικό του πυρήνα. Αυξημένες συγκεντρώσεις ROS ευθύνονται για την πρόκληση κυτταρικών βλαβών και ογκογενέσεων. Η οξειδωτική βλάβη που επέρχεται στο κύτταρο από την παραγωγή ROS μπορεί να οδηγήσει σε

αποπτωτικά* φαινόμενα, ενώ υπάρχουν αναφορές που συσχετίζουν την παραγωγή ελεύθερων ριζών με αναστολή των επιδιορθωτικών ενζύμων που είναι υπεύθυνα για την ακεραιότητα του γενετικού υλικού στον πυρήνα των κυττάρων.

Η παρουσία των ROS μπορεί να επηρεάσει την πορεία του κυτταρικού κύκλου (**Εικόνα 44**). Χαμηλές συγκεντρώσεις ROS συμβάλλουν στην προώθηση της κυτταρικής διαίρεσης και της φυσιολογικής ανάπτυξης του κυττάρου, μέσω σηματοδοτικών οδών ρύθμισης του κυτταρικού κύκλου, στις οποίες συμμετέχουν πλήθος πρωτεϊνικών κινασών, όπως κινάσες RTK, PKC, PLCγ1, Src και MAPKs. Αντίθετα, αυξημένες συγκεντρώσεις ROS, ευθύνονται για την πρόκληση οξειδωτικής βλάβης του DNA, οπότε ο κυτταρικός κύκλος «αιχμαλωτίζεται» στα στάδια G₁/S ή/και G₂/M. Σε αυτό το σημείο, η επιτυχημένη επιδιόρθωση των βλαβών του DNA θα καθορίσει την μετέπειτα πορεία του κυττάρου. Αυξημένη βλάβη του γενετικού υλικού δεν συνεπάγεται απαραίτητα και αποπτωτική διαδικασία. Αυξημένη επιδιορθωτική ικανότητα μπορεί να οδηγήσει στα επόμενα στάδια του κυτταρικού κύκλου, ενώ αναστολή της επιδιορθωτικής ικανότητας ή ανεπανόρθωτες βλάβες του DNA μπορεί να οδηγήσουν σε αναστολή της κυτταρικής διαίρεσης και πρόκληση αποπτωτικών φαινομένων.



Εικόνα 44. Επίδραση των ROS στην εξέλιξη του κυτταρικού κύκλου, μετά από επίδραση ρυπογόνων παραγόντων (Νταϊλιάνης, 2005).

Η άμυνα των κυττάρων έναντι των επιβλαβών επιπτώσεων των ROS συνίσταται στην κινητοποίηση διαφόρων αντιοξειδωτικών μηχανισμών που

περιλαμβάνουν τη συμμετοχή αντιοξειδωτικών ενζύμων, όπως η υπεροξειδική δισμουτάση, η καταλάση, η υπεροξειδάση και η ρεδουκτάση της γλουταθειόνης, καθώς και διάφορα μόρια, όπως η α-τοκοφερόλη ή βιταμίνη Ε, που προστατεύει τα λιπαρά οξέα των κυτταρικών μεμβρανών από τη δράση των ROS, η γλουταθειόνη, το ουρικό οξύ που υπάρχει στα ερπετά και στα πτηνά, και η βιταμίνη C που χαρακτηρίζεται από αντιοξειδωτική δράση.

* Απόπτωση και νέκρωση

Με τον όρο απόπτωση εννοούμε μια ενεργητική φυσιολογική διαδικασία κυτταρικού θανάτου, η οποία με τον προγραμματισμένο τρόπο που επιτελείται και με τη διατήρηση της ακεραιότητας της κυτταρικής μεμβράνης δεν επιφέρει την καταστροφή των γειτονικών κυττάρων και συνεπώς την πρόκληση φλεγμονώδους αντίδρασης. Πρόκειται για μία αρκετά γρήγορη διαδικασία και επιτελείται σε μεμονωμένα κύτταρα. Αρχικά παρατηρείται πύκνωση και περιφερική διάταξη της χρωματίνης στην πυρηνική μεμβράνη και ακολουθεί ο κατακερματισμός του πυρήνα (Kerr et al., 1995). Παρατηρείται επίσης συμπύκνωση του κυτταροπλάσματος και διάσπαση του κυττάρου σε δομές που ονομάζονται αποπτωτικά σωμάτια (τμήματα κυτταροπλάσματος και πυρήνα που περιβάλλονται από μεμβράνη), τα οποία και φαγοκυτταρώνονται γρήγορα από τα γειτονικά κύτταρα ή τα μακροφάγα και καταβολίζονται από τα ένζυμα των λυσοσωμάτων.

Η νέκρωση είναι μια τυχαία παθητική διαδικασία που έχει ως αποτέλεσμα την προοδευτική μη-αντιστρεπτή διάλυση των κυτταρικών δομών. Συγκεκριμένα, κατά τη διαδικασία της νέκρωσης πραγματοποιείται καταστροφή της κυτταρικής μεμβράνης, διόγκωση του κυττάρου και ανεξέλεγκτη έκλυση ενζύμων (λιπασών, πρωτεασών κ.λπ.), τα οποία προκαλούν καταστροφή και των παρακείμενων κυττάρων καθώς και την πρόκληση φλεγμονώδους αντίδρασης.

6.2 Διαταραχή μεμβρανικών δομών και κυτταρικών οργανιδίων

Η είσοδος μιας ξеноβιοτικής ουσίας στο εσωτερικό των κυττάρων προκαλεί μια σειρά κυτταρικών αλλαγών. Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν τη διεύρυνση των μεσοκυττάρων χώρων, αλλαγές στο σχήμα και στο μέγεθος των

μιτοχονδρίων, οξείδωση λιπιδίων της κυτταρικής μεμβράνης, καθώς και αύξηση των στοιχείων του λυσοσωμικού συστήματος.

Τα λυσοσώματα είναι κυτταρικά οργανίδια που συμμετέχουν στην αποικοδόμηση ενδογενών και εξωγενών μακρομορίων με τη βοήθεια υδρολυτικών ενζύμων (νουκλεάσες, φωσφατάσες και υπεροξειδάσες). Η επίδραση διαφόρων ρυπογόνων ουσιών, όπως οι **αρωματικοί υδρογονάνθρακες**, ο **τετραχλωράνθρακας**, το ασβέστιο, το πυρίτιο, το παράγωγα του αμινοαδοβενζιδίου, το βηρύλλιο και διάφορα μεταλλικά ιόντα, μπορεί να προκαλέσουν αποσταθεροποίηση της μεμβράνης των λυσοσωμάτων και ενεργοποίηση λυσοσωμικών υδρολασών, οι οποίες μπορεί να βρεθούν στο κυτταρόπλασμα με επακόλουθη κυτταρική νέκρωση. Η εκτίμηση της σταθερότητας της λυσοσωμικής μεμβράνης αποτελεί στις μέρες μας ένα πρώτης τάξεως εργαλείο για τον έλεγχο της κυτταρικής έκθεσης σε ρυπογόνους παράγοντες.

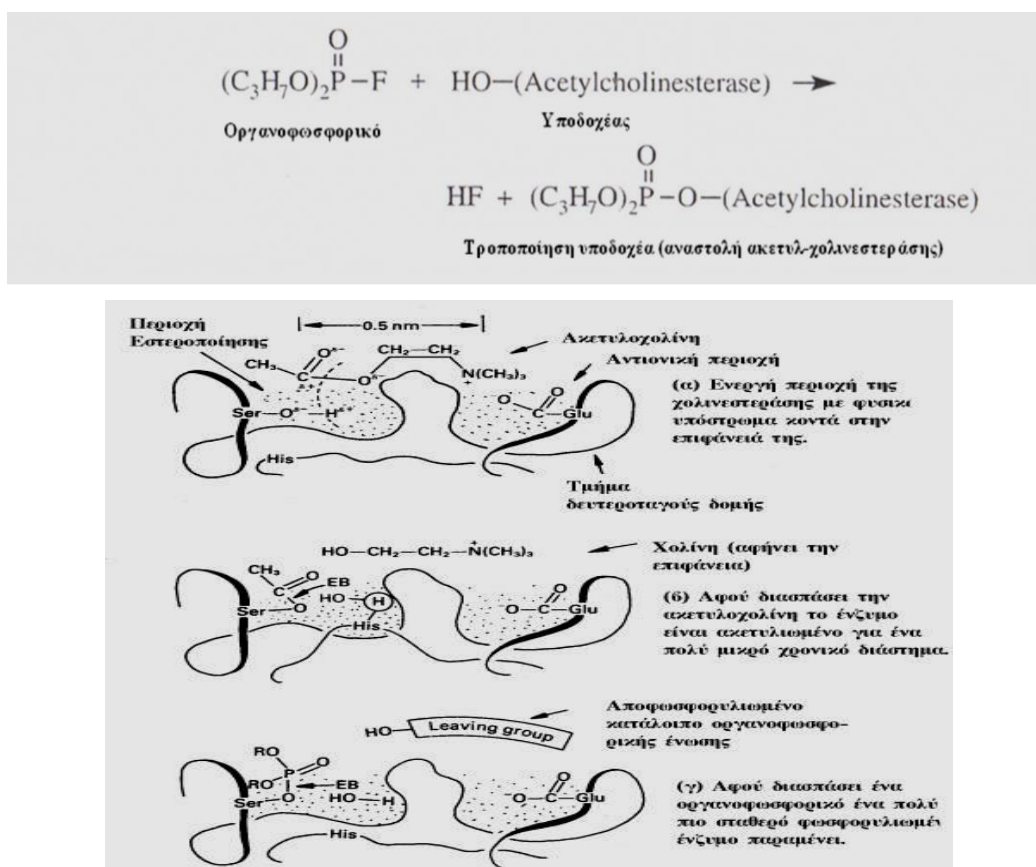
Επιπρόσθετα, η επίδραση ρυπογόνων ουσιών έχει βρεθεί ότι σχετίζεται με εμφάνιση νεοπλασιών, αύξηση σε προσβολές παρασίτων, αλλαγές στην ποσοστιαία αναλογία των κυτταρικών τύπων, καθώς και με συναθροίσεις κοκκιωδών αιμοκυττάρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΡΥΠΟΓΟΝΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Οι επιπτώσεις των διάφορων περιβαλλοντικών ρυπογόνων ουσιών μπορεί να φανούν σε ολόκληρο τον οργανισμό. Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά οι επιδράσεις που μπορεί να ασκήσουν τοξικοί παράγοντες σε επίπεδο οργανισμού.

7.1 Νευροφυσιολογικές επιδράσεις

Οι τέσσερις κύριες ομάδες εντομοκτόνων-οργανοχλωριωμένες ενώσεις, οργανοφωσφορικές, καρβαμικές και πυρεθροειδείς- μπορούν να δράσουν ως **νευροτοξίνες**. Οι νευροτοξίνες δρουν σε υποδοχείς του ΚΝΣ ή του περιφερικού νευρικού συστήματος ή και στα δύο. Τα οργανοφωσφορικά και καρβαμιδικά φυτοκτόνα χαρακτηρίζονται ως **αντιχολινεστεράσες**, λόγω της ικανότητά τους να αναστέλλουν τη δραστηριότητα του ενζύμου ακετυλ-χολινεστεράση στις χολινεργικές συνδέσεις, διακόπτοντας τη συναπτική μεταβίβαση (**Εικόνα 45**).



Εικόνα 45. Τρόπος δράσης αντιχολινεστερασών (Δημητριάδης και συν. 2006).

Η ευκολία σχηματισμού συμπλόκου μεταξύ ενός αναστολέα της AChE και του ενεργού κέντρου του ενζύμου, καθώς και η σταθερότητα του συμπλόκου εξαρτώνται κυρίως από την ομοιότητα της στερεοχημικής δομής και του μεγέθους του αναστολέα με την ακετυλχολίνη. Αποτέλεσμα της νευροτοξικής δράσης των παραπάνω ρυπογόνων ουσιών είναι η αδυναμία κίνησης, τροφοληψίας και ανάπτυξης των οργανισμών, καθώς και εμφάνιση νευρολογικών διαταραχών σε ανώτερους οργανισμούς, όπως ο άνθρωπος.

7.2 Επιδράσεις στη συμπεριφορά

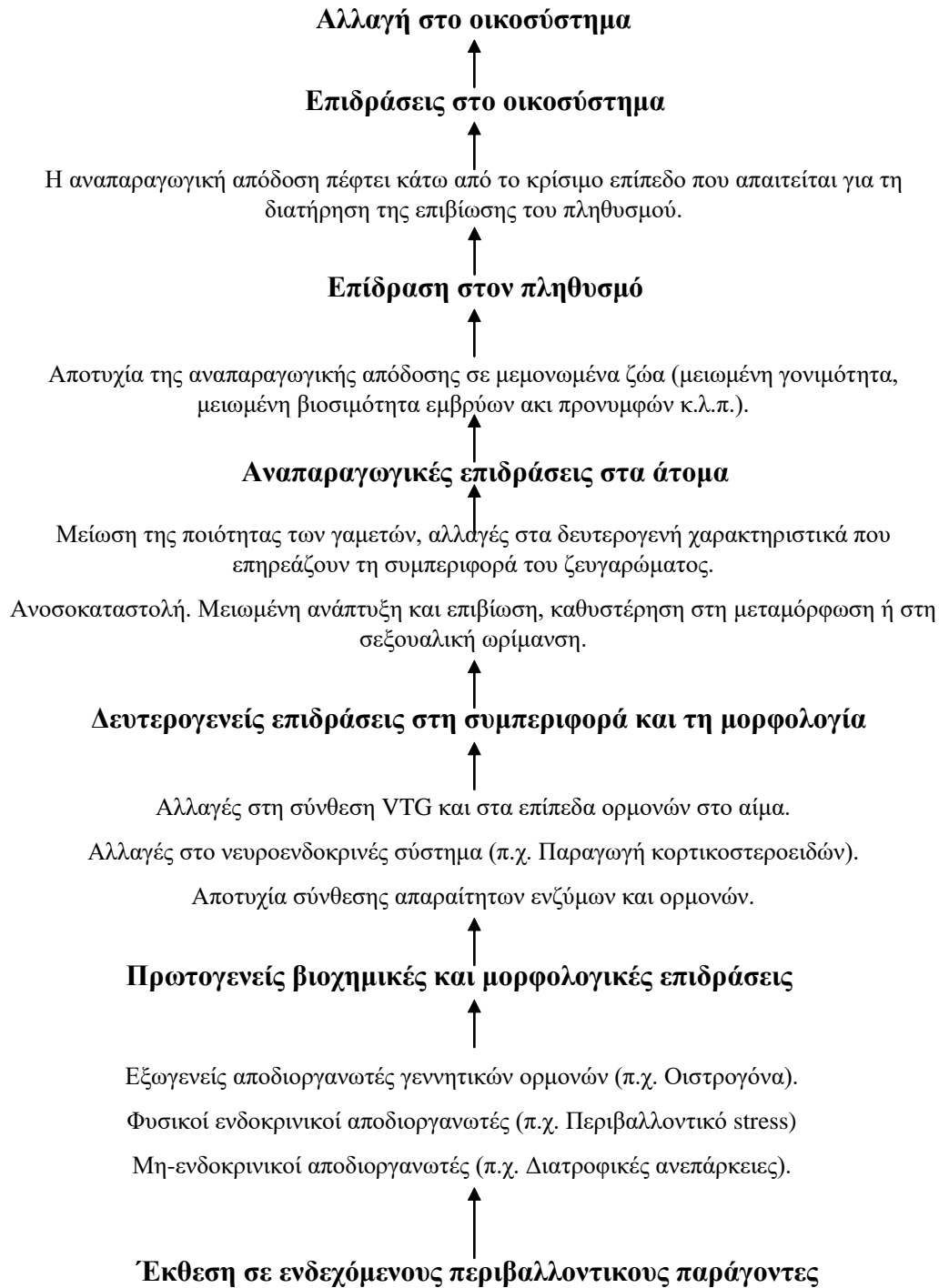
Η ανάπτυξη και η αναπαραγωγή των οργανισμών σχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με την ικανότητά τους να αναζητούν και να βρίσκουν εύκολα την τροφή τους. Η αδυναμία που προκαλεί η συνεχής συσσώρευση ρυπογόνων ουσιών στον οργανισμό, λόγω καταστολής σημαντικών μεταβολικών και φυσιολογικών μηχανισμών, τον καθιστούν αδύναμο να ανταπεξέλθει ικανοποιητικά στις παραπάνω διαδικασίες. Γενικότερα, οι επιδράσεις της ρύπανσης στη συμπεριφορά έχουν ως αποτέλεσμα το χαμηλό ρυθμό ανάπτυξης και την αυξημένη θνησιμότητα των οργανισμών.

7.3 Επιδράσεις στην αναπαραγωγή – Ενδοκρινικοί αποδιοργανωτές

Πολλές χημικές ουσίες χαρακτηρίζονται από δομή ανάλογη των ορμονών και μπορεί να προκαλέσουν είτε τοξική δράση είτε υπερβολική έκκριση των φυσιολογικών ορμονών του οργανισμού. Τέτοιες χημικές ουσίες ονομάζονται **ενδοκρινικοί αποδιοργανωτές (endocrine disrupters)** και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αναπαραγωγή και τη σεξουαλική ανάπτυξη. Οι ενδοκρινικοί αποδιοργανωτές μπορούν να δεσμευτούν σε ορμονικούς υποδοχείς και να μιμηθούν τη δράση της φυσιολογικής ορμόνης, προκαλώντας την υπερβολική ή άστοχη ενεργοποίηση της φυσιολογικής ενδογενούς διαδικασίας. Ορισμένες ρυπογόνες ουσίες, όπως ο τριβουτυλικός κασσίτερος (TBT), μπορεί να προκαλέσουν την ανάπτυξη αρσενικών χαρακτηριστικών σε θηλυκά άτομα, οδηγώντας σε στέρωση των ατόμων. Συγκεκριμένα, έχει αναφερθεί ότι ο TBT μπορεί να επάγει αλλαγή φύλου στο θαλάσσιο γαστερόποδο *Nucella lapillus*, λόγω της δέσμευσής του σε ορμονικούς υποδοχείς, οι οποίοι υπό φυσιολογικές συνθήκες θα δεχόταν τις

φυσιολογικές ορμόνες του οργανισμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κινητοποίηση φυσιολογικών διεργασιών σε λάθος φύλο.

Το DDE (ενεργός μεταβολίτης του DDT) προκαλεί τη λέπτυνση του κελύφους και το σπάσιμο των αυγών. Η αυξημένη συγκέντρωση οργανοχλωριομένων ενώσεων μπορεί να προκαλέσει καταστροφή του τοιχώματος της μήτρας σε θηλαστικά, με άμεσο αποτέλεσμα την μείωση της αναπαραγωγικής ικανότητας, καθώς και μεταβολικές δυσλειτουργίες, όπως ανοσοκαταστολή και ορμονικές ανωμαλίες (υπεραδρενοκορτικοϊσμός). Οι ενδοκρινικοί αποδιοργανωτές επηρεάζουν τη *βιτελογενίνη*, μια ουσία που είναι πρόδρομος του κρόκου των αυγών, η σύνθεση του οποίου επάγεται από τις γοναδοτροπίνες στα θηλυκά άτομα. Οι μηχανισμοί με τους οποίους οι ενδοκρινικοί αποδιοργανωτές επιδρούν στην αναπαραγωγή και στην επιβίωση φαίνονται περιληπτικά στην **Εικόνα 46**.



Εικόνα 46. Μηχανισμοί με τους οποίους οι ενδοκρινικοί αποδιοργανωτές επιδρούν στην αναπαραγωγή και την επιβίωση (Campbell και Hutchinson, 1998).

7.4 Ενεργειακό κόστος

Η μηχανισμοί αποτοξικοποίησης καταναλώνουν ενέργεια, οδηγώντας σε απώλειες στις παραγωγικές διεργασίες του οργανισμού. Η επίδραση της ρύπανσης στις παραγωγικές διεργασίες συνήθως υπολογίζεται με την επίδρασή της στη «δυναμική αύξηση» (Scope for Growth – SFG) που ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της προσλαμβανόμενης ενέργειας και των συνολικών απωλειών. Αυξημένη συσσώρευση ρυπογόνων παραγόντων αυξάνει τις ενεργειακές απαιτήσεις των μηχανισμών αποτοξικοποίησης, με αποτέλεσμα τη μείωση του παράγοντα SFG, με άμεσο αντίκτυπο στην αύξηση και ανάπτυξη των οργανισμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΡΥΠΟΓΟΝΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΣΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΩΝ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ. ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΕ ΒΙΟΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η επιβάρυνση ενός οικοσυστήματος με ρυπογόνες ουσίες μπορεί να επηρεάσει τη φυσιολογική ομοιόσταση των οργανισμών, αλλά και να προκαλέσει δυναμικές διαταραχές στη δομή των πληθυσμών. Η είσοδος και η παραμονή ρυπογόνων ουσιών σε ένα οικοσύστημα μπορεί να επιφέρει (α) σταθεροποίηση ενός πληθυσμού, (β) μείωση ενός πληθυσμού, καθώς και (γ) αύξηση ενός πληθυσμού.

Επίσης, σημαντικές αλλαγές μπορεί να προκληθούν στον κύκλο ζωής των οργανισμών, στην κατανομή της ενέργειας που προσλαμβάνουν για την ανάπτυξη και την αναπαραγωγική τους διαδικασία, στην ανθεκτικότητά τους απέναντι στους ξενοβιοτικούς παράγοντες, ενώ σημαντικές είναι και οι αλλαγές που μπορεί να προκληθούν σε γενετικό επίπεδο, μιας και η πρόκληση μεταλλάξεων και γενετικών ανωμαλιών μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια της γενετικής διαφοροποίησης και σε μείωση της αναπαραγωγικής τους ικανότητας.

Οι αλλαγές που μπορεί να επιφέρει η ρύπανση στη δυναμική των πληθυσμών και στην ισορροπία του οικοσυστήματος οδηγούν με μαθηματική ακρίβεια στην υποβάθμιση των τροφικών σχέσεων μεταξύ των οργανισμών, καθώς και στη μείωση των τροφικών επιπέδων του οικοσυστήματος. Φαινόμενα βιοσυσώρευσης ξενοβιοτικών ουσιών μπορεί να επιφέρουν την κατάρρευση των κρίκων της τροφικής αλυσίδας, λόγω εξαφάνισης μη-ανθεκτικών ειδών, με άμεσο αντίκτυπο στη ροή ενέργειας μεταξύ των διαφόρων τροφικών επιπέδων.

Σημαντικές αλλαγές μπορεί να παρατηρηθούν στην ποικιλότητα των οικοσυστημάτων. Είναι γνωστό ότι η ποικιλότητα αποτελεί βασικό παράγοντα της ευστάθειας ενός οικοσυστήματος. Ως ευστάθεια ορίζεται η δυνατότητα των οικοσυστημάτων να επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση ισορροπίας μετά την επιβολή κάποιας εξωτερικής διαταραχής (stress) που διαφοροποίησε το μέγεθος ή την σύνθεση του πληθυσμού τους. Εάν η ευστάθεια είναι μικρή, τότε μετά από μια σημαντική διαταραχή το οικοσύστημα ξεπερνάει το δεδομένο «όριο θραυσμού» του και δεν μπορεί να επανέλθει στην αρχική κατάσταση ισορροπίας του, άρα καταστρέφεται ή υποβαθμίζεται. Η μείωση

της ποικιλότητας λόγω αυξημένης θνησιμότητας των ευαίσθητων σε ρυπογόνους παράγοντες οργανισμών, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ποικιλότητας του οικοσυστήματος, με αποτέλεσμα τη διαταραχή της ισορροπίας του.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος μπορεί να διαταράξει τη δομή των οικοσυστημάτων, καθώς και τους μηχανισμούς διαβίωσης των οργανισμών. Οργανισμοί που ακολουθούν k-στρατηγική (μεγάλη βιωσιμότητα, μεγάλο μέγεθος και μικρός αριθμός απογόνων) αντιμετωπίζουν τα μεγαλύτερα προβλήματα, λόγω της συσσώρευσης των ρυπογόνων ουσιών στο εσωτερικό τους και των βλαβερών επιπτώσεων που προκαλούνται τόσο στο ρυθμό ανάπτυξής τους, όσο και στην αναπαραγωγική τους ικανότητα. Μείωση της αναπαραγωγικής τους ικανότητας οδηγεί σε μείωση του αριθμού των απογόνων τους, με άμεσο κίνδυνο εξαφάνισης του πληθυσμού. Παράλληλα, οργανισμοί που ακολουθούν r-στρατηγική (μειωμένη βιωσιμότητα και μεγάλος αριθμός απογόνων) μπορούν να ανταπεξέλθουν ικανοποιητικά σε περιβάλλοντα με έντονη ρύπανση και να αυξάνουν τον αριθμό τους, σε βάρος της διάρκειας ζωής των ατόμων του πληθυσμού.

Αποτέλεσμα της επικράτησης οργανισμών που ακολουθούν r-στρατηγική ζωής είναι και η εμφάνιση ανθεκτικών οργανισμών έναντι άλλων που χάνονται. Οι ανθεκτικοί οργανισμοί μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες ρύπανσης των οικοσυστήματος και ονομάζονται βιο-ενδείκτες. Πρόκειται συνήθως για σαπροβιοτικούς οργανισμούς, υδρόβια και χερσαία ασπόνδυλα, ο προσδιορισμός των οποίων μπορεί να δώσει μια ικανοποιητική εικόνα της κατάστασης του εκάστοτε ενδιαιτήματος.

Στον **Πίνακα 26** δίνονται συνοπτικά οι αλλαγές που μπορεί να επιφέρει μια ξενοβιοτική ουσία στα οικοσυστήματα.

Πίνακας 26. Προβλεπόμενες αλλαγές στα οικοσυστήματα, λόγω της επίδρασης τοξικών ουσιών σε βιοκοινωνίες (Newman and Unger, 2003).

Ιδιότητα	Προβλεπόμενη αλλαγή
Ενέργεια	Αύξηση της αναπνοής τις κοινωνίας Ανισορροπία του λόγου παραγωγής (P)/αναπνοής ($P/R < 1$ ή $P/R > 1$) Αύξηση της παραγωγής/βιομάζας και αναπνοής/βιομάζας Αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής
Θρεπτικά	Αύξηση του κύκλου των θρεπτικών Μείωση της ανακύκλωσης των θρεπτικών Αύξηση της απώλειας θρεπτικών, λόγω των παραπάνω αλλαγών
Δομή τις κοινωνίας	Αύξηση του ποσοστού των ειδών με r-στρατηγική Μείωση του μεγέθους των οργανισμών Μείωση της διάρκειας ζωής των οργανισμών Λιγότεροι κρίκοι στις τροφικές αλυσίδες Μείωση της ποικιλότητας των ειδών με αύξηση της επικράτειας κάποιων από αυτά
Οικοσύστημα	Μείωση της εσωτερικής ανακύκλωσης και αύξηση της εισόδου και εξόδου από εξωτερικές πηγές Επαναφορά σε προηγούμενα εξελικτικά στάδια Οι λειτουργικές αλλαγές (π.χ., μεταβολισμός) είναι λιγότερες από τις δομικές (αφθονία ειδών) Μείωση των θετικών αλληλεπιδράσεων (π.χ., συμβίωση) και αύξηση των αρνητικών (π.χ., ασθένεια ή παρασιτισμός)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΑΡΧΕΣ ΤΟΞΙΚΟΛΟΓΙΑΣ - ΟΙΚΟΤΟΞΙΚΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η τοξικολογία σχετίζεται με τη μελέτη των δυσμενών επιπτώσεων διαφόρων χημικών ενώσεων στους ζώντες οργανισμούς. Συγκεκριμένα μελετά τα συμπτώματα, τους μηχανισμούς τοξικότητας, ενώ σχετίζεται με την αντιμετώπιση και την ανίχνευση της τοξικότητας. Ο όρος Οικοτοξικολογία αποτελεί μια φυσική προέκταση της τοξικολογίας και της περιβαλλοντικής τοξικολογίας. Η περιβαλλοντική τοξικολογία και η οικοτοξικολογία τεκμηριώνουν τις επιπτώσεις της ρύπανσης, λαμβάνοντας υπόψη τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οργανισμών καθώς και τις διασυνδέσεις τους με το αβιοτικό περιβάλλον (έδαφος, νερά και ατμόσφαιρα). Ενώ οι τοξικολογικές μελέτες γίνονται σε μεμονωμένους οργανισμούς στο εργαστήριο, οι οικοτοξικολογικές έρευνες αποβλέπουν στην διερεύνηση των επιδράσεων χημικών ρύπων σε κοινότητες ζωντανών οργανισμών που αναπτύσσονται μέσα σε φυσικά οικοσυστήματα.

Ο μεγάλος αριθμός των άγνωστων -ως προς τους οργανισμούς- ουσιών (ξενοβιοτικές ενώσεις/ουσίες) δημιουργεί μια σύγχυση, όσο αφορά την ταξινόμησή τους ως τοξικές ενώσεις. Ανάλογα με το συγγραφέα, τον ερευνητή ή τον οργανισμό, οι ρυπογόνες ουσίες μπορεί να διαχωριστούν σύμφωνα με το όργανο ή τον ιστό στόχο, τη βιοχημική τους φύση (αναστολείς, ενεργοποιητές, κ. λπ.), το αποτέλεσμα που προκαλούν (καρκινογόνες, μεταλλαξιγόνες, τραυματογενείς), τη χρήση τους (εντομοκτόνα, διαλύτες, προσθήκες σε τρόφιμα), την προέλευσή τους (φυτικές ή ζωικές τοξίνες) ή τη χημεία τους (αρωματικές αμίνες, αλογονομένοι υδρογονάνθρακες). Οι χημικές ουσίες όταν απελευθερωθούν στο φυσικό περιβάλλον υπόκεινται σε διασπορά στην ατμόσφαιρα, τα υδάτινα συστήματα, το έδαφος και στα ιζήματα ανάλογα με τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Η Οικοτοξικολογική έρευνα ενδιαφέρεται για τη βιοσυσσώρευση των ουσιών μέσω της τροφικής αλυσίδας ή στους διάφορους ιστούς και όργανα των οργανισμών και τη βιοαποικοδόμηση ή διάσπαση των ουσιών με την επίδραση του φυσικού περιβάλλοντος.

Ο έλεγχος τοξικότητας των ξενοβιοτικών ουσιών πραγματοποιείται για την διερεύνηση των επιπτώσεων που μπορεί να επιφέρουν στους οργανισμούς, με ιδιαίτερη έμφαση να δίνεται στον έλεγχο της καρκινογόνου και μεταλλαξιγόνου δράσης τους τόσο *in vitro* όσο και *in vivo* συνθήκες. Για την

εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων απαιτείται ικανοποιητικός αριθμός πειραματικών επαναλήψεων και κατάλληλες συνθήκες. Σύμφωνα με την οδηγία 67/548/ΕΟΚ οι δοκιμασίες τοξικότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθούν αναφέρονται περιληπτικά παρακάτω.

9.1 Δοκιμασίες ελέγχου τοξικότητας

9.1.1 Δοκιμασία οξείας τοξικότητας

Πρόκειται για μια σειρά δοκιμασιών με τις οποίες προσδιορίζονται οι βλαβερές επιδράσεις των χημικών ουσιών, οι χρόνιες και δοσολογικές σχέσεις και η αντιστρεψιμότητά τους σε πειραματόζωα (π.χ. επίμυες). Για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων απαιτούνται δοκιμασίες τοξικότητας μέσω δύο οδών έκθεσης, εκ των οποίων η μία είναι η στοματική οδός (μέσω της τροφής), ενώ η άλλη μπορεί να είναι η εισπνοή ή η δερματική απορρόφηση.

9.1.2 Υποξεία (ή χρόνια) τοξικότητα

Πρόκειται για τη μελέτη της τοξικότητας που εμφανίζεται μετά από παρατεταμένη έκθεση των πειραματόζωων σε κάποια χημική ένωση. Η έκθεση μπορεί να διαρκεί 28 (υποξεία έκθεση) ή 90 (χρόνια έκθεση) ημέρες και κατά τη διάρκειά της προσδιορίζονται διάφοροι παράμετροι, όπως η ελάχιστη δόση εμφάνισης τοξικότητας, η δόση στην οποία δεν παρατηρείται εμφανίσιμη τοξική δράση, καθώς και η δόση πάνω από την οποία παρατηρούνται τοξικές επιδράσεις για τον οργανισμό. Οι δοκιμασίες υποξείας τοξικότητας μπορεί να πραγματοποιηθούν σε πειραματόζωα μέσω διαφόρων οδών, όπως το στόμα, το αναπνευστικό σύστημα και η επιδερμίδα.

9.1.3 Δοκιμασίες μεταλλαξιγένεσης

Με τις διαδικασίες μεταλλαξιγένεσης γίνεται έλεγχος των γενετοξικών επιπτώσεων που μπορεί να επιφέρει η εκάστοτε χημική ουσία στους οργανισμούς. Οι γενετοξικές επιπτώσεις περιλαμβάνουν φαινοτυπικές και χρωμοσωμικές μεταλλάξεις, οι οποίες μπορεί να συνδέονται με την επαγωγή καρκινογένεσης.

9.1.3.1 Μεταλλαξιγένεση-κυτταρογενετική δοκιμασία σε κύτταρα θηλαστικών *in vitro*

Συνήθως αποσκοπεί στον έλεγχο της πιθανής πρόκλησης χρωμοσωμικών ανωμαλιών σε κύτταρα ανθρώπου (π.χ., λεμφοκύτταρα) ή πειραματόζωων (π.χ., κινέζικα χαμστερ CHO). Παρόμοια διαδικασία ακολουθείται σε μυελό των οστών θηλαστικών σε *in vivo* συνθήκες.

9.1.3.2 Μεταλλαξιγένεση-δοκιμασία μικροπυρήνων *in vivo*

Οι μικροπυρήνες είναι πυρηνικοί σχηματισμοί μικρότερου μεγέθους από τον κανονικό πυρήνα του κυττάρου (περίπου το 1/3-1/7 του μεγέθους του κανονικού πυρήνα) και περιέχουν γενετικό υλικό, ως επακόλουθο μεταλλαξιγόνων διεργασιών, μη κανονικού διπλασιασμού και μεταγραφής του γενετικού υλικού, καθώς και μεταφραστικές διεργασίες του RNA. Ο έλεγχος της εμφάνισης μικροπυρήνων μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πολυχρωματικά ερυθροκύτταρα του μυελού των οστών σε επίμυες, μετά από χορήγηση διάφορων δόσεων και δειγματοληψία εντός 24-48 ωρών, ενώ τα τελευταία χρόνια η μέθοδος χρησιμοποιείται ευρύτατα και σε κύτταρα υδρόβιων ασπόνδυλων οργανισμών (π.χ. το κοινό μύδι *Mytilus galloprovincialis*) για εκτίμηση των γενετοξικών επιπτώσεων διαφόρων χημικών ουσιών.

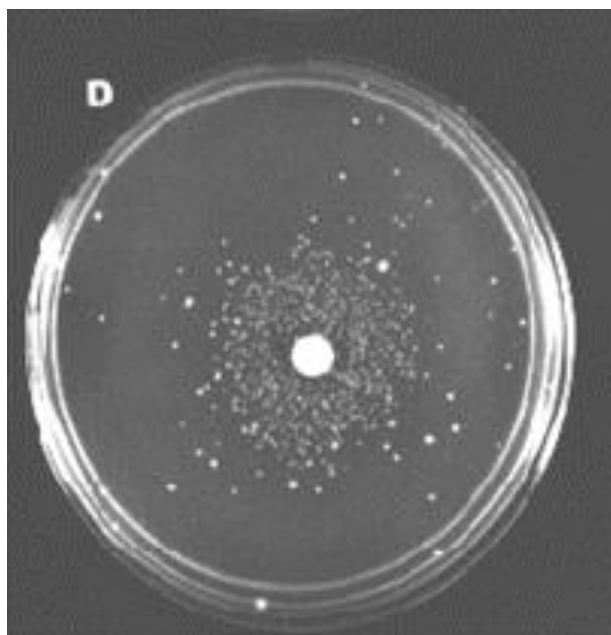
9.1.4 Δοκιμασία πρόκλησης μεταλλάξεων επαναφοράς στην *Escherichia coli* και στη *Salmonella typhimurium*.

Πρόκειται για διαδικασία μεταλλαξιγένεσης ($trp^- \rightarrow trp^+$) σε ειδικά στελέχη της *Escherichia coli*, μετά την προσθήκη εκχυλίσματος από ήπαρ επίμυος που περιέχει την υπό δοκιμή χημική ουσία. Παρόμοια δοκιμασία ακολουθείται για τον έλεγχο πρόκλησης μεταλλάξεων σε ειδικά στελέχη της *Salmonella typhimurium* (μεταλλάξεις $his^- \rightarrow his^+$), μια διαδικασία η οποία είναι γνωστή ως **Ames test**.

Συγκεκριμένα, το τεστ του Ames στηρίζεται στην παραδοχή ότι κάθε μεταλλαξιγόνος ουσία μπορεί να είναι και καρκινογόνος. Τα στελέχη *Salmonella typhimurium* που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο τεστ μεταλλαξιγένεσης, διαθέτει ένα δραστικό μεταλλαγμένο γονίδιο, χωρίς την ικανότητα σύνθεσης του αμινοξέος ιστοιδίνη (His), από τα συστατικά του θρεπτικού μέσου καλλιέργειας (στελέχη His^-). Εντούτοις, κάποιοι τύποι

μετάλλαξης, μπορεί να αναστραφούν, προσδίδοντας πλήρη δραστικότητα στο γονίδιο και κατεπέκταση την δυνατότητα σύνθεσης του συγκεκριμένου αμινοξέος από τον μικροοργανισμό σε θρεπτικό μέσο που χαρακτηρίζεται από την έλλειψη ιστιδίνης (στελέχη His⁺).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ικανότητα της ουσίας 2-aminofluorene, γνωστής για την καρκινογόνο δράση της. Συγκεκριμένα, σε άγαρ στο οποίο δεν υπάρχει το αμινοξύ ιστιδίνη, τοποθετούνται στελέχη του μικροβίου, τα οποία απαιτούν το συγκεκριμένο αμινοξύ για την ανάπτυξή τους (His⁻), καθώς και μείγμα ηπατικών ενζύμων αρουραίου. Στη συνέχεια ακολουθεί εμφύσηση φίλτρου στο οποίο έχει γίνει απορρόφηση 10 µg της καρκινογόνου ουσίας 2-aminofluorene και παρακολούθηση της ανάπτυξης αποικιών του βακτηριακού στελέχους. Η καρκινογόνος/μεταλλαξιγόνος δράση της ουσίας έχει ως αποτέλεσμα την μεταστροφή των (His⁻) βακτηριακών στελεχών σε His⁺ και κατεπέκταση τη δυνατότητα ανάπτυξής τους σε θρεπτικό υλικό στο οποίο δεν υπάρχει το απαραίτητο αμινοξύ ιστιδίνη, όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 47**.



Εικόνα 47. Δοκιμασία μεταλλαξιγένεσης-επαναφοράς σε στελέχη *Salmonella typhimurium*. Παρατηρείστε τη δημιουργία μεταλλάξεων (His⁺) και την ανάπτυξή τους γύρω από το δίσκο που φέρει τη δραστική ουσία (στο κέντρο της καλλιέργειας).

Το τεστ του Ames εφαρμόζεται για τον έλεγχο των περισσότερων χημικών ουσιών της βιομηχανίας, αλλά και τον έλεγχο της καρκινογόνου δράσης ορισμένων ουσιών που βρίσκονται στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, η ουσία αφλατοξίνη (aflatoxin) που βρίσκεται σε μικρές ποσότητες στα φιστίκια, έχει δώσει θετικά αποτελέσματα του τεστ.

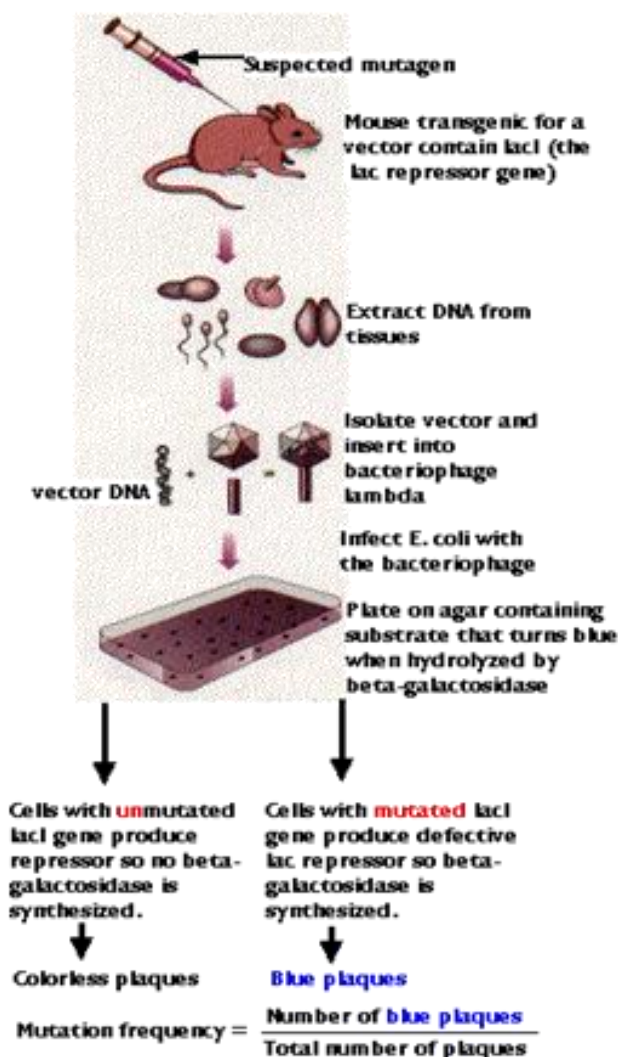
Σήμερα, η επιστήμη εκμεταλλεύεται την προηγμένη τεχνολογία και τεχνογνωσία του ανασυνδυασμένου DNA, προκειμένου να γίνει η μελέτη των τοξικών και καρκινογόνων επιπτώσεων σε ευκαρυωτικά κύτταρα, όπως οι ζύμες και τα κύτταρα θηλαστικών.

Ένα παράδειγμα *in vitro* μελέτης αποτελεί η χρησιμοποίηση διαγονιδιακών ποντικών που ονομάζονται Big Blue. Τα διαγονιδιακά άτομα περιλαμβάνουν το γονιδίωμα του βακτηριοφάγου λάμδα, ενός ιού που προσβάλλει την *Escherichia coli* (*E. coli*) και χρησιμοποιείται στην συγκεκριμένη περίπτωση ως φορέας 3 γενετικών συστατικών, απαραίτητων για το οπερόνιο της λακτόζης της *E. Coli*, όπως το γονίδιο *lacI*, τον εκκινητή του οπερονίου, καθώς και το γονίδιο της βήτα γαλακτοσιδάσης (*lacZ*).

Σύμφωνα με τη μέθοδο, τα διαγονιδιακά άτομα δέχονται επαναλαμβανόμενες δόσεις του υποτιθέμενου καρκινογόνου για χρονικό διάστημα μίας ή δύο εβδομάδων. Στην περίπτωση εκδήλωσης καρκινογόνου δράσης της ουσίας, θα δημιουργηθούν μεταλλάξεις του γενετικού υλικού στα κύτταρα του κάθε ατόμου, ενώ υπάρχει η πιθανότητα πρόκλησης μεταλλάξεων είτε στο γονίδιο *lacI* (κωδικοποιεί τον καταστολέα του γονιδίου της λακτόζης), είτε στον εκκινητή, το γονίδιο της β-γαλακτοσιδάσης θα ενεργοποιηθεί (**Εικόνα 48**).

Για την ανίχνευση αυτής της αλλαγής, πραγματοποιείται απομόνωση του γενετικού υλικού των ατόμων, απομόνωση του γονιδιώματος του βακτηριοφάγου, δημιουργία λειτουργικών βακτηριοφάγων λάμδα και προσβολή των κολοβακτηρίων *E. coli* σε στερεό θρεπτικό υλικό καλλιέργειας. Η ύπαρξη βακτηριοφάγων που φέρουν μεταλλάγματα *lacI* ή στον εκκινητή θα προκαλέσει λύση των βακτηρίων και παραγωγή β-γαλακτοσιδάσης, η οποία αντιδρά με ειδικά συστατικά της καλλιέργειας και εμφανίζει ένα έντονο μπλε χρώμα. Οι βακτηριοφάγοι που δεν φέρουν μεταλλάγματα θα προκαλέσουν λύση των βακτηρίων, χωρίς την παραγωγή του παραπάνω ενζύμου και κατεπέκταση την απουσία έγχρωμων πλακών στην καλλιέργεια, όπως φαίνεται

στην παρακάτω φωτογραφία. Η συχνότητα μετάλλαξης υπολογίζεται με βάση των αριθμό των μπλε και άχρωμων πλακών στο μέσο καλλιέργειας.



Εικόνα 48. Δοκιμασία μεταλλαξιγένεσης-επαναφοράς με τη χρήση διαγονιδιακών ποντικών (Big blue).

9.1.5 Αναπαραγωγική τοξικότητα-δοκιμασία γονιμότητας και τερατογένεσης

Πρόκειται για διαδικασίες ελέγχου των επιδράσεων τόσο στην αναπαραγωγική ικανότητα των πειραματόζωων, όσο και στην εμφάνιση γενετικών ανωμαλιών (μορφολογικών και λειτουργικών) στους απογόνους.

9.1.6 Δοκιμασίες καρκινογόνου δράσης

Οι δοκιμασίες περιλαμβάνουν τον έλεγχο της ικανότητας καρκινογένεσης των υπο μελέτη χημικών ουσιών σε διάφορα πειραματόζωα, όπως επίμυες,

κουνέλια, κ.α. Η διάρκεια της δοκιμασίας μπορεί να διαρκέσει από 2 έως περισσότερα χρόνια.

9.2 Δοκιμασίες περιβαλλοντικής τοξικότητας και Οικοτοξικότητας-Οικοτοξικολογία (Ecotoxicology)

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν γίνει σημαντικές ανακαλύψεις για τη δράση τοξικών ρύπων στο περιβάλλον και ιδιαίτερα σε συγκεκριμένους οργανισμούς. Η γνώση και η εφαρμογή των βασικών αρχών της Τοξικολογίας, καθώς και η ανάπτυξη πειραματικών μεθόδων μελέτης των επιβλαβών επιπτώσεων των χημικών ουσιών που σχετίζονται με την περιβαλλοντική ρύπανση, ώθησαν την ανάπτυξη των επιστημών της Περιβαλλοντικής Τοξικολογίας και της Οικοτοξικολογίας. Η Περιβαλλοντική Τοξικολογία τεκμηρίωσε τους τοξικούς χημικούς ρύπους που προκαλούσαν την ρύπανση και τις δυσμενείς επιπτώσεις στους ζωντανούς οργανισμούς (Maltby & Naylor, 1990). Βασική προτεραιότητα της Περιβαλλοντικής Τοξικολογίας είναι η μελέτη των αρνητικών μεταβολών που προκύπτουν σε ζωντανούς οργανισμούς στα οικολογικά/περιβαλλοντικά ενδιαυτήματά τους, μετά την έκθεσή τους σε επικίνδυνες συνθετικές χημικές ουσίες, καθώς και η μελέτη της κινητικής και της δυναμικής των τελευταίων. Οι οργανισμοί που απασχολούν την Περιβαλλοντική Τοξικολογία βρίσκονται σε αφθονία στη φύση, αναπτύσσονται εύκολα και μπορεί να μεταφερθούν και να διατηρηθούν στο εργαστήριο. Επιπρόσθετα, τα βιολογικά τους χαρακτηριστικά ευνοούν τις τοξικολογικές αναλύσεις, χωρίς να είναι απαραίτητη η επέκταση των δεδομένων στο οικολογικό υπόβαθρο. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την καθιέρωση νομοθετικών διατάξεων προστασίας του περιβάλλοντος, περιβαλλοντικά πρότυπα για ανεκτά όρια ρύπων στον αέρα, τα νερά και το έδαφος.

Ο όρος της Τοξικολογίας πρωτοεμφανίστηκε στο τέλος της δεκαετίας του 60' από τον René Truhaut (1969), ο οποίος όρισε ως Οικοτοξικολογία τον κλάδο της Τοξικολογίας που μελετά τις τοξικές επιπτώσεις που προκαλούνται από φυσικούς ή συνθετικούς ρύπους, τόσο στα οικοσυστήματα, στους ζωντανούς οργανισμούς (συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου), στα φυτά και στα μικρόβια, υπό ένα άρτιο και αναπόσπαστο πλαίσιο (Truhaut, 1977). Η Οικοτοξικολογία, ως νεώτερη επιστήμη, διεύρυνε τις έρευνες στο σύνολο του

οικολογικού κύκλου που περιβάλλει τους ζωντανούς οργανισμούς, την αλληλεπίδραση μεταξύ των οργανισμών και σε συνδυασμό με τις παραμέτρους του φυσικού περιβάλλοντος. Με άλλα λόγια, η Οικοτοξικολογία ή Οικολογική Τοξικολογία, μελετά τις οικολογικές διαστάσεις και την πολυπλοκότητα των αλληλοεπιδράσεων μεταξύ των βιολογικών οργανισμών και των οργανισμών με το φυσικό περιβάλλον μέσα στο οποίο αναπτύσσονται.

Η Περιβαλλοντική Τοξικολογία και η Οικοτοξικολογία καλύπτουν βασικούς και εξειδικευμένους επιστημονικούς τομείς όπως: αναλυτική χημεία, οργανική χημεία, βιοχημεία, εξελικτική βιολογία, φυσιολογία των ζωντανών οργανισμών, ζωολογία, φυτολογία, πληθυσμιακή βιολογία, οικολογία, ωκεανογραφία, μικροβιολογία, εδαφολογία, λιμνολογία και άλλους κλάδους, ενώ τα τελευταία χρόνια οι οικοτοξικολογικές έρευνες έχουν εφοδιαστεί με νέες επιστημονικές και μεθοδολογικές προσεγγίσεις για την εκτίμηση κινδύνου από χημικές ουσίες και πολυάριθμες μέθοδοι διαχείρισης της περιβαλλοντικής ρύπανσης, νέες αναλυτικές τεχνικές και προχωρημένες στατιστικές αναλύσεις δεδομένων.

Οι μελέτες ελέγχου της περιβαλλοντικής τοξικότητας βασίζονται τόσο στον προσδιορισμό της παραμέτρου LC_{50} (συγκέντρωση της προς μελέτη χημικής ένωσης/ουσίας, στην οποία παρατηρείται ποσοστό θνησιμότητας 50%) σε οργανισμούς που χρησιμοποιούνται ως πειραματόζωα, όσο και στον προσδιορισμό των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της υπό μελέτη χημικής ένωσης.

9.2.1 Οξεία τοξικότητα σε ψάρια

Πραγματοποιείται προσδιορισμός της LC_{50} σε συγκεκριμένα είδη ψαριών και σε διάφορες συγκεντρώσεις της ουσίας στο νερό για 48-96 ώρες (**Εικόνα 49**). Σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν τα ιδιαίτερα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της χημικής ένωσης.

*Ictalurus punctatus**Cyprionodon variegates**Salmon gairden*

Εικόνα 49. Τα κυριότερα είδη ιχθύων που χρησιμοποιούνται σε πειράματα οξείας τοξικότητας.

9.2.2 Οξεία τοξικότητα του υδρόβιου οργανισμού *Daphnia magna*

Με αυτή την μέθοδο πραγματοποιείται προσδιορισμός της δραστικής συγκέντρωσης (effective concentration, EC_{50}) της χημικής ουσίας, στην οποία παρατηρείται ακινητοποίηση της *Daphnia magna*, μετά από έκθεση 24 και 48 ωρών (**Εικόνα 50**). Τα είδη *Daphnia magna* θεωρούνται αρκετά κοινοί οργανισμοί, με δυνατότητα καλλιέργειας και διατήρησης σε συνθήκες εργαστηρίου για την πραγματοποίηση τοξικολογικών μελετών. Γενικά, χρησιμοποιούνται 10 νέοι οργανισμοί, ηλικίας τουλάχιστον 24 ωρών σε φιάλες όγκου 125 mL που περιέχουν 100 mL του διαλύματος σε 5 διαφορετικές συγκεντρώσεις και ένα δείγμα αναφοράς (μόνο καθαρό νερό). Οι δοκιμασίες συνήθως γίνονται 3 φορές με επαναλαμβανόμενο πείραμα. Ο θάνατος των οργανισμών είναι σχετικά δύσκολο να παρατηρηθεί, με ελαφρό κτύπημα γυάλινης ράβδου πιστοποιείται ο θάνατος του οργανισμού εφόσον παραμείνει ακίνητος για αρκετό διάστημα. Η μέθοδος αυτή είναι χρήσιμη για δοκιμασίες τοξικότητα χημικών ουσιών για σύντομα πειράματα 48 ωρών, καθώς και μιγμάτων ή τοξικών υγρών αποβλήτων. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η συντομία της, το μικρό κόστος και η δημιουργία μικρών ποσοτήτων τοξικών αποβλήτων. Τα μειονεκτήματα είναι η μακροχρόνια καλλιέργεια και διατήρηση των οργανισμών για τις δοκιμασίες και η ευαισθησία του οργανισμού στην ποιότητα του νερού.



Εικόνα 50. Χαρακτηριστική εικόνα ώριμου ατόμου *Daphnia magna*.

Τα τελευταία χρόνια γίνεται δυνατή η πραγματοποίηση τοξικολογικών τεστ με τη χρήση καρκινοειδών του γλυκού νερού και των αλμυρών υδάτων σε μορφή βιοτεστ, ενώ σημαντική είναι η δημιουργία ανάλογων τεστ φυτοτοξικότητας (**Εικόνα 51**).



A



B

Εικόνα 51. Τυπικές μορφές των Α) *Thamnocephalus platyurus* (γλυκά νερά) και Β) *Artemia franciscana* (αλμυρά νερά), που χρησιμοποιούνται σε τεστ τοξικότητας.

9.2.3 Οικοτοξικολογικά πειράματα με φύκια (algae)

Με αυτές τις δοκιμασίες πραγματοποιείται μελέτη της αναπτυξιακής διαδικασίας των οργανισμών για διάρκεια 4 ημερών. Τα φύκη σε υδάτινα συστήματα είναι υπεύθυνα για ένα μεγάλο ποσοστό της πρωτογενούς

παραγωγής οργανικής ύλης και οι επιπτώσεις της ρύπανσης στους μονοκύτταρους αυτούς φωτοσυνθετικούς οργανισμούς μπορεί να είναι μεγάλης σημασίας και για το υδάτινο οικοσύστημα. Ο σκοπός της δοκιμασίας αυτής είναι να προσδιορίσει την τοξικότητα χημικών ουσιών σε ποικιλία φυκιών (algae) θαλάσσης και γλυκού νερού. Σε οικοτοξικολογικά πειράματα χρησιμοποιούνται κυρίως είδη γλυκού νερού (Green algae: *Selenastrum capricornutum*, *Scenedesmus subspicatus*, *Chlorella vulgaris*, Blue-green algae (bacteria): *Microcystus aeruginosa*, *Anabena flos-aquae*, *Diatom*: *Navicula pelliculosa*) και του αλμυρού νερού (Diatom: *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira pseudonana*, Flagellate: *Dunaliella tertiolecta*).

9.2.4 Δοκιμασία οξείας τοξικότητας σε υδρόβια σπονδυλωτά και μακροασπόνδυλα

Οι δοκιμασίες οξείας τοξικότητας μπορεί να πραγματοποιηθούν σε μια μεγάλη ποικιλία υδρόβιων οργανισμών (σπονδυλωτών και σπονδύλων), όπως ψάρια (π.χ. είδη *Cyprinodon variegates*, *Oncorhynchus kisutch*, *Salmo gairden*, *Salvelinus fontinalis*, *Caeassius auratus*, *Pimephales promelas*), αμφίβια (π.χ., *Rana sp.*, *Bufo sp.*) και μακροασπόνδυλα (π.χ. *Acartia clause*, *Penaeus sertiferus*, *Gammarus lacustis*, *Orconectes sp.*, *Hexagenia limbata*, *Chironomus sp.*, *Physa integra*), με την προϋπόθεση οι οργανισμοί να είναι ομοιογενείς (ηλικία και μέγεθος). Ειδικότερα για τα ασπόνδυλα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται νεαρά άτομα. Ειδικά για οργανισμούς που μεταφέρονται από το φυσικό τους περιβάλλον για την πραγματοποίηση τοξικολογικών μελετών στο εργαστήριο, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στις συνθήκες εγκλιματισμού τους στο εργαστήριο (θερμοκρασία και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά νερού, ποιότητα και ύπαρξη ρύπων στο νερό κλπ.), έτσι ώστε να αποφεύγεται η εξαγωγή εσφαλμένων αποτελεσμάτων, τα οποία μπορεί να οφείλονται σε κακή πειραματική διαδικασία έκθεσης των οργανισμών.

9.2.5 Προσδιορισμός της βιοσυσσωρευσης χημικών ουσιών

Πραγματοποιείται προσδιορισμός των φυσικοχημικών σταθερών και δεικτών, όπως ο συντελεστής κατανομής, η διαλυτότητα της ουσίας σε λιπαρές ύλες και στο νερό, η βιοαποικοδόμηση κάτω από ορισμένες συνθήκες, κ.α. Για

την μέτρηση του βαθμού βιοαποικοδόμησης της ουσίας μπορεί να πραγματοποιηθεί μέτρηση του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου, BOD (biological oxygen demand), ως έμμεσου δείκτη, καθώς και η μέτρηση του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (οξειδωση με διχρωμικό κάλιο) ως μέτρο οξειδωσης της ουσίας.

9.2.6 Αβιοτική αποικοδόμηση-υδρόλυση ως συνάρτηση του pH

Η αβιοτική αποικοδόμηση της χημικής ουσίας αποβλέπει στον προσδιορισμό του χρόνου ημιζωής της ουσίας σε άσηπτα υδατικά διαλύματα, τα οποία χαρακτηρίζονται από διαφορετικές τιμές pH (π.χ., 4, 7 και 9) και θερμοκρασίας (μεγαλύτερες ή μικρότερες των 50°C), απουσία οξυγόνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΧΡΗΣΗ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ - ΒΙΟΕΝΔΕΙΚΤΩΝ ΚΑΙ ΒΙΟΜΑΡΤΥΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Από τις αρχές τις δεκαετίας του '70 άρχισε να εφαρμόζεται η παρακολούθηση των επιπτώσεων της ρύπανσης σε ζωντανούς οργανισμούς (**Βιοπαρακολούθηση**). Η Βιοπαρακολούθηση περιλαμβάνει την ανάπτυξη τεχνικών μέτρησης της συγκέντρωσης των οργανικών και ανόργανων ρυπογόνων ουσιών σε ιστούς ζωντανών οργανισμών, αλλά και τεχνικών με τις οποίες καταγράφονται και εκτιμώνται οι βιολογικές επιπτώσεις στους οργανισμούς. Η παθητική ή ενεργητική Βιοπαρακολούθηση, με την ανάλυση ιστών από κατάλληλους οργανισμούς, για τον εντοπισμό διαφόρων ρύπων, η μελέτη των αλλαγών της φυσιολογίας ή/και της συμπεριφοράς των οργανισμών με τη χρήση αυτόματων συστημάτων, η χρήση βιολογικών προσδιορισμών στο εργαστήριο ή στο πεδίο για την εκτίμηση της τοξικότητας του νερού, η χρησιμοποίηση ανοσολογικών μεθόδων για την μέτρηση και εκτίμηση χημικών στοιχείων, καθώς και η χρησιμοποίηση δεικτών ποικιλότητας για την εκτίμηση του βαθμού αλλαγής των περιβαλλοντικών συνθηκών, αποτελούν εργαλεία που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια Βιοπαρακολούθησης της ρύπανσης.

Κύριοι στόχοι των προγραμμάτων Βιοπαρακολούθησης είναι (α) ο έλεγχος της ρύπανσης, μέσω των επιπτώσεων των ρυπογόνων ουσιών στη φυσιολογική ομοιόσταση των οργανισμών, (β) η εκτίμηση των πηγών της ρύπανσης, (γ) η ανάπτυξη νέων τεχνικών για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας των οικοσυστημάτων, στα πλαίσια προγραμμάτων εκτίμησης του οικολογικού κινδύνου, (δ) η έγκαιρη και έγκυρη ενημέρωση των Δημόσιων Αρχών για τη λήψη μέτρων, και (ε) η εφαρμογή κατάλληλων προγραμμάτων καλλιεργειών σε υδάτινα περιβάλλοντα (π.χ. ιχθυοκαλλιέργειες και μυδοκαλλιέργειες) με κύριο στόχο την εξασφάλιση της ποιότητας των εμπορεύσιμων ειδών και κατ' επέκταση της Δημόσιας Υγείας.

10.1 Οργανισμοί-Βιοενδείκτες

Οι Βιοενδείκτες είναι οργανισμοί που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της οικολογικής επιβάρυνσης σε ρυπογόνες ουσίες. Πρόκειται για είδη ή ομάδες ειδών, των οποίων η δομή, η λειτουργία και ο

πληθυσμός μπορεί να διαταραχθούν λόγω της ύπαρξης περιβαλλοντικού stress, το οποίο μπορεί να προκληθεί από αλλαγές του περιβάλλοντος που σχετίζονται με τη ρύπανση. Ως Βιοενδείκτες έχουν χρησιμοποιηθεί και χρησιμοποιούνται διάφοροι οργανισμοί που συνοπτικά αναφέρονται παρακάτω.

10.1.1 Μακρόφυτα & Βρύα - Λειχήνες

Τα μακρόφυτα είναι υδρόβια φυτά που χρησιμοποιούνται ως βιοενδείκτες της υδάτινης ρύπανσης. Αποτελούν βιολογικά ποιοτικά Στοιχεία (Biological Quality Elements), για την αξιολόγηση της Οικολογικής Ποιότητας της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα WFD 2000/60/ΕΕ [ΟΠΥ, Water Framework Directive], λόγω της ευαισθησίας τους στην ύπαρξη οργανικών και ανόργανων ρυπογόνων ουσιών που εισέρχονται στη υδάτινο μέσο με τη διοχέτευση απορρυπαντικών και εντομοκτόνων.

Τα βρύα είναι μικρά φυτά με ριζοειδή (δεν φέρουν ριζικό σύστημα) και απουσία συστήματος μεταφοράς νερού και θρεπτικών συστατικών. Απαντούν σε βράχους, στο έδαφος και σε κορμούς δέντρων και θεωρούνται κατάλληλοι δείκτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης, λόγω της απουσίας προστατευτικού μηχανισμού έναντι των ατμοσφαιρικών ρυπογόνων ουσιών.

Οι λειχήνες αποτελούν μια κατηγορία συμβιωτικών οργανισμών και δημιουργούνται από τη σύνδεση πράσινων μικροφυκών ή κυανοβακτηρίων και νηματοειδών μυκήτων ή μανιταριών. Βρίσκονται προσκολλημένες σε βράχους και κορμούς δένδρων, συνήθως σε δάση και χρησιμοποιούνται ως οργανισμοί Βιοενδείκτες της κατάστασης των δασών. Αυτοί οι οργανισμοί αποκρίνονται σε περιβαλλοντικές αλλαγές, όπως αλλαγές του ατμοσφαιρικού αέρα, του κλίματος και της δομής της δασικής βλάστησης και η εξαφάνισή τους αποτελεί ένδειξη περιβαλλοντικού stress. Επιπρόσθετα, η σύνθεση και η συνολική βιομάζα των φυκών σε υδάτινα οικοσυστήματα αποτελεί ένα σημαντικό δείκτη οργανικής ρύπανσης.

10.1.2 Μικροοργανισμοί

Οι μικροοργανισμοί βρίσκονται παντού στη φύση και μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως Βιοενδείκτες σε υδάτινα και χερσαία οικοσυστήματα. Το γεγονός ότι βρίσκονται σε τεράστιους αριθμούς και η συλλογή τους μπορεί να

γίνει εύκολα τους καθιστά ένα κατάλληλο εργαλείο για την εκτίμηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης με οργανικούς και ανόργανους ρύπους. Η ποιοτική και ποσοτική μέτρηση των μικροβιακών στελεχών, μπορεί να δώσει μια ικανοποιητική εικόνα της ποιότητας των υδάτων, ενώ η ύπαρξη ορισμένων παθογόνων μικροβίων (π.χ. στελέχη *Pseudomonas sp.* σε ύδατα) αποτελεί σαφή ένδειξη επιβάρυνσης των υδάτων με ρύπους ανθρωπογενούς προέλευσης.

10.1.3 Μακροασπόνδυλα

Τα μακροασπόνδυλα χρησιμοποιούνται ευρύτατα ως Βιοενδείκτες της οικολογικής ποιότητας υδάτινων οικοσυστημάτων γλυκού νερού (ποτάμια και λίμνες). Βρίσκονται σχεδόν παντού και είναι εύκολο να συλλεχθούν, να μελετηθούν και να ταξινομηθούν. Η θέσπιση ειδικών πρωτοκόλλων τα οποία βασίζονται τόσο στην ταξινόμηση των ειδών που βρίσκονται στην εκάστοτε περιοχή μελέτης, όσο και της ευαισθησίας που παρουσιάζουν ορισμένα είδη στην ύπαρξη ρυπογόνων ουσιών, αποτελούν χρήσιμα εργαλεία στην προσπάθεια εκτίμησης της ποιότητας των γλυκών νερών.

10.1.4 Ιχθύες

Η γνώση της οικολογίας των ψαριών (συμπεριφορά, αναπαραγωγή, διατροφή, φυσιολογία) ειδικότερα των γλυκών νερών, τα καθιστούν Βιοενδείκτες του υδάτινου περιβάλλοντος. Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσονται στρατηγικές παρακολούθησης των επιπτώσεων της ρύπανσης στα ψάρια, σε μια προσπάθεια να θεσπιστούν κανόνες και πλαίσια για τη σωστή εκμετάλλευση και διαχείριση των υδάτινων οικοσυστημάτων. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης διαφορετικών ειδών ιχθύων ως οργανισμοί Βιοενδείκτες, σχετίζονται (α) με την παγκόσμια εξάπλωσή τους στο υδάτινο μέσο, (β) την εύκολη εξέταση και επιστροφή τους στο περιβάλλον, (γ) τις καταγεγραμμένες περιβαλλοντικές αποκρίσεις πολλών διαφορετικών ειδών, (δ) τη μεγάλης διάρκειας ζωής τους που επιτρέπει τη μελέτη μακροπρόθεσμων αποκρίσεων σε καταστάσεις περιβαλλοντικής καταπόνησης, (ε) το μεγάλο οικονομικό και εμπορικό ενδιαφέρον τους (υψηλή διατροφική αξία, ανάπτυξη ιχθυοκαλλιεργειών, κλπ.). Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν και μειονεκτήματα τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την ορθή εκτίμηση της κατάστασης του περιβάλλοντος και της επιβάρυνσής του με διάφορες ρυπογόνες ουσίες, τα

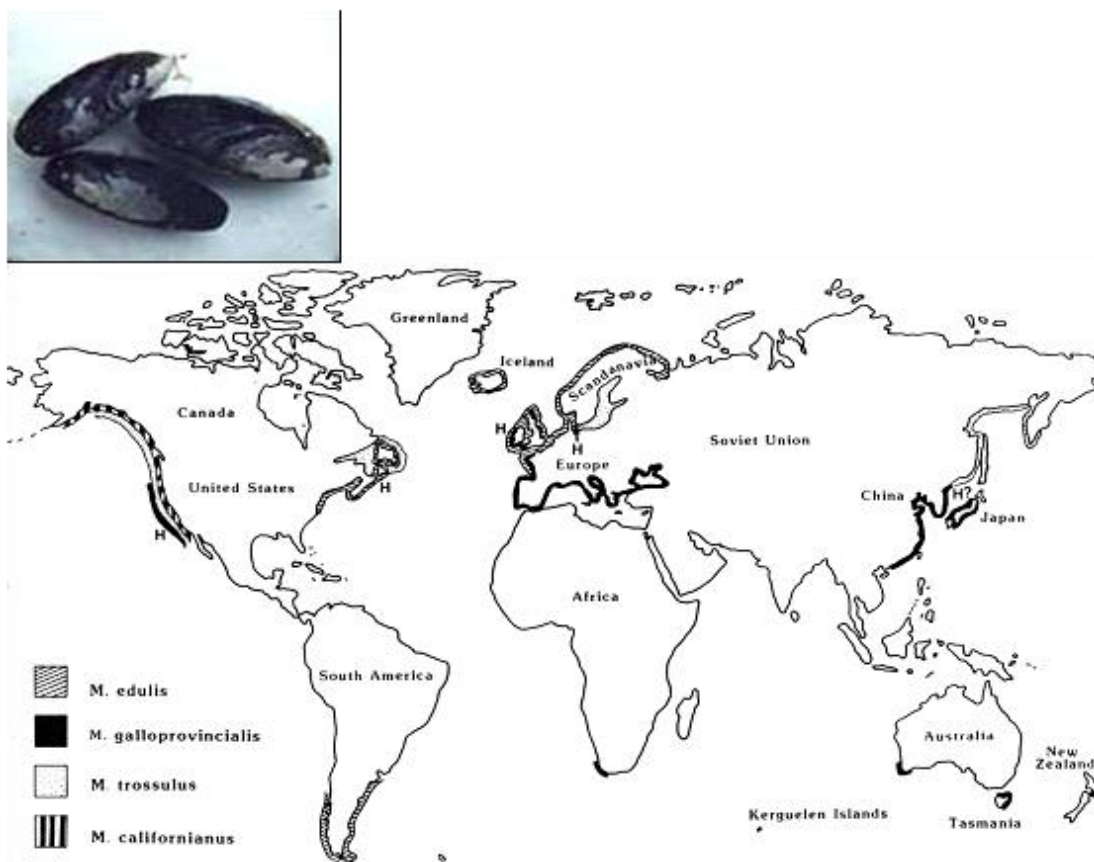
οποία σχετίζονται (α) με τη χρήση ειδικών εργαλείων δειγματοληψίας των ιχθύων (ανάλογα με το είδος, το μέγεθος και το ενδιαίτημα διαβίωσης), (β) το δειγματοληπτικό σφάλμα που μπορεί να προκύψει λόγω της περιοδικής ή εποχικής μετανάστευσης/μετακίνησης των ψαριών, (γ) της καταπόνησης που υφίστανται ορισμένα είδη ιχθύων κατά τη διάρκεια της σύλληψής τους, καθώς και (δ) της ευαισθησίας που παρουσιάζουν ορισμένα είδη ιχθύων απέναντι σε ρυπογόνους παράγοντες, γεγονός που τα οδηγεί σε καθαρότερες περιοχές, με αποτέλεσμα να μην αποτελούν οργανισμούς-δείκτες της επιβαρυσμένης περιοχής.

10.1.5 Δίθυρα Μαλάκια και σημασία τους σε προγράμματα Βιοπαρακολούθησης

Θαλάσσια σπονδυλωτά (Ιχθύες), Καρκινοειδή και Μαλάκια (Γαστερόποδα) χρησιμοποιούνται κυρίως ως Βιοενδείκτες παρακολούθησης της θαλάσσιας ρύπανσης. Τα ψάρια, λόγω του κόστους και της ευαισθησίας τους σε δευτερογενείς παράγοντες δεν χρησιμοποιούνται σε κλίμακα ανάλογη με αυτή των Μαλακίων, όπως τα στρείδια, οι πεταλίδες και ειδικότερα τα μύδια. Οι οργανισμοί της τελευταίας κατηγορίας βρίσκονται προσκολλημένοι σε στερεά υποστρώματα, είναι άφθονοι και ευδοκούν σε όλα τα μήκη και πλάτη της γης. Το γεγονός ότι είναι φθηνά και μπορούν να μεταφερθούν και να διατηρηθούν εύκολα στο εργαστήριο τα καθιστούν κατάλληλα για χρησιμοποίησή τους σε προγράμματα Βιοπαρακολούθησης θαλάσσιων οικοσυστημάτων.

Τα Δίθυρα Μαλάκια του γένους *Mytilus* αποτελούν μια ομάδα ασπόνδυλων που είναι ευρέως εξαπλωμένα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ευρεία κλίμακα ως Βιοενδείκτες της θαλάσσιας ρύπανσης (**Εικόνα 52**). Στη Μεσόγειο ευδοκμεί το είδος *Mytilus galloprovincialis*, το οποίο αποτελεί αντικείμενο μελέτης τόσο στη φύση όσο και στο εργαστήριο. Η γνώση της φυσιολογίας και της συμπεριφοράς του, σε συνδυασμό με την μελέτη σε κυτταρογενετικό και βιοχημικό επίπεδο δίνει τη δυνατότητα στους ερευνητές να προχωρήσουν σε διαπιστώσεις που σχετίζονται με την κατάσταση του θαλάσσιου οικοσυστήματος ή τις επιπτώσεις διαφόρων ρυπογόνων ουσιών. Αυτό επιτυγχάνεται με την μελέτη διαφόρων ιστοπαθολογικών και βιοχημικών

παραμέτρων του οργανισμού που μεταβάλλονται κάτω από συνθήκες πίεσης/καταπόνησης (stress) που αντιμετωπίζει ο οργανισμός στο περιβάλλον.



Εικόνα 52. Γεωγραφική κατανομή των ειδών του γένους *Mytilus*, σύμφωνα με μορφολογικά ή/και γενετικά δεδομένα. Το είδος *Mytilus galloprovincialis* εντοπίζεται κατά μήκος των ακτών της Μεσογείου, καθώς και σε περιοχές με ίδιο γεωγραφικό μήκος (Δυτικές περιοχές των ΗΠΑ και Ανατολικές περιοχές της Ασιατικής ηπείρου).

10.1.5.1 Βασικά χαρακτηριστικά των Δίθυρων Μαλακίων που τα καθιστούν κατάλληλους οργανισμούς Βιο-ενδείκτες

Τα χαρακτηριστικά των Δίθυρων Μαλακίων και ειδικότερα των μυδιών που τα καθιστούν κατάλληλους Βιοενδείκτες συνοψίζονται στα παρακάτω σημεία:

- Τα μύδια αποτελούν **κυρίαρχα και ευρέως εξαπλωμένα είδη** σε όλο τον κόσμο.
- Λόγω της προσκόλλησης και παραμονή τους σε συγκεκριμένα σημεία, αποτελούν **αντιπροσωπευτικούς οργανισμούς**, πάνω στους οποίους έχουν αντίκτυπο οι φυσικοχημικές και περιβαλλοντικές παράμετροι της εκάστοτε περιοχής.

- Παρουσιάζουν **μεγάλη αντοχή** σε πολλούς περιβαλλοντικούς ρύπους.
- Η ικανότητά τους να φιλτράρουν τεράστιες ποσότητες νερού τα καθιστούν **αποδέκτες μεγάλων ποσοτήτων ρυπογόνων ουσιών** που μπορούν να συσσωρευθούν στους διάφορους ιστούς. Ο προσδιορισμός τους μπορεί να δώσει μια σαφή εικόνα της ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή.
- Συγκριτικά με τους ιχθύες και τα καρκινοειδή, τα Δίθυρα Μαλάκια έχουν **χαμηλό επίπεδο ενζυμικής δραστηριότητας των συστημάτων που μπορούν να μεταβολίζουν ρυπογόνες ουσίες** (π.χ., αρωματικοί υδρογονάνθρακες, PCBs). Οι συγκεντρώσεις των ρυπογόνων ουσιών στους ιστούς αντιπροσωπεύουν σε μεγαλύτερο βαθμό την ρύπανση του περιβάλλοντος.
- Η μέτρηση των ανόργανων και οργανικών ουσιών στους ιστούς των Δίθυρων Μαλακίων παρέχει πληροφορίες σχετικά με την βιολογική διαθεσιμότητά τους, δεδομένα που δεν είναι πάντα προφανείς, όταν οι μετρήσεις γίνονται στο νερό και ειδικότερα στα αιωρούμενα σωματίδια ή στα ιζήματα.
- Οι πληθυσμοί των μυδιών είναι σταθεροί με αποτέλεσμα να υπάρχει η **δυνατότητα επαναλαμβανόμενων δειγματοληψιών** και **μακροχρόνιας παρακολούθησης** του υδάτινου περιβάλλοντος.
- Υπάρχει η **δυνατότητα μεταφοράς και διατήρησης πληθυσμών σε περιοχές ελέγχου την υδάτινης ρύπανσης**.
- Αποτελούν **διατροφική πηγή του ανθρώπου**, γεγονός που καθιστά επιτακτική την ανάγκη ελέγχου τόσο του υδάτινου χώρου καλλιέργειας όσο και της μακροχρόνιας κατάστασης της περιοχής καλλιέργειας.
- Τα μύδια συνιστούν εδώδιμα είδη παγκοσμίως και υπάρχουν στοιχεία χημικής ή μικροβιακής ρύπανσης από τις Δημόσιες υπηρεσίες που λαμβάνονται υπόψη και για θέματα Δημόσιας υγείας.

10.2 Βιολογικοί παράμετροι και χρησιμοποίησή τους ως δείκτες stress (Βιομάρτυρες)

Τα τελευταία χρόνια σημαντικό προβάδισμα στην προσπάθεια Βιοπαρακολούθησης έχει αποκτήσει η χρήση βιολογικών παραμέτρων που χαρακτηρίζονται ως «δείκτες καταπόνησης/stress» (stress indices) ή

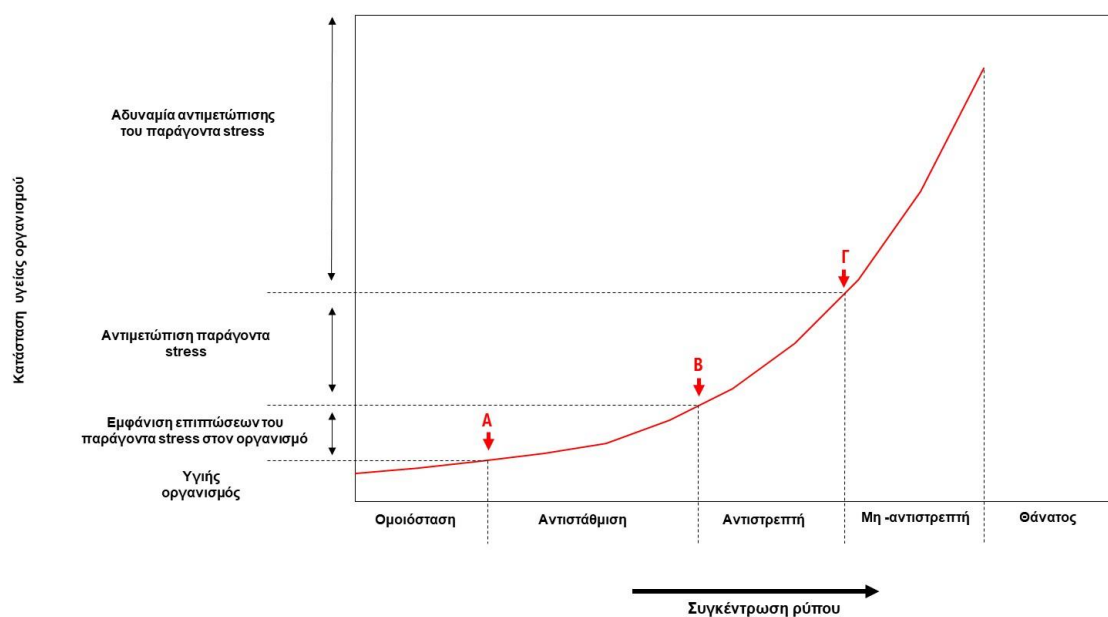
Βιομάρτυρες (biomarkers). Η παρατήρηση και μέτρηση κάθε μεταβολής που γίνεται σε μοριακό, βιοχημικό και κυτταρικό επίπεδο, καθώς και οι μεταβολές σε επίπεδο φυσιολογίας και συμπεριφοράς ενός οργανισμού, ο οποίος έχει εκτεθεί ή εκτίθεται σε τουλάχιστον ένα ρυπογόνο παράγοντα, μπορεί να χαρακτηριστεί ως δείκτης stress.

Η χρήση δεικτών stress θεωρείται σημαντική για την εκτίμηση της περιβαλλοντικής κατάστασης του περιβάλλοντος. Επιτρέπει την ανίχνευση πρόωρων περιβαλλοντικών αλλαγών που σχετίζονται με την εμφάνιση **μακροχρόνιων περιβαλλοντικών διαταραχών**. Τα Δίθυρα Μαλάκια του γένους *Mytilus spp*, καθώς και άλλοι οργανισμοί όπως οι ιχθύες (π.χ. *Mullus sp.*, *Platichthys flesus L.*, *Zoarcetes viviparus*, *Perca sp.*) χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε εργαστηριακές μελέτες και σε μελέτες πεδίου, ως οργανισμοί-Βιοενδείκτες την ύπαρξης οργανικών και ανόργανων συστατικών στο υδάτινο περιβάλλον.

Σε αντίθεση με την Χημική ανάλυση και παρακολούθηση των υδάτων, η οποία προσδιορίζει κατά κύριο λόγο τα επίπεδα των οργανικών και ανόργανων στοιχείων στο νερό, οι μέθοδοι της Βιοπαρακολούθησης στηρίζονται όχι μόνο στην ύπαρξη, αλλά και την απόκριση των οργανισμών απέναντι στην ύπαρξη κάποιας ρυπογόνου ουσίας, σε μοριακό, κυτταρικό, ιστολογικό και οργανισμικό επίπεδο. Είναι προφανές ότι η χρησιμοποίηση δεικτών stress δεν αντικαθιστά τη χημική παρακολούθηση. Αντίθετα τα δεδομένα της Βιοπαρακολούθησης συνεισφέρουν στη μελέτη των επιπτώσεων των διαφόρων ρυπογόνων ουσιών τόσο σε επίπεδο ατόμου, όσο και σε πληθυσμιακό επίπεδο, ακόμα και στην περίπτωση που οι ρυπογόνες ουσίες βρίσκονται σε μικρές ποσότητες.

Η χρήση δεικτών stress προϋποθέτει την ύπαρξη ορισμένων χαρακτηριστικών, όπως (α) η επαναληψιμότητα, (β) η ευαισθησία και η εξειδίκευσή τους, (γ) ο σύντομος χρόνος απόκρισης, (δ) η αναστρεψιμότητα, (ε) το μεγάλο εύρος των ειδών στα οποία εμφανίζονται, (στ) η ευκολία εφαρμογής και το χαμηλό κόστος χρησιμοποίησής τους, σε συνδυασμό με έγκυρα αποτελέσματα. Με άλλα λόγια, οι δείκτες stress χρησιμοποιούνται ως εργαλεία έγκυρης προειδοποίησης και πρόβλεψης των επιπτώσεων της ρύπανσης.

Οι δείκτες stress διακρίνονται σε **δείκτες έκθεσης** και **δείκτες επίδρασης**. Οι δείκτες που ανήκουν στην πρώτη κατηγορία υποδεικνύουν την έκθεση του οργανισμού σε κάποιο παράγοντα καταπόνησης, π.χ. μία χημική ουσία, ενώ στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν δείκτες που υποδεικνύουν τις επιδράσεις του παράγοντα καταπόνησης στον οργανισμό. Οι παραπάνω δείκτες μπορεί να χρησιμοποιηθούν είτε μεμονωμένα είναι ταυτόχρονα, προκειμένου να απεικονίσουν τόσο την έκθεση όσο και τις επιδράσεις του παράγοντα stress σε διάφορα επίπεδα οργάνωσης του οργανισμού, απεικονίζοντας μεταβολές της φυσιολογίας και της ομοιόστασής του. Στην Εικόνα 53 δίνεται ένα παράδειγμα στο οποίο απεικονίζεται η χρήση δεικτών έκθεσης και επίδρασης έναντι της αυξανόμενης συγκέντρωσης ενός παράγοντα καταπόνησης, σε συνάρτηση με την εμφάνιση των επιπτώσεων του στον οργανισμό, λόγω αδυναμίας αντιμετώπισής του.



Εικόνα 53. Χρησιμότητα προσδιορισμού δεικτών έκθεσης και επίδρασης έναντι της αυξανόμενης συγκέντρωσης ενός παράγοντα καταπόνησης, σε συνάρτηση με την εμφάνιση των επιπτώσεων του στον οργανισμό, λόγω αδυναμίας αντιμετώπισής του.

Σύμφωνα με την Εικόνα 53, η αύξηση του ρύπου μέχρι το σημείο A ισοδυναμεί με την εύρυθμη λειτουργία του οργανισμού, λόγω αποτελεσματικής ανοχής/αντιμετώπισής του (χρησιμοποίηση δεικτών έκθεσης). Περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου μέχρι το σημείο B, ισοδυναμεί με την

εμφάνιση των επιπτώσεών του (χρησιμοποίηση δεικτών έκθεσης και επίδρασης), παρά το γεγονός ότι ο οργανισμός αντιμετωπίζει/αντισταθμίζει ικανοποιητικά των ρύπο μέσω ενεργοποίησης μηχανισμών αποτοξικοποίησης και μεταβολισμού του. Η παραπάνω ενεργοποίηση των μηχανισμών αντιμετώπισης των επιπτώσεων του ρύπου μειώνονται σημαντικά (μέχρι το σημείο Γ), οδηγώντας σε μη-αντιστρεπτές διαταραχές, καθώς αυξάνει η συγκέντρωση του ρύπου, οδηγώντας εν τέλει στο θάνατο του οργανισμού.

Ανάλογα με την εξειδίκευσή τους, οι δείκτες stress μπορεί να διακριθούν περαιτέρω σε **γενικού stress** και σε **ειδικού stress**. Οι δείκτες γενικού stress συνιστούν αποκρίσεις σε μια ομάδα ρυπογόνων ουσιών, χωρίς να προσδιορίζεται ακριβώς η φύση τους, σε αντίθεση με τους δείκτες ειδικού stress, όπου ο προσδιορισμός τους σχετίζεται με έκθεση των οργανισμών σε συγκεκριμένες ομάδες ρυπογόνων ουσιών. Στην πρώτη κατηγορία ανήκει η τεχνική προσδιορισμού «της σταθερότητας της λυσοσωμικής μεμβράνης», (Lysosomal membrane stability, LMS) των πεπτικών λυσοσωμάτων ή η συχνότητα των μικροπυρήνων (Micronuclei frequency assay method). Στην κατηγορία των δεικτών ειδικού stress ανήκει η τεχνική προσδιορισμού των μεταλλοθειονινών (MTs), μετά από έκθεση σε βαρέα μέταλλα και η εκτίμηση της δραστηριότητας της ακετυλχολινεστεράσης (AChE), μετά από επίδραση οργανικών ρύπων. Η ταυτόχρονη μελέτη δεικτών γενικού και ειδικού stress, σε συνδυασμό με τη γνώση του εκάστοτε οργανισμού και του οικοσυστήματός του, αλλά και η συσχέτιση των διαφόρων τεχνικών μεταξύ τους, δίνουν μια ικανοποιητική εικόνα των επιπτώσεων των διαφόρων ρυπογόνων ουσιών στους οργανισμούς, ενώ ταυτόχρονα προσφέρουν και μια ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης του περιβάλλοντος. Επίσης σημαντική είναι η προσπάθεια έρευνας και καθιέρωσης νέων δεικτών της ρύπανσης με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων στοιχείων για την έγκυρη διάγνωση των επιπτώσεων των διαφόρων ρυπογόνων ουσιών τόσο σε οργανισμικό όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο. Στον **Πίνακα 27** που ακολουθεί φαίνονται διάφοροι δείκτες stress που κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το επίπεδο μελέτης και την επίδραση των ρυπογόνων ουσιών.

Πίνακας 27. Κατηγοριοποίηση Βιομαρτύρων που χρησιμοποιούνται σε μελέτες παρακολούθησης των επιπτώσεων διαφόρων ρυπογόνων ουσιών, σε ιστούς των δίθυρων μαλακίων (πηγή: Dailianis, 2011).

Λίστα δεικτών stress	Δράση περιβαλλοντικών ρυπογόνων ουσιών, ανθρωπογενούς προέλευσης.
Δείκτες γενικούς stress (General stress- biomarkers)	
Σταθερότητα λυσοσωμικών μεμβρανών (Lysosomal membrane stability/LMS)	Μεταλλικά ιόντα, PAHs, PCBs, νανοσωματίδια κ.α.
Λιποφουσκίνες στα λυσοσώματα (Lysosomal lipofuscin content)	
Ουδέτερα λιπίδια στα λυσοσώματα (Lysosomal neutral lipid)	Προ-οξειδωτές (βαρέα μέταλλα, PAHs, PCBs κ.α.)
Εξάπλωση υπεροξειδισωμάτων (Peroxisomes proliferation)	
Ολική αντιοξειδωτική ικανότητα (Total oxidant scavenging capacity)	Προ-οξειδωτές (βαρέα μέταλλα, PAHs, PCBs κ.α.)
Λιπδική υπεροξείδωση (Lipid peroxidation content)	
Δείκτες ειδικού stress (Specific stress-biomarkers)	
Δραστικότητα ακετυλ-χολινεστεράσης (AChE activity).	Οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα, παρασιτοκτόνα και οργανικοί ρύποι, βαρέα μέταλλα.
Συγκέντρωση Μεταλλοθειονινών (MT content)	Κυρίως βαρέα μέταλλα (Cu, Zn, Hg, Cd), καθώς και προ-οξειδωτές (π.χ. οργανικά αρωματικά συστατικά).
Δείκτες γενοτοξικότητας (Genotoxicity-biomarkers)	
Εμφάνιση πυρηνικών ανωμαλιών (Micronuclei frequency assay)	Συστατικά με γενοτοξική και καρκινογόνο δράση (π.χ. οργανοχλωριομένες ουσίες, PAHs κ.α.).
Βλάβες του γενετικού υλικού (DNA damage)	

10.2.1 Χρησιμοποίηση βιολογικών παραμέτρων ως Βιομάρτυρες

Στα πλαίσια Βιοπαρακολούθησης της θαλάσσιας ρύπανσης χρησιμοποιούνται διάφοροι βιοχημικοί παράμετροι του οργανισμού-Βιοενδείκτη, για την εκτίμηση της «δυναμικής» των διάφορων ρυπογόνων ουσιών στο περιβάλλον, μέσω των επιπέδων των παραμέτρων-δεικτών stress στους εκτιθέμενους οργανισμούς.

10.2.1.1 Ενζυμική δραστικότητα της ακετυλ-χολινεστεράσης (AChE)

Μεταξύ των βιοχημικών παραμέτρων που μεταβάλλονται σημαντικά, υπό συνθήκες stress είναι η δραστικότητα ορισμένων ενζύμων, όπως η δραστικότητα της ακετυλχολινεστεράσης (AChE).

Η AChE αποτελεί μία ομάδα εστερασών που καταλύει την υδρόλυση της ακετυλχολίνης στις χολινεργικές συνάψεις, σημαντικών για την μεταβίβαση των νευρικών ώσεων. Έχει αναφερθεί σε όλους τους οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων και των μαλακίων. Συγκεκριμένα, στα σπονδυλωτά έχουν αναφερθεί δυο ισομορφές χολινεστερασών, η ακετυλ-χολινεστεράση (AChE) και η βουτυρυλ-χολινεστεράση (BChE). Στα έντομα εντοπίστηκε ένα γονίδιο που εκφράζει για τα συγκεκριμένα ένζυμα, 3 γονίδια στους Νηματώδεις, ενώ αναφέρονται ασυμμετρικοί τύποι AChE στα Κεφαλοχορδωτά. Στο στρείδι *Cassostrea gigas* απομονώθηκαν πρόσφατα δυο κατηγορίες χολινεστερασών, οι χολινεστεράσες τύπου A (200 kDa), οι οποίες είναι ευαίσθητες σε οργανοφωσφορικές ουσίες και οι χολινεστεράσες τύπου B (330 kDa), οι οποίες εμφανίζουν μεγάλη ανθεκτικότητα σε οργανοφωσφορικά παράγωγα.

Η αναστολή της δραστηριότητας της AChE έχει περιγραφεί ως μια μέθοδος με την οποία μπορούμε να διαπιστώσουμε την ύπαρξη διαφόρων οργανικών στοιχείων στο νερό, όπως οργανοφωσφορικά και οργανικά άλατα, παράγωγα του πετρελαίου και εντομοκτόνα. Τελευταία δεδομένα αποδεικνύουν ότι βαρέα μέταλλα, όπως το κάδμιο μπορεί να επηρεάσει έμμεσα τη δραστηριότητα του ενζύμου σε ιστούς Ιχθύων και Δίθυρων Μαλακίων. Ο προσδιορισμός της AChE σε θαλάσσια σπονδυλωτά, π.χ., ψάρια, έχει προταθεί ως δείκτης νευροτοξικότητας, στην προσπάθεια ανίχνευσης της θαλάσσιας ρύπανσης από οργανοφωσφορικά και οργανικά μικροβιοκτόνα. Λόγω της μικρής διάρκειας ζωής των οργανοφωσφορικών προϊόντων στο θαλάσσιο περιβάλλον, ο προσδιορισμός των επιπτώσεών τους στους οργανισμούς, μέσω της εκτίμησης της αναστολής των χολινεστερασών (ChEs), αποτελεί σημαντικό εργαλείο στην προσπάθεια Βιοπαρακολούθησης του περιβάλλοντος.

Ο χαρακτηρισμός της AChE από διάφορα θαλάσσια είδη έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές. Πρόσφατα το Διεθνές Εργαστήριο πάνω στις Βιολογικές Επιπτώσεις (International Workshop on Biological Effects) έδειξε την αποτελεσματικότητα της χρησιμοποίησης μιας τέτοιας μεθόδου στο πεδίο.

Εκτός από την AChE υπάρχουν και άλλες εστεράσες που μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες stress της θαλάσσιας ρύπανσης, όπως οι βουτυρυλ-χολινεστεράσες (BChE) και οι καρβοξυλ-εστεράσες (CbE). Η AChE αφθονεί

στα βράγχια, ενώ η BChE και η CbE παρουσιάζουν μεγαλύτερη αφθονία στον πεπτικό αδένα του μυδιού *Mytilus galloprovincialis*.

10.2.1.2 Μεταλλοθειονίνες (MTs)

Οι μεταλλοθειονίνες (MTs) είναι πρωτεΐνες χαμηλού μοριακού βάρους (6-7 kDa), πλούσιες σε κυστεΐνη. Βρίσκονται κυρίως στο κυτταρόπλασμα των κυττάρων και έχουν εντοπιστεί σχεδόν σε όλους τους οργανισμούς. Οι MTs έχουν βρεθεί σε ιστούς θαλάσσιων ασπονδύλων, όπως στον πεπτικό αδένα, τα βράγχια και τον μανδύα των μυδιών. Η ανίχνευση 9 ισομορφών, σε μονομερή και διμερή μορφή, καθώς και η ακολουθία των αμινοξέων τους μαρτυρούν τη σημασία των MTs στα μύδια. Οι μονομερείς MTs αποτελούνται από 72 αμινοξέα που περιέχουν 21 κυστεΐνες, ενώ οι διμερείς MTs αποτελούνται από 71 αμινοξέα, με μετατόπιση της 6^{ης} κυστεΐνης από τη θέση 23 στη θέση 22 και μια επιπρόσθετη κυστεΐνη στην θέση 55.

Η χρησιμοποίηση των MTs ως δείκτης έκθεσης σε βαρέα μέταλλα τόσο με τη χρήση μυδιών, όσο και με τη χρησιμοποίηση και άλλων θαλάσσιων οργανισμών βρίσκει μεγάλη αποδοχή και χρησιμοποιείται σε πολλά ερευνητικά προγράμματα σε όλο τον κόσμο. Οι ιδιότητες και η φύση αυτών των πρωτεϊνών υποδηλώνουν διττή λειτουργία τόσο σε επίπεδο διατήρησης της ομοιόστασης όσο και σε επίπεδο αποτοξίνωσης του οργανισμού από τις βλαβερές επιπτώσεις των βαρέων μετάλλων.

Είναι γενικά αποδεκτό πως η κύρια λειτουργία των MTs είναι ο μεταβολισμός των απαραίτητων μετάλλων του οργανισμού, Zn και Cu, ενώ παίρνουν μέρος στην αποτοξίνωση των κυττάρων τόσο από τα ενδογενή μέταλλα, όσο και από μέταλλα τα οποία θεωρούνται επιβλαβή για τον οργανισμό, όπως το κάδμιο (Cd), ο μόλυβδος (Pb), ο υδράργυρος (Hg) κ.α. Επίσης μπορούν να δεσμευτούν με ελεύθερες ρίζες που δημιουργούνται στο κύτταρο, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να εμπλέκονται και σε αποκρίσεις γενικού στρες.

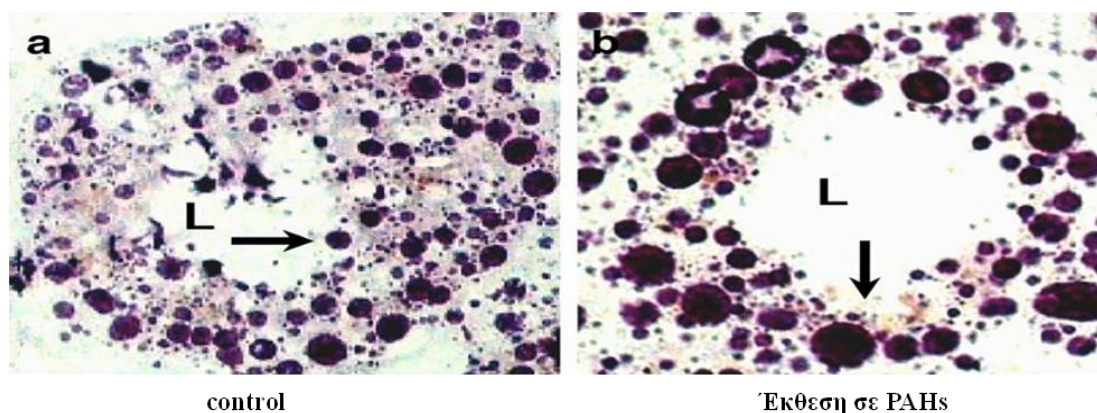
Οι MTs μεταβολίζονται στα λυσοσώματα των κυττάρων και υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων συσσωρεύονται σε τριτοταγή λυσοσώματα (tertiary lysosomes), όπου και ρυθμίζονται τόσο ο χρόνος ημιζωής τους, όσο και ο λόγος μετάλλου/MT στους ιστούς. Τα μέταλλα που επάγουν τη σύνθεση των MTs μεταφέρονται με τη μορφή συμπλόκου μετάλλου/MT στα λυσοσώματα με

διαφορετικούς ρυθμούς, κάτι που μπορεί να οφείλεται στο διαφορετικό ρυθμό πρωτεόλυσης των μεταλλοπρωτεϊνών, την υπεροξείδωση σε αδιάλυτα κυστίδια λιποφουσκίνης και την αναδιοργάνωση των λυσοσωμάτων.

Η επαγωγή των MTs σε οργανισμούς Βιοενδείκτες, όπως τα μύδια, από μέταλλα, όπως το Cd, Cu, Hg έχουν αναφερθεί από πολλές ερευνητικές ομάδες. Τα τελευταία χρόνια ο προσδιορισμός των MT σε ιστούς μαλακίων και ειδικότερα του είδους *Mytilus* χρησιμοποιείται ως δείκτης της θαλάσσιας έκθεσης των οργανισμών σε βαρέα μέταλλα. Η χρήση κατάλληλων τεχνικών ανίχνευσης των επιπέδων των MT σε διάφορους ιστούς, καθώς και η ανάλυση και συσχέτιση των αποτελεσμάτων με άλλους δείκτες stress μπορούν να δώσουν μια ικανοποιητική εικόνα του περιβάλλοντος και των ρυπογόνων ουσιών στους οποίους εκτίθενται οι οργανισμοί.

10.2.1.3 Λυσοσώματα (αποσταθεροποίηση λυσοσωμικής μεμβράνης)

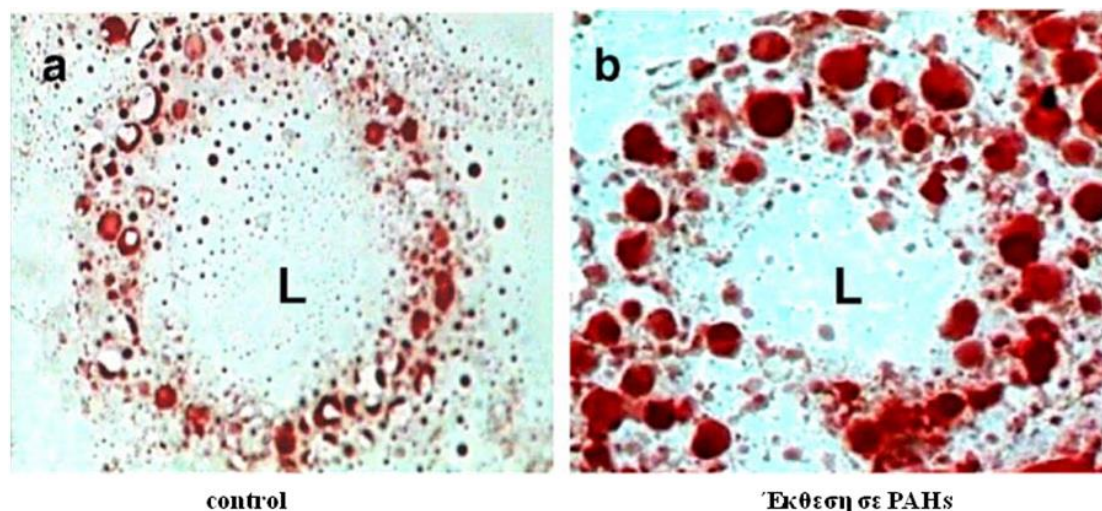
Τα λυσοσώματα είναι υποκυτταρικά οργανίδια τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στην παρουσία εξωγενών ρυπογόνων ουσιών. Η επίδραση των τελευταίων συντελεί στην αποσταθεροποίηση των λυσοσωμικών μεμβρανών, οι οποίες γίνονται διαπερατές από διάφορα υποστρώματα, ενώ έντονη είναι η ενεργοποίηση λυσοσωμικών υδρολασών, οι οποίες με τη διαταραχή της σταθερότητας των λυσοσωμικών μεμβρανών απελευθερώνονται στο κυτταρόπλασμα. Η μελέτη της διαπερατότητας των λυσοσωμικών μεμβρανών χρησιμοποιείται ευρύτατα σε προγράμματα εκτίμησης της θαλάσσιας ρύπανσης με χρήση Δίθυρων Μαλακίων ως οργανισμό Βιοενδείκτη (Εικόνα 54).



Εικόνα 54. Απεικόνιση λυσοσωμάτων στο πεπτικό αδένα του μυδιού *Mytilus galloprovincialis* μετά από επίδραση του ενζύμου N-acetyl-β-hexosaminidase (από Raftopoulou et al. 2006).

10.2.1.4 Λιπίδια και λιποφουσκίνες ως βιομάρτυρες

Η ιστοχημική μελέτη ουδέτερων λιπιδίων και λιποφουσκίνων μπορεί να δώσουν μια ικανοποιητική ποιοτική και ποσοτική εικόνα του βαθμού επιβάρυνσης του περιβάλλοντος σε ρυπογόνους παράγοντες. Υψηλές συγκεντρώσεις ουδέτερων λιπιδίων και λιποφουσκίνων σε ιστούς των Δίθυρων Μαλακίων αποδεικνύουν την σημαντική επιβάρυνση του υδάτινου οικοσυστήματος με ρυπογόνες ουσίες (Εικόνα 55).



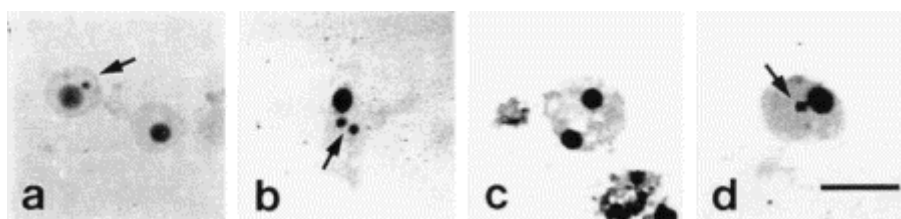
Εικόνα 55. Απεικόνιση λιπιδικής σύστασης στον πεπτικού αδένα του μυδιού *Mytilus galloprovincialis* μετά από χρώση με ειδική χρωστική (neutral red) a) Μικρός αριθμός λιπιδίων (control) με μικρή ποσότητα χρωστικής και b) μεγάλα λιπίδια με έντονη χρώση σε ζώα που εκτέθηκαν σε μίγμα PAHs(από Raftoroulou et al. 2006).

10.2.1.5 Δείκτες που σχετίζονται με την πρόκληση μεταλλαξιγένεσης και γενετοξικών επιπτώσεων

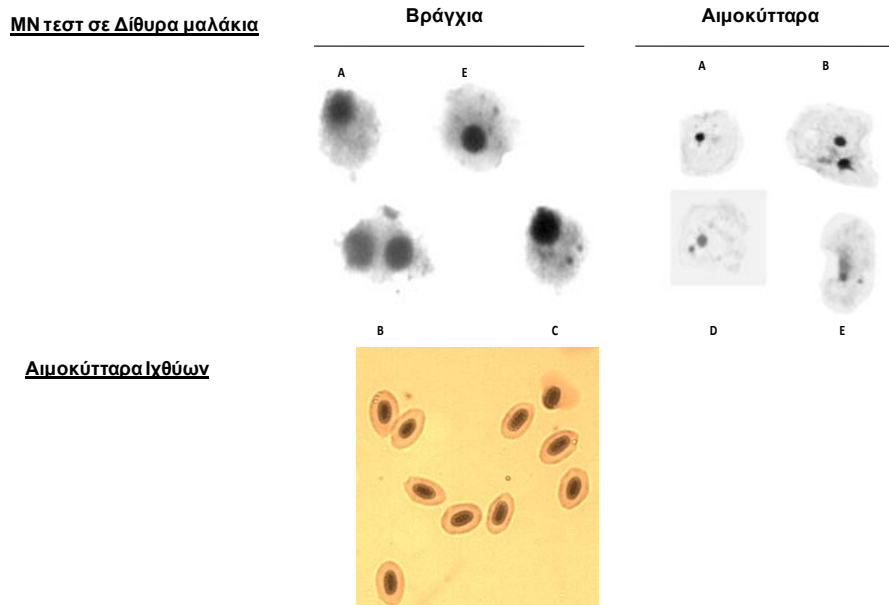
Σε αυτή την κατηγορία ανήκει η μέθοδος ανίχνευσης μικροπυρήνων σε κύτταρα (αιμοκύτταρα, κύτταρα βραγχίων, ερυθροκύτταρα) υδρόβιων οργανισμών (Εικόνες 56, 57). Πρόκειται για πυρήνες με το 1/3-1/7 (ή και περισσότερο σε ορισμένους κυτταρικούς τύπους) του μεγέθους του κανονικού πυρήνα των κυττάρων, οι οποίοι περιέχουν γενετικό υλικό, ως επακόλουθο μεταλλαξιγόνων διεργασιών, μη κανονικού διπλασιασμού και μεταγραφής του γενετικού υλικού, καθώς και μεταφραστικές διεργασίες του RNA. Το ποσοστό των μικροπυρήνων αυξάνει σε οργανισμούς από θαλάσσιες περιοχές με αυξημένη ρύπανση.

Ο προσδιορισμός της ακεραιότητας του γενετικού υλικού σε οργανισμούς που εκτίθενται σε οργανικούς ρύπους αποτελεί ένα σημαντικό μοριακό δείκτη εκτίμησης των γενετοξικών επιπτώσεων των ρυπογόνων ουσιών. Τις τελευταίες δεκαετίες υπάρχουν πληθώρα αναφορών για την εκτίμηση των τοξικών επιπτώσεων των ρυπογόνων ουσιών τόσο σε εργαστηριακές όσο και σε μελέτες πεδίου (**Πίνακες 28, 29**). Διάφοροι περιβαλλοντικοί ρύποι, όπως το βενζο[α]πυρένιο, μπορεί να δράσουν άμεσα στο γενετικό υλικό, προκαλώντας αναστολή της μεθυλίωσης και της σύνθεσης των βάσεων, με επακόλουθη δημιουργία μονόκλωνων και δίκλωνων κομματιών DNA (**Εικόνα 58**).

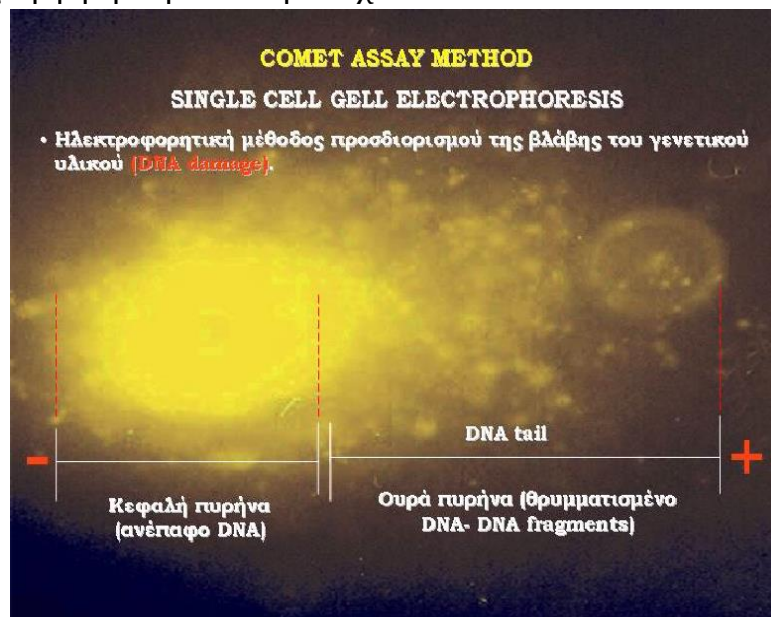
Βαρέα μέταλλα, όπως το κάδμιο και ο υδράργυρος, μπορεί να προκαλέσουν βλάβες του DNA, ενώ πολλές ρυπογόνες ουσίες ελέγχονται από πολλά ερευνητικά εργαστήρια για την ικανότητά τους να προκαλούν βλάβες του DNA σε ένα μεγάλο εύρος κυτταρικών τύπων. Η αναστολή της δράσης επιδιορθωτικών ενζύμων του DNA και η επακόλουθη βλάβη του γενετικού υλικού αποτελεί ένα εργαλείο εκτίμησης των γενετοξικών επιπτώσεων των ρυπογόνων ουσιών, ιδιαίτερα σε θαλάσσιους οργανισμούς.



Εικόνα 56. Εμφάνιση μικροπυρήνων και πυρηνικών ανωμαλιών σε αιμοκύτταρα και κύτταρα βραγχίων του μυδιού *Mytilus galloprovincialis*. (a) Μικροπυρήνας σε κύτταρο βραγχίου (βέλος), (b) Δύο μικροπυρήνες σε αιμοκύτταρο, (c) Εμφάνιση δύο πυρήνων (binucleated) σε κύτταρο από βράγχια, (d) εμφάνιση μικροπυρήνα συνδεδεμένου με τον πυρήνα του κυττάρου (από Dailianis και συν., 2003).



Εικόνα 57. Εμφάνιση μικροπυρήνων και πυρηνικών ανωμαλιών σε αιμοκύτταρα και κύτταρα βραγχίων του μυδιού *Mytilus galloprovincialis*., καθώς και μορφή ερυθροκυττάρων ιχθύων.



Εικόνα 58. Πυρήνας σε σχήμα κομήτη, όπως προκύπτει μετά από ηλεκτροφόρηση με τη μέθοδο comet assay. Στην φωτογραφία διακρίνονται η κεφαλή του κομήτη, που αποτελείται από το άθικτο γενετικό υλικό, καθώς και η ουρά που αποτελείται από το θρυμματισμένο γενετικό υλικό (DNA fragments). Το χαρακτηριστικό σχήμα κομήτη προκύπτει καθώς τα κομμάτια του γενετικού υλικού που έχουν υποστεί θρυμματισμό μετακινούνται προς το θετικό πόλο της ηλεκτροφορητικής συσκευής, λόγω του αρνητικού τους φορτίου (Νταϊλιάνης, 2005).

Πίνακας 28. Εφαρμογή της μεθόδου MN στα βράγχια και σε αιμοκύτταρα μυδιών του γένους *Mytilus sp.* σε περιβαλλοντικές μελέτες (τροποποιημένος πίνακας από Bolognesi and Hayashi, 2011. *Mutagenesis* 26 (1), pp. 205-213).

Γεωγραφική τοποθεσία	Ρυπογόνες ουσίες	Ιστός μελέτης	Βιβλιογραφικές πηγές
Λιμνοθάλασσα Βενετίας (Ιταλία)	Βιομηχανικά απόβλητα (PCBs, PAHs, HCBs κ.α.).	Βράγχια, αιμοκύτταρα.	Dolcetti and Venier, 2002; Venier and Zampieron, 2005
Κανάλια ιστορικού κέντρου της Βενετίας (φυσικός πληθυσμός μαλακίων)	Αστικά απόβλητα (PCBs, PAHs, χλωριωμένα εντομοκτόνα, βαρέα μέταλλα, κ.α.).	Αιμοκύτταρα.	Pampanin et al., 2005.
Ακτές της Διγουρίας (Ιταλία)	PAHs, βαρέα μέταλλα.	Βράγχια.	Bolognesi et al., 2004; 2006.
Παράκτιες περιοχές Τυρηνικής θάλασσας	Βιομηχανικά και αστικά απόβλητα.	Βράγχια.	Nigro et al., 2006.
Λιμάνι Ριομβίνο (Τυρηνική θάλασσα)	PAHs, βαρέα μέταλλα.	Αιμοκύτταρα.	Bocchetti et al., 2008.
Βόρεια Ισπανία	Αστικά απόβλητα.	Βράγχια.	Izquierdo et al., 2003.
Στρυμονικός και Θερμαϊκός κόλπος (Β. Ελλάδα)	Αστικά και βιομηχανικά απόβλητα, λύματα από Μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού, οργανοχλωριωμένα, βαρέα μέταλλα, κ.α.	Αιμοκύτταρα, βράγχια.	Dailianis et al., 2003.
Πατραϊκός κόλπος	Αστικά και αγροτοβιομηχανικά απόβλητα, βαρέα μέταλλα.	Βράγχια.	Kalraxis et al., 2004.
Βόρεια Θάλασσα (Βαλτική)	PCBs, PAHs, TBT, DDTs κ.α.	Βράγχια.	Barsiene et al., 2004; 2006; Schiedek et al., 2006.

Πίνακας 29. Εφαρμογή της μεθόδου MN σε ερυθροκύτταρα ιχθύων στο περιβάλλον και σε μελέτες εργαστηρίου (τροποποιημένος πίνακας από Bolognesi and Hayashi, 2011. *Mutagenesis* 26 (1), pp. 205-213).

Είδος	Βιβλιογραφικές πηγές
<i>Carassius auratus</i>	Ueba et al., 1992; Anitha et al., 2000; Cavas, 2008; Al-Sabti et al., 1994; Hayashi et al., 1998.
<i>C. auratus gibelio</i>	
<i>Carassius sp.</i>	
<i>Channa punctatus</i>	Kumar et al., 2010; Ali et al., 2008
<i>Cheirodon interruptus interruptus</i>	Campana et al, 1999; Bocchetti et al., 2008.
<i>Clarias batrachus</i>	Ateeq et al., 2002; Odeigah and Osanyinpeju, 1995.
<i>Clarias lazera</i>	
<i>Cyprinus carpio</i>	Gustavino et al., 2001; Landolt and Kocan, 1983; Buschini et al., 2004.
<i>Esox lucius</i>	Al-Sabti et al., 1992.
<i>Salmo trutta</i>	Ayllon et al, 2000.
<i>Salmo trutta fario</i>	Balpaeme et al., 1996.

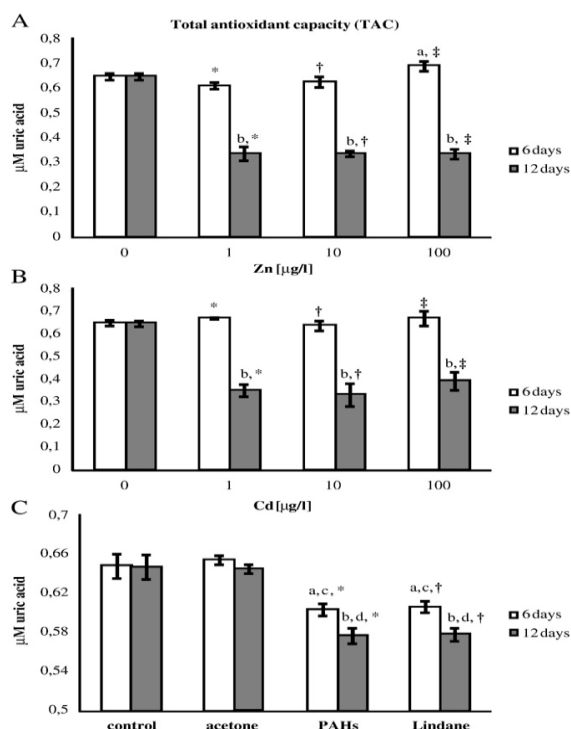
10.2.1.6 Επαγωγή μικροσωμικών ενζύμων

Το ενζυμικό σύστημα της μονο-οξυγενάσης P₄₅₀ αποτελεί ένα σύμπλεγμα ομάδας αιμοπρωτεϊνών συνδεδεμένων με το λείο ενδοπλασματικό δίκτυο. Ο ρόλος του είναι η μετατροπή σχετικά αδιάλυτων πλεονασμάτων των ενδογενών οργανικών ουσιών σε υδατοδιαλυτά συστατικά και η αποβολή τους από τον οργανισμό. Η επίδραση ρυπογόνων ουσιών, όπως εντομοκτόνα, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, κ.λπ., προκαλεί επαγωγή του παραπάνω συστήματος και χρησιμοποιείται ευρύτατα ως δείκτης ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

10.2.1.7 Βιομάρτυρες που σχετίζονται με την επαγωγή οξειδωτικού stress

Η μέτρηση των επιμέρους αντιοξειδωτικών ενζύμων σε ιστούς οργανισμών που εκτίθενται σε περιβαλλοντικούς ρύπους, χρησιμοποιείται ευρύτατα σε μελέτες Βιοπαρακολούθησης με τη χρησιμοποίηση οργανισμών-Βιοενδεικτών, ιδιαίτερα σε υδάτινα οικοσυστήματα. Επιπρόσθετα, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι προσδιορισμού της συνολικής αντιοξειδωτικής ικανότητας των οργανισμών (total antioxidant scavenging capacity/TOSC ή total antioxidant capacity), με τις οποίες εκτιμάται η συνολική

αντίσταση του οργανισμού στο οξειδωτικό stress που προκαλείται από την έκθεσή τους σε ρυπογόνους παράγοντες (**Εικόνα 59**).



Εικόνα 59. Μείωση της αντιοξειδωτικής άμυνας (TAC) στην αιμόλεμφο του μυδιού *Mytilus galloprovincialis*, μετά από έκθεση σε διαφορετικές συγκεντρώσεις μετάλλων (Cd & Zn) και οργανικών ρύπων (από Kaloyianni et al., 2009).

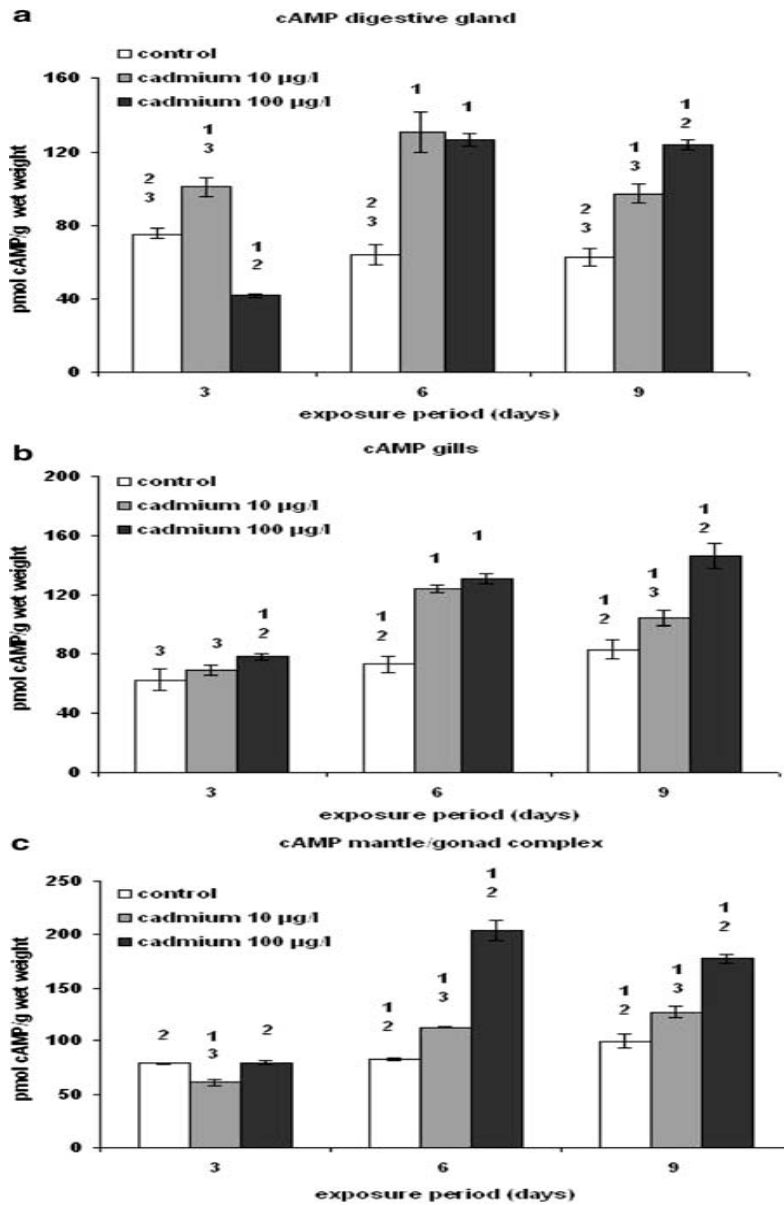
10.2.1.8 Σηματοδοτικά μόρια και χρησιμοποίησή τους ως Βιομάρτυρες

Εξωκυτταρικά σήματα, όπως αυτά που προέρχονται από ορμόνες, νευροδιαβιβαστές και αυξητικούς παράγοντες, μπορούν και δεσμεύονται σε ειδικούς υποδοχείς της κυτταρικής μεμβράνης των κυττάρων στόχων, ενεργοποιώντας μια διαδοχή μετάδοσης σημάτων στο εσωτερικό των κυττάρων. Οι φυσιολογικές επιδράσεις που προκαλούνται εξωκυτταρικά μεταδίδονται στο εσωτερικό των κυττάρων με τη μεσολάβηση και ενεργοποίηση ουσιών που δρουν ως δεύτερη μηνύτορες στο εσωτερικό των κυττάρων (second messengers).

Το cAMP είναι ένας δεύτερος μηνύτορας στο μονοπάτι διάδοσης του μηνύματος με τον οποίο το σήμα που δημιουργήθηκε μετά από την δέσμευση ενός εξωκυτταρικού παράγοντα στην κυτταρική μεμβράνη, μεταβιβάζεται στο εσωτερικό του κυττάρου. Μια μεγάλη ποικιλία σχετικών πρωτεϊνών είναι

ευαίσθητες στην κυτταροπλασματική συγκέντρωση του συγκεκριμένου μηνύτορα. Έχει επίσης αναφερθεί η δράση του σε αμυντικούς μηχανισμούς του οργανισμού, στην κυτταρική ανάπτυξη και διαφοροποίηση και γενικότερα σε μηχανισμούς που παίρνουν μέρος στον μεταβολισμό του οργανισμού.

Πολλοί χημικοί παράγοντες μπορούν να δράσουν με τρόπο παρόμοιο με αυτό των ορμονών, μπλοκάροντας τη φυσιολογική τους δράση με την δέσμευσή τους στους υποδοχείς της εξωκυτταρικής μεμβράνης των κυττάρων. Μια ρυπογόνος ουσία μπορεί να δράσει ως ενδοκρινικός διαλύτης (endocrine disrupter) και να εμπλακεί σε μονοπάτια μετάδοσης του μηνύματος στο εσωτερικό των κυττάρων. Η μελέτη του cAMP σε διάφορους ιστούς του μυδιού *Mytilus galloprovincialis*, έδειξε σημαντική αύξηση των επιπέδων του σε ιστούς ζώων που εκτίθενται σε ρυπογόνες ουσίες τόσο στο πεδίο, όσο και στο εργαστήριο (**Εικόνα 60**). Ανάλογες μελέτες πραγματοποιούνται από πολλές ερευνητικές ομάδες σε όλο τον κόσμο, με κύριο στόχο τη θέσπιση νέων μορίων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες της θαλάσσιας ρύπανσης, με τη χρησιμοποίηση οργανισμών Βιοενδεικτών.



Εικόνα 60. Αύξηση του cAMP στον πεπτικό αδέν, τα βράγχια και το σύμπλοκο μανδύας/γονάδες του μυδιού *Mytilus galloprovincialis*, μετά από έκθεση σε διαφορετικές συγκεντρώσεις καδμίου.

10.2.1.9 Δείκτες που σχετίζονται με ιστολογικές αλλοιώσεις (Tissue Damage)

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν δείκτες που σχετίζονται με την ικανότητα εκτίμησης μορφολογικών αλλαγών που ευθύνονται στην έκθεση των οργανισμών σε ρυπογόνες ουσίες, όπως η λέπτυνση του επιθηλίου, η αύξηση των βασεόφιλων επιθηλιακών κυττάρων, αλλαγές στην αναλογία βασεόφιλων και ηπατοκυττάρων, καθώς και αλλαγές στην αναλογία του κυτταροπλασματικού όγκου σε σχέση με τον όγκο των λυσοσωμάτων.

Για παράδειγμα, η λέπτυνση του επιθηλίου του ήπατος αποτελεί σημαντικό δείκτη έκθεσης των οργανισμών σε ρυπογόνες ουσίες. Αλλαγές στη σύσταση των πεπτικών σωληνίσκων, σε συνάρτηση με τη λέπτυνση του επιθηλίου των κυττάρων και την αύξηση του όγκου των βασεόφιλων κυττάρων έχουν παρατηρηθεί σε μύδια που συλλέχθηκαν από περιοχές με έντονη επιβάρυνση σε πετρελαιοειδή, ενώ σημαντική είναι και η αύξηση του αριθμού των επιθηλιακών απεκκριτικών κυττάρων τόσο σε ηπατοκύτταρα όσο και σε βασεόφιλα κύτταρα του πεπτικού αδένου των μυδιών.

10.2.1.10 Δείκτες που μελετούνται σε οργανισμικό επίπεδο

Οι δείκτες που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία σχετίζονται κυρίως με την εκτίμηση της ικανότητας ενός πληθυσμού να ανταπεξέρχονται ικανοποιητικά απέναντι στην πίεση που ασκείται από κάποιο περιβαλλοντικό παράγοντα. Για παράδειγμα η τεχνική 'stress on stress' εκτιμά την ικανότητα των μυδιών να επιβιώνουν έξω από τον νερό, αφού έχουν προηγουμένως δεχθεί την πίεση κάποιας ρυπογόνου ουσίας. Ο χρόνος επιβίωσης στην ατμόσφαιρα αποτελεί μια σημαντική ένδειξη της εξασθένησης των οργανισμών, μετά από την έκθεση στο ρύπο.

10.2.1.11 Δείκτες που σχετίζονται με την αναπαραγωγική ικανότητα και την διαταραχή του ενδοκρινικού συστήματος

Διάφοροι παράμετροι που σχετίζονται με την ωρίμανση των γονάδων και την αναπαραγωγική ικανότητα των οργανισμών, μπορεί να επηρεαστούν μετά από έκθεση των οργανισμών σε διάφορες κατηγορίες ρυπογόνων ουσιών, λόγω της διαταραχής της φυσιολογικής λειτουργίας του ενδοκρινικού συστήματος (ενδοκρινική διαταραχή/αποδιοργάνωση. Ιστολογικές αλλαγές των γονάδων

και τα επίπεδα της ορμόνης βιτελλογενίνης παρουσιάζουν έντονο αντικείμενο μελέτης και αποτελούν χρήσιμα εργαλεία για την εκτίμηση της ύπαρξης ρυπογόνων ουσιών στο περιβάλλον διαβίωσης διαφόρων θαλάσσιων ασπονδύλων, όπως τα μύδια, και ιχθύων.

10.3 Ανθρώπινη Βιοπαρακολούθηση (Human Biomonitoring)

Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια μεγάλη προσπάθεια να αναπτυχθούν τεχνικές για τον προσδιορισμό του βαθμού έκθεσης του ανθρώπου σε ρυπογόνους παράγοντες. Με την ανθρώπινη Βιοπαρακολούθηση εκτιμάται το είδος του ρυπογόνου παράγοντα στον οποίο έχει εκτεθεί το άτομο, καθώς και το προϊόν μεταβολισμού του μέσα το σώμα, ενώ δίνεται και μια εικόνα της ποσότητας της ουσίας που έχει απορροφηθεί από τον οργανισμό. Τα προγράμματα της ανθρώπινης Βιοπαρακολούθησης απαρτίζονται από εξειδικευμένους ερευνητές που κινούνται μέσα στα πλαίσια των κανόνων ηθικής που διέπουν της Ιατρική επιστήμη και σεβασμού των ανθρώπινων δικαιωμάτων, έτσι ώστε να διασφαλίζεται το προσωπικό απόρρητο.

Για την εφαρμογή ενός προγράμματος ανθρώπινης Βιοπαρακολούθησης επιλέγεται από τους ερευνητές ο πληθυσμός που θα ελεγχθεί και ο αριθμός των ατόμων που θα εξεταστεί. Στη συνέχεια, ακολουθεί η επιλογή των χημικών ουσιών που θα μελετηθούν και πραγματοποιείται συλλογή των ανθρώπινων ιστών ή βιολογικών ουσιών από τα υπό εξέταση άτομα. Οι αναλύσεις πραγματοποιούνται συνήθως σε ανθρώπινα υγρά (ούρα, αίμα, σάλιο, μητρικό γάλα) και ιστούς (μαλλιά, νύχια, λιπώδης ιστός). Τα άτομα στα οποία θα πραγματοποιηθούν οι αναλύσεις δικαιούνται απόλυτης ανωνυμίας, έτσι ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα κοινωνικής περιθωριοποίησης. Η εφαρμογή προγραμμάτων ανθρώπινης Βιοπαρακολούθησης είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εκτίμηση της έκθεσης εργαζομένων στον εργασιακό τους χώρο.

Η ανθρώπινη Βιοπαρακολούθηση αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο εκτίμησης σε «πραγματικό χρόνο» των επιπτώσεων των ρυπογόνων ουσιών στον άνθρωπο. Το γεγονός ότι εκτιμάται η άμεση έκθεση του πληθυσμού αποτελεί σημαντικό εργαλείο στην εκτίμηση της συνολικής επιβάρυνσης των ανθρώπων τη δεδομένη στιγμή, ενώ επιτρέπει ταυτόχρονα τη λήψη ορθολογικών μέτρων για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων των ρυπογόνων

ουσιών και την εξασφάλιση της Δημόσιας Υγείας. Το βασικότερο πλεονέκτημα σε προγράμματα ανθρώπινης Βιοπαρακολούθησης είναι ο μικρός αριθμός ατόμων που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των επιπτώσεων διαφόρων ουσιών, η αδυναμία ανίχνευσης των πηγών έκθεσης, καθώς και η αδυναμία πρόβλεψης του μεγέθους που μπορεί να λάβει η παρατεταμένη έκθεση του πληθυσμού στους ρυπογόνους παράγοντες που μελετούνται. Παρ' όλα τα μειονεκτήματα, η ανθρώπινη Βιοπαρακολούθηση αποτελεί στις μέρες μας ένα αξιόπιστο εργαλείο εκτίμησης της ρύπανσης και των επιπτώσεων των ουσιών στην υγεία του ανθρώπου. Η επέκταση των προγραμμάτων ανθρώπινης Βιοπαρακολούθησης πιθανό να αποτελέσει το κύριο μέσο αφύπνισης και ευαισθητοποίησης των ανθρώπων, στην προσπάθεια εξασφάλισης καλύτερων ημερών για τις επόμενες γενιές.

10.3.1 Δείκτες stress στην Ιατρική

Στην Ιατρική επιστήμη, ως δείκτης stress μπορεί να χαρακτηριστεί κάθε ουσία που μπορεί να χορηγηθεί στον οργανισμό με κύριο στόχο την παρακολούθηση και εξέταση της υγείας ενός ιστού και κατ' επέκταση της υγείας του οργανισμού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρήση της ουσίας χλωριούχο ρουβίδιο, το ραδιενεργό ισότοπο της οποίας χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της κατάστασης του μυοκαρδίου. Επίσης μπορεί να είναι κάποια μόρια, η ύπαρξη των οποίων αποτελεί ένδειξη εμφάνισης κάποιας ασθένειας. Για παράδειγμα η ανίχνευση κάποιων ειδικών αντισωμάτων που αποτελεί ένδειξη εμφάνισης κάποιας συγκεκριμένης ασθένειας.

Σε γενικές γραμμές, στην Ιατρική η έννοια του δείκτη σχετίζεται με τις ιδιότητες ορισμένων μορίων που μπορεί να ανιχνευτούν και να μετρηθούν σε διάφορα μέρη και υγρά του σώματος, όπως σε ιστούς και στο αίμα. Ως δείκτες μπορεί να χρησιμοποιηθούν εξειδικευμένα κύτταρα, γονίδια και γονιδιακά προϊόντα, ένζυμα και ορμόνες, καθώς και πολύπλοκες οργανικές δομές και αλλαγές σε βιολογικές δομές. Δείκτες που σχετίζονται με την εμφάνιση ασθενειών στον άνθρωπο είναι τα επίπεδα της ορμόνη LDL στον ορό του αίματος, ως ένδειξη για μεταβολές στα επίπεδα της χοληστερόλης, καθώς και η πίεση του αίματος, τα γονίδια P53 and MMPs για την περίπτωση εμφάνισης καρκίνου κ.λπ.

Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται για ιατρικούς σκοπούς μπορεί να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους. Συγκεκριμένα, μπορεί να ανήκουν στους **μοριακούς ή απεικονιστικούς δείκτες** (CT, PET, MRI). Οι μοριακοί δείκτες βρίσκουν εφαρμογή ως μη απεικονιστικοί δείκτες και προσδιορίζονται ποσοτικά σε βιολογικά δείγματα, όπως το πλάσμα και ο ορός του αίματος, βιοψίες κ.λπ. Σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται νουκλεϊκά οξέα, γονιδιακές μεταλλάξεις και πολυμορφισμοί, ποσοτικές αναλύσεις γονιδιακής έκφρασης, πεπτιδία, πρωτεΐνες, λιπίδια και άλλα μόρια. Επίσης, οι δείκτες μπορεί να κατηγοριοποιηθούν με βάση την εφαρμογή τους ως διαγνωστικά εργαλεία (**Διαγνωστικοί δείκτες**), όπως η ορμόνη τροπονίνη για τη μελέτη του καρδιακού εμφράγματος, ως δείκτες ένδειξης ασθένειας, όπως το νατριοδιουρητικό πεπτιδίο στην περίπτωση της καρδιακής ανεπάρκειας, ως **προγνωστικοί δείκτες**, όπως οι καρκινικοί δείκτες, καθώς και ως δείκτες για την παρακολούθηση της κλινικής εικόνας ενός ασθενούς μετά από κάποια χειρουργική επέμβαση, όπως το αντίσωμα HbA1c στην αντιδιαβητική θεραπεία. Μια άλλη κατηγορία αποτελούν οι δείκτες οι οποίοι χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία ανάπτυξης φαρμάκων. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται **φαρμακοδυναμικοί δείκτες** για την εκτίμηση της απόκρισης του οργανισμού απέναντι σε κάποιο φαρμακευτικό σκεύασμα, καθώς και τη δοσολογία που πρέπει να χορηγηθεί.

10.3.2 Δείκτες που σχετίζονται με ασθένειες (Disease-related Biomarkers) και δείκτες που σχετίζονται με φαρμακευτικά σκευάσματα και θεραπείες (Drug-related Biomarkers).

Για τη μελέτη και κατανόηση των δεικτών θα πρέπει να γίνει μια διάκριση μεταξύ αυτών που σχετίζονται με την εμφάνιση ασθενειών και των δεικτών που σχετίζονται με φαρμακευτικές θεραπείες και σκευάσματα. Στην πρώτη περίπτωση οι δείκτες σχετίζονται με την πρόβλεψη της πιθανότητας εμφάνισης κάποιας ασθένειας (risk indicator or predictive biomarkers), με την ύπαρξη κάποιας ασθένειας (διαγνωστικοί δείκτες, diagnostic biomarker), καθώς και με την εξέλιξη της ασθένειας σε κάθε περίπτωση (προγνωστικοί δείκτες, prognostic biomarker). Από την άλλη, στη δεύτερη περίπτωση, η μελέτη των δεικτών σχετίζεται με την εκτίμηση της καταλληλότητας χορήγησης μιας

συγκεκριμένης θεραπευτικής αγωγής σε κάποιο ασθενή, καθώς και την απόκριση του ασθενούς κατά τη διάρκεια της θεραπείας.

Η μελέτη δεικτών για ιατροφαρμακευτικούς σκοπούς αποτελεί στις μέρες μας κύριο αντικείμενο έρευνας, έτσι ώστε να γίνει εφικτή η μελέτη και πρόβλεψη διαφόρων παθολογικών καταστάσεων που μπορεί να σχετίζονται με ασθένειες του νευρικού συστήματος και του μεταβολισμού.

Οι δείκτες που σχετίζονται με φαρμακευτικά σκευάσματα και θεραπείες χρησιμοποιούνται κυρίως ως δείκτες της εξέλιξης μιας παθολογικής κατάστασης που υπόκειται σε κάποια θεραπεία. Συγκεκριμένα, σε περίπτωση που κατά τη διάρκεια της θεραπείας μεταβάλλονται τα επίπεδα του δείκτη, μπορεί να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για την εξέλιξη της κατάστασης του ασθενούς και την πορεία της ασθένειας.

10.3.3 Δείκτες στο πεδίο της Κυτταρικής Βιολογίας και Γενετικής

Στο πεδίο της Κυτταρικής Βιολογίας ως δείκτες χρησιμοποιούνται μόρια τα οποία επιτρέπουν την ανίχνευση και την απομόνωση εξειδικευμένων τύπων κυττάρων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρήση της πρωτεΐνης Oct-4 ως δείκτη ανίχνευσης εμβρυονικών κυττάρων (embryonic stem cells). Στο πεδίο της Γενετικής συνήθως χρησιμοποιούνται γενετικοί δείκτες, όπως αλληλουχίες DNA, οι οποίες σχετίζονται με την εμφάνιση ασθενειών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΗΣ ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ

Το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής που σε μεγάλο βαθμό οφείλεται στην ρύπανση της ατμόσφαιρας απασχόλησε για πρώτη φορά τα Ηνωμένα Έθνη στις αρχές τις δεκαετίας του 1990. Συγκεκριμένα, η Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές μεταβολές (UNFCCC) αποτέλεσε το πρώτο μέτρο με το οποίο πραγματοποιήθηκε ένα βήμα προς την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής (Νέα Υόρκη στις 9 Μαΐου 1992).

11.1 Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές μεταβολές (UNFCCC)

Σύμφωνα με τη σύμβαση, τα κράτη δεσμεύονται να θεσπίσουν εθνικά προγράμματα για τον περιορισμό των αερίων του θερμοκηπίου, μια συμφωνία η οποία έγινε το 1997 στο Κιότο της Ιαπωνίας (Πρωτόκολλο του Κιότο) και επικυρώθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση με την απόφαση 2002/358/ΕΚ του Συμβουλίου της 25ης Απριλίου 2002. Η έναρξη της ισχύος του πρωτοκόλλου έγινε στις 16 Φεβρουαρίου 2005. Ο βασικός στόχος της Σύμβασης είναι η μείωση των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου μέσα σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα, έτσι ώστε (α) να επιτευχθεί μια ομαλή προσαρμογή των οικοσυστημάτων στην κλιματική αλλαγή, (β) να διασφαλιστεί η παραγωγή τροφής και η αειφόρος (βιώσιμη) οικονομική ανάπτυξη.

Τα συμβαλλόμενα κράτη χωρίζονται σε δύο μέρη, τα οποία αναφέρονται ως μέρη του Παραρτήματος I και II. Συγκεκριμένα, στο Παράρτημα I συγκαταλέγονται 40 ανεπτυγμένες χώρες (μεταξύ αυτών και η Ελλάδα), καθώς και οι χώρες που περιλαμβάνονται στην ΕΕ (**Πίνακας 30**).

Πίνακας 30. Χώρες που συγκαταλέγονται στο Παράρτημα I της σύμβασης (UNFCCC).

1	Αυστραλία	11	Η.Π.Α.	21	Λευκορωσία	31	Πολωνία
2	Αυστρία	12	Ηνωμένο Βασίλειο	22	Λιθουανία	32	Πορτογαλία
3	Βέλγιο	13	Ιαπωνία	23	Λιχτενστάιν	33	Ρουμανία
4	Βουλγαρία	14	Ιρλανδία	24	Λουξεμβούργο	34	Ρωσία
5	Γαλλία	15	Ισλανδία	25	Μονακό	35	Σλοβακία
6	Γερμανία	16	Ισπανία	26	Νέα Ζηλανδία	36	Σλοβενία
7	Δανία	17	Ιταλία	27	Νορβηγία	37	Σουηδία
8	Ελβετία	18	Καναδάς	28	Ολλανδία	38	Τουρκία
9	Ελλάδα	19	Κροατία	29	Ουγγαρία	39	Τσεχική Δημοκρατία
10	Εσθονία	20	Λετονία	30	Ουκρανία	40	Φινλανδία

Στο Παράρτημα II συγκαταλέγονται κράτη του Παρατήματος I, τα οποία οφείλουν να παρέχουν οικονομικούς πόρους στα αναπτυσσόμενα κράτη, έτσι ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητοί στόχοι μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων, μέσω της κατάλληλης τεχνολογίας και τεχνογνωσίας (**Πίνακας 31**).

Πίνακας 31. Χώρες που συγκαταλέγονται στο Παράρτημα II της σύμβασης (UNFCCC).

Αυστραλία	Ελβετία	Ισλανδία	Νορβηγία
Αυστρία	Ελλάδα	Ισπανία	Ολλανδία
Βέλγιο	Η.Π.Α.	Ιταλία	Πορτογαλία
Γαλλία	Ηνωμένο Βασίλειο	Καναδάς	Σουηδία
Γερμανία	Ιαπωνία	Λουξεμβούργο	Φινλανδία
Δανία	Ιρλανδία	Νέα Ζηλανδία	

11.2 Πρωτόκολλο του Κιότο

Το πρωτόκολλο του Κιότο θέτει σαφείς στόχους και τρόπους περιορισμού των αερίων του θερμοκηπίου, ενώ ορίζει και τους μηχανισμούς με τους οποίους θα επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος. Συγκεκριμένα, το πρωτόκολλο αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), μεθανίου (CH₄), υποξειδίου του αζώτου (N₂O), υδροφθορανθράκων (HFC) και υπερ-φθοριωμένων υδρογονανθράκων (PFC) και του αεραπορροφούμενου θείου (SF₆), αέρια που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου και βρίσκονται υπό τον έλεγχο του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ (2000) που αφορά ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος.

Το Πρωτόκολλο του Κιότο απαριθμεί συνολικά 192 χώρες και τα κράτη της ΕΕ. Μεταξύ των χωρών, οι ΗΠΑ δεν έχουν επικυρώσει ακόμη το πρωτόκολλο, ενώ η Κίνα αν και μέλος δεν δεσμεύεται από το πρωτόκολλο. Σύμφωνα με το άρθρο 3 του πρωτοκόλλου οι χώρες του Παραρτήματος Ι υποχρεούνται, **χωριστά ή από κοινού**, να εξασφαλίσουν ότι οι συνολικές εκπομπές των αερίων δεν θα υπερβαίνουν τις ποσότητες που έχουν οριστεί, με απώτερο στόχο τη μείωση τουλάχιστον κατά 5% των συνολικών εκπομπών σε σχέση με το έτος 1990, κατά τη περίοδο 2008-2012. Συγκεκριμένα, για τα κράτη μέλη της ΕΕ (πριν το 2004) οφείλουν να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου κατά 8% στην περίοδο 2008 – 2012, ενώ τα μέλη της ΕΕ, μετά το 2004, δεσμεύονται να μειώσουν τις εκπομπές τους κατά 8%, με εξαίρεση την Πολωνία και την Ουγγαρία (6%), καθώς και την Μάλτα και την Κύπρο, οι οποίες δεν εμφανίζονται στον κατάλογο του Παραρτήματος Ι. Στην περίπτωση της Ελλάδας, προβλέπεται η μείωση κατά 25% της αύξησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά την περίοδο 2008-2012, σε σχέση με το έτος βάσης 1990 (**Πίνακας 32**).

Πίνακας 32. Κατανομή των υποχρεώσεων μείωσης εκπομπών στα κράτη μέλη της Ε.Ε.

Λουξεμβούργο	-28%	Γαλλία, Φιλανδία	0%
Γερμανία, Δανία	-21%	Σουηδία	4%
Αυστρία	-13%	Ιρλανδία	13%
Βρετανία	-12,50%	Ισπανία	15%
Εσθονία, Λετονία, Λιθουανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Τσεχία	-8%	Ελλάδα	25%
Βέλγιο	-7,50%	Πορτογαλία	27%
Ιταλία	-6,50%		
Ουγγαρία, Πολωνία, Ολλανδία	-6%		

11.3 Εμπορία Ρύπων

Μεταξύ των μηχανισμών που ορίζονται από το πρωτόκολλο είναι και η εμπορία ρύπων (emissions trading), που αποτελεί ένα μηχανισμό μετριασμού των ανθρωπογενών, άμεσων ή έμμεσων, εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που οφείλονται για την κλιματική αλλαγή. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το άρθρο 17 του Πρωτοκόλλου, τα κράτη του Παραρτήματος Β έχουν τη δυνατότητα συμμετοχής στην εμπορία δικαιωμάτων ρύπων προκειμένου να

ανταποκριθούν στις υποχρεώσεις που ανέλαβαν για μείωση των εκπομπών ρύπων. Οι παρακάτω μηχανισμοί JI και CDM δημιουργούν πιστωτικά μόρια (Emission Reduction Units/ERUs και Certified Emissions Reduction credits/CERs) που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην εμπορία ρύπων.

➤ **Μηχανισμός Κοινής Εφαρμογής (Joint Implementation -JI):**

Παρέχεται η δυνατότητα υλοποίησης κοινών προγραμμάτων και έργων μεταξύ των χωρών της Σύμβασης με σκοπό τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Η χώρα που χρηματοδοτεί το έργο επωφελείται από τη μείωση των εκπομπών που θα προκύψει από την πραγματοποίηση αυτού, εφόσον το έργο επιφέρει μείωση εκπομπών στην χώρα εφαρμογής που δεν θα πραγματοποιούνταν χωρίς το έργο (**αρχή της προσθετικότητας – Additionality**).

➤ **Μηχανισμός "Καθαρής" Ανάπτυξης (Clean Development Mechanism - CDM):**

Προβλέπεται η δυνατότητα υλοποίησης έργων από ανεπτυγμένες χώρες του Παραρτήματος I, σε χώρες κυρίως αναπτυσσόμενες, που δεν περιλαμβάνονται σε αυτό. Οι χώρες που χρηματοδοτούν τα έργα μπορούν να αξιοποιούν τις πιστοποιημένες μειώσεις εκπομπών που προκύπτουν από τα έργα, ενώ οι χώρες – δέκτες επωφελούνται από τα έργα έτσι ώστε να επιτύχουν αειφόρο ανάπτυξη.

Με βάση τις οδηγίες που θεσπίστηκαν από την ΕΕ για το σύστημα εμπορίας ρύπων, θα πρέπει να αναφερθούν οι παρακάτω ορισμοί:

- **Δικαίωμα:** δικαίωμα εκπομπών ενός τόνου ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια καθορισμένης περιόδου, το οποίο μπορεί να μεταβιβάζεται.
- **Άδεια εκπομπών αερίων θερμοκηπίου:** άδεια που εκδίδεται από την αρμόδια αρχή για κάθε δραστηριότητα (**Πίνακας 33**), με την οποία επιτρέπονται οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από ολόκληρη την εγκατάσταση ή τμήμα της βιομηχανικής μονάδας. Η άδεια είναι υποχρεωτική για την λειτουργία των προαναφερθεισών εγκαταστάσεων και μπορεί να καλύπτει μία ή περισσότερες εγκαταστάσεις που λειτουργούν στον ίδιο τόπο και υπό τον ίδιο φορέα εκμετάλλευσης.
- **Τόνος ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα:** ένας τόνος διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), ή ποσότητα οποιουδήποτε άλλου αερίου του

θερμοκηπίου που αντιστοιχεί με ένα ισοδύναμο δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη.

- **Μονάδα μείωσης των εκπομπών (Emissionn Reduction Unit – ERU):** μονάδα που εκχωρείται κατά το άρθρο 6 του πρωτοκόλλου του Κιότο (Μηχανισμός κοινής εφαρμογής - JI) και των αποφάσεων που λαμβάνονται βάσει της UNFCCC και του πρωτοκόλλου του Κιότο.
- **Πιστοποιημένη μείωση των εκπομπών (Certified Emission Reduction – CER):** μονάδα που εκχωρείται κατά το άρθρο 12 του πρωτοκόλλου του Κιότο (Μηχανισμός "καθαρής" ανάπτυξης – CDM) και των αποφάσεων που λαμβάνονται βάσει της UNFCCC και του πρωτοκόλλου του Κιότο.

Πίνακας 33. Κατηγορίες δραστηριοτήτων που αφορούν την εμπορία ρύπων.

Δραστηριότητες	Αέρια του θερμοκηπίου
Καύση καυσίμων σε εγκαταστάσεις με συνολική ονομαστική θερμική κατανάλωση άνω των 20 MW (εκτός των εγκαταστάσεων αποτέφρωσης επικινδύνων ή αστικών αποβλήτων)	Διοξείδιο του άνθρακα
Διύλιση ορυκτελαίων	Διοξείδιο του άνθρακα
Παραγωγή οπτάνθρακα	Διοξείδιο του άνθρακα
Μεταλλεύματα	Διοξείδιο του άνθρακα
Παραγωγή χυτοσιδήρου ή χάλυβα (πρωτογενής ή δευτερογενής τήξη) συμπεριλαμβανομένης και της συνεχούς χυτεύσεως, με δυναμικότητα άνω των 2,5 τόνων την ώρα	Διοξείδιο του άνθρακα
Παραγωγή ή επεξεργασία σιδηρούχων μετάλλων (περιλαμβανομένων σιδηροκραμάτων) όπου λειτουργούν μονάδες καύσης με συνολική ονομαστική θερμική κατανάλωση άνω των 20 MW.	Διοξείδιο του άνθρακα
Πρωτογενής παραγωγή αλουμινίου.	Διοξείδιο του άνθρακα και υπερφθοράνθρακες
Δευτερογενής παραγωγή αλουμινίου όπου λειτουργούν εγκαταστάσεις καύσης με συνολική ονομαστική θερμική κατανάλωση άνω των 20 MW	Διοξείδιο του άνθρακα
Παραγωγή ή επεξεργασία μη σιδηρούχων μετάλλων, όπου περιλαμβάνεται η παραγωγή κραμάτων, ο εξευγενισμός, η χύτευση κ.λπ., όπου λειτουργούν μονάδες καύσης με συνολική ονομαστική θερμική κατανάλωση (συμπεριλαμβανομένων των καυσίμων που χρησιμοποιούνται ως αναγωγικά μέσα) άνω των 20 MW.	Διοξείδιο του άνθρακα
Παραγωγή τσιμέντου σε περιστροφικούς κλιβάνους παραγωγικού δυναμικού άνω των 500 τόνων την ημέρα ή σε άλλους κλιβάνους παραγωγικού δυναμικού άνω των 50 τόνων την ημέρα	Διοξείδιο του άνθρακα
Παραγωγή ασβέστου ή ασβεστοποίηση δολομίτη ή μαγνησίτη σε περιστροφικούς κλιβάνους ή άλλους καμίνους παραγωγικού δυναμικού άνω των 50 τόνων την ημέρα	Διοξείδιο του άνθρακα
Παραγωγή γυαλιού με τηκτική δυναμικότητα άνω των 20 τόνων την ημέρα	Διοξείδιο του άνθρακα
Παραγωγή κεραμικών προϊόντων με ψήσιμο, κεραμίδια στέγης, πλίνθοι, πυρίμαχοι πλίνθοι, πλακίδια,	Διοξείδιο του άνθρακα

ψευδοπορσελάνη ή πορσελάνη, με παραγωγική δυναμικότητα άνω των 75 τόνων την ημέρα	
Παραγωγή ορυκτοβάμβακα ή πετροβάμβακα με χρήση γυαλιού, πετρώματος ή σκωρίας με τηκτική παραγωγική δυναμικότητα άνω των 20 τόνων την ημέρα	Διοξείδιο του άνθρακα
Ξήρανση ή πύρωση ασβεστοποίηση γύψου ή για την παραγωγή γυψοσανίδων και άλλων προϊόντων γύψου, όπου λειτουργούν μονάδες καύσης με συνολική ονομαστική θερμική κατανάλωση άνω των 20 MW	Διοξείδιο του άνθρακα
Παραγωγή πολτού από ξυλεία ή άλλα ινώδη υλικά	Διοξείδιο του άνθρακα
Παραγωγή χαρτιού ή χαρτονιού παραγωγικού δυναμικού άνω των 20 τόνων την ημέρα	Διοξείδιο του άνθρακα
Παραγωγή αιθάλης όπου περιλαμβάνεται η απανθράκωση οργανικών ουσιών όπως ελαίων, πισσών, υπολειμμάτων απόσταξης και πυρόλυσης, όπου λειτουργούν μονάδες καύσης με συνολική ονομαστική θερμική κατανάλωση άνω των 20 MW	Διοξείδιο του άνθρακα
Παραγωγή νιτρικού οξέος	Διοξείδιο του άνθρακα και οξείδιο του αζώτου
Παραγωγή απιδικού οξέους	Διοξείδιο του άνθρακα και οξείδιο του αζώτου
Παραγωγή γλυοξαλικού και γλυοξυλικού οξέος	Διοξείδιο του άνθρακα και οξείδιο του αζώτου
Παραγωγή αμμωνίας	Διοξείδιο του άνθρακα
Παραγωγή χύδην οργανικών χημικών προϊόντων με πυρόλυση, αναμόρφωση, μερική ή πλήρη οξειδωση ή με παρόμοιες διεργασίες, παραγωγικού δυναμικού άνω των 100 τόνων την ημέρα	Διοξείδιο του άνθρακα
Παραγωγή υδρογόνου (H ₂) και αερίου σύνθεσης με αναμόρφωση ή μερική οξειδωση παραγωγικού δυναμικού άνω των 25 τόνων την ημέρα	Διοξείδιο του άνθρακα
Παραγωγή ανθρακικού νατρίου (Na ₂ CO ₃) και όξινο ανθρακικού νατρίου (NaHCO ₃)	Διοξείδιο του άνθρακα
Δέσμευση αερίων θερμοκηπίου από εγκαταστάσεις που καλύπτονται από την παρούσα οδηγία για τους σκοπούς μεταφοράς και γεωλογικής αποθήκευσης σε αποθηκευτική εγκατάσταση δυνάμει της οδηγίας 2009/31/EK	Διοξείδιο του άνθρακα
Μεταφορά αερίων θερμοκηπίου με αγωγούς για γεωλογική αποθήκευση σε αποθηκευτική εγκατάσταση δυνάμει της οδηγίας 2009/31/EK	Διοξείδιο του άνθρακα
Γεωλογική αποθήκευση αερίων θερμοκηπίου σε αποθηκευτική εγκατάσταση, δυνάμει της οδηγίας 2009/31/EK	Διοξείδιο του άνθρακα
Αεροπορικές μεταφορές (από 1 ^η Ιανουαρίου 2012) Πτήσεις από ή προς αεροδρόμια ευρισκόμενα στο έδαφος κράτους μέλους όπου εφαρμόζεται η συνθήκη.	Διοξείδιο του άνθρακα

Οι βασικές μονάδες εμπορίας ρύπων διακρίνονται στις παρακάτω:

- **AAU (Assigned Amount Unit):** Μονάδα άνθρακα, τόνος ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα.
- **RMU (Removal Unit):** Μονάδα απομάκρυνσης ρύπου και αφορά χρήσεις γης, αλλαγές χρήσης και δασοκομικές δραστηριότητες π.χ. αναδάσωση (**LULUCF- Land Use, Land-Use Change and Forestry**).

- **CER (Certified Emission Reduction)**: Πιστοποιημένη μείωση των εκπομπών από προγράμματα που εντάσσονται στον μηχανισμό "καθαρής" ανάπτυξης (CDM).
- **ERU (Emission Reduction Unit)**: Μονάδα μείωσης των εκπομπών από προγράμματα που εντάσσονται στον μηχανισμό κοινής εφαρμογής (JI).
- **VER (Verified Emission Reduction)**: Πιστοποιημένη μονάδα μείωσης εκπομπών (αφορά αντισταθμίσεις /offsets που προέρχονται μόνο από την εθελοντική αγορά).

Υπάρχουν δύο αγορές ρύπων, η **υποχρεωτική (mandatory)** και η **εθελοντική (voluntary)**.

11.3.1 Υποχρεωτική (mandatory) αγορά ρύπων

Στην υποχρεωτική αγορά ρύπων οι υπόχρεοι φορείς έχουν δικαίωμα να εκπέμπουν συγκεκριμένη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα. Αν ξεπεράσουν το όριο εκπομπής μπορούν να αγοράσουν δικαιώματα εκπομπής από έναν άλλο φορέα σε θεσμοθετημένο χρηματιστήριο ρύπων. Το πιο ανεπτυγμένο υποχρεωτικό σύστημα είναι το Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Ρύπων (EU Emissions Trading System / EU-ETS) το οποίο αποτελεί μέρος των δεσμεύσεων που έχει αναλάβει κάθε χώρα στο πλαίσιο του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Άλλα συστήματα είναι τα New South Wales Greenhouse Gas Reduction Scheme (NSW GGAS), Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI), Western Climate Initiative (WCI).

11.3.2 Εθελοντική (voluntary) αγορά ρύπων

Η εθελοντική αγορά ρύπων βασίζεται στη διάθεση επιχειρήσεων, φορέων αλλά και ιδιωτών να συμμετέχουν εθελοντικά σε προγράμματα μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (**συστήματα αντιστάθμισης ρύπων-offsetting**). Σε αυτή την περίπτωση απουσιάζουν θεσμοθετημένοι κανόνες και συμμετέχουν επιχειρήσεις που προετοιμάζονται για την μετάβασή τους στην υποχρεωτική αγορά. Η εθελοντική αγορά βασίζεται σε προγράμματα περιβαλλοντικών έργων τα οποία μπορούν να πραγματοποιηθούν με μικρότερο κόστος σε σχέση με τις υποχρεωτικές αγορές και να περιλάβουν έργα μικρής κλίμακας. Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται αγορά μονάδων άνθρακα ή επένδυση σε προγράμματα μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

12.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και περιβάλλον

Η πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του 70, καθώς και οι πρώτες ενδείξεις για την αλλοίωση του περιβάλλοντος και κατ' επέκταση τον υποβιβασμό της ποιότητας των οικοσυστημάτων και της ζωής του ίδιου του ανθρώπου, έφερε στην επιφάνεια νέες στρατηγικές κάλυψης των ενεργειακών μας αναγκών, φιλικότερες προς το περιβάλλον, άμεσα εκμεταλλεύσιμες και με μικρό λειτουργικό κόστος. Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια μεγάλη προσπάθεια τόσο από τα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όσο και από κράτη μη-μέλη, για την υιοθέτηση νέων στρατηγικών και πολιτικών που σχετίζονται με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Συγκεκριμένα, οι ΑΠΕ λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια. Ενδεικτικά, στις Η.Π.Α. ένα 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2010 το 25% της ενέργειας θα προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (κυρίως υδροηλεκτρικά και βιομάζα). Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές.

Οι ανανεώσιμες ή ήπιες πηγές/μορφές ενέργειας, αποτελούν άμεσα εκμεταλλεύσιμες μορφές ενέργειας και προέρχονται από φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Παραδοσιακά, ως ΑΠΕ θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), όπως η ηλιακή και η αιολική, ενώ ο χαρακτηρισμός "ανανεώσιμες" αποτελεί ένα αυθαίρετο χαρακτηρισμό, μιας και για ορισμένες πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια, δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία που να δικαιολογούν ανανέωση σε κλίμακα χιλιετιών.

Οι ΑΠΕ χαρακτηρίζονται από δύο βασικά χαρακτηριστικά, τα οποία πλεονεκτούν έναντι των άλλων πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται σήμερα σε ευρεία κλίμακα. Συγκεκριμένα, η εκμετάλλευσή των ΑΠΕ δεν απαιτεί καμία ενεργειακή παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση, καύση. Αντίθετα απαιτείται απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Επιπλέον, οι ΑΠΕ αποτελούν καθαρές μορφές ενέργειας, φιλικές προς το περιβάλλον, μιας και η απελευθέρωση αέριων/τοξικών ουσιών/αερίων, όπως

υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα είναι μηδαμινή.

Οι ΑΠΕ βασίζονται κατά κύριο λόγο (α) στην ηλιακή ακτινοβολία, (β) τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης, και (γ) την ενέργεια απ' τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες και αποτελούν τη "συσκευασμένη" κατά τον ένα ή τον άλλο τρόπο ενέργεια (π.χ. η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης). Η αιολική εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται απ' τη θέρμανση του αέρα, ενώ οι μορφές ενέργειας που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του. Η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι ανανεώσιμη, καθώς τα γεωθερμικά πεδία κάποια στιγμή εξαντλούνται.

Οι ΑΠΕ χρησιμοποιούνται κυρίως για θέρμανση, ενώ μπορεί να μετατραπούν σε άλλες μορφές ενέργειας, όπως ο ηλεκτρισμός και η μηχανική ενέργεια. Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό απ' τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Το κόστος των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται στα ίσα παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια (στην Ελλάδα, της οποίας τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και το κλίμα ευνοούν την ανάπτυξη και την εκμετάλλευση των ΑΠΕ, η εκμετάλλευση αυτού του ενεργειακού δυναμικού θα βοήθούσε σημαντικά στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας). Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά οι κύριες μορφές ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται σήμερα για την παραγωγή ενέργειας.

12.2 Είδη ήπιων μορφών ενέργειας

12.2.1 Αιολική ενέργεια

Η κινητήρια δύναμη του πνέοντος ανέμου ήταν γνωστή από την αρχαιότητα και χρησιμοποιούνταν για την πλεύση των ιστιοφόρων και την κίνηση των ανεμόμυλων, καθώς και την άντληση νερού από πηγάδια. Σήμερα

η ενέργεια που προέρχεται από τον άνεμο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια ήπιας μορφής ενέργεια και περιλαμβάνεται στις καθαρές μορφές ενέργειας, μιας και δεν εκπέμπει αέριους ρύπους (π.χ. αέρια του θερμοκηπίου), με αποτέλεσμα οι επιπτώσεις για το περιβάλλον να είναι μικρές, σε σύγκριση με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εργοστασίων ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα (π.χ. κάρβουνο).

Τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα. Για παράδειγμα, η Ελλάδα διαθέτει τεράστια σε μήκος ακτογραμμή, ενώ διαθέτει μεγάλο πλήθος νησιών, με αποτέλεσμα κρίνεται ικανή η δημιουργία αιολικών πάρκων. Συγκεκριμένα, ο αναπτυξιακός νόμος 3299/04, σε συνδυασμό με το νόμο για της ανανεώσιμες πηγές ενέργειας 3468/06, παρέχει ισχυρότητα κίνητρα ακόμα και για επενδύσεις μικρής κλίμακας. Υπολογίζεται ότι το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό στη χώρα μας αντιπροσωπεύει το 13,6% του συνόλου των ηλεκτρικών αναγκών της. Για παράδειγμα, η περιφέρεια της Δυτικής Ελλάδας διαθέτει ένα ισχυρό ηλεκτρικό δίκτυο και το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ύπαρξη ανεμωδών «νησίδων» (λόφοι, υψώματα κλπ. με εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό) την καθιστούν ενδιαφέρουσα για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων.

12.2.2 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο, όπως η φωτεινή ενέργεια, η θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες μπορεί να χρησιμοποιηθούν για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι με την εφαρμογή παθητικών και ενεργητικών συστημάτων), καθώς και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (φωτο-βολταϊκά συστήματα). Συγκεκριμένα, τα τελευταία στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρικό ρεύμα, μέσω του φωτο-βολταϊκού φαινομένου.

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των **ημιαγωγών** υλικών σε ατομικό επίπεδο. Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το

διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκεται στην **εξωτερική του στοιβάδα** (σθένους). Από τα στοιχεία τα κυριότερα ημιαγώγιμα υλικά είναι το Γερμάνιο (Ge), το Πυρίτιο (Si) και το Σελήνιο (Se). Από αυτά το πιο σημαντικό είναι το πυρίτιο, γιατί βρίσκεται σε μεγαλύτερη αφθονία στη φύση.

12.2.3 Βιομάζα

Η ενέργεια της βιομάζας (βιοενέργεια ή *πράσινη ενέργεια*) είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια, μιας και αποτελεί προϊόν μετασχηματισμού της ηλιακής ενέργειας από τα φυτά μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Ο Νόμος Ν. 3468/06 παρέχει κίνητρα για την εκμετάλλευση της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας, ενώ σύμφωνα με τον ορισμό (ΦΕΚ Α'129/27.06.2006), ως εκμεταλλεύσιμη βιομάζα χαρακτηρίζεται το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων που προέρχονται από τις γεωργικές, συμπεριλαμβανομένων φυτικών και ζωικών ουσιών, τις δασοκομικές και τις συναφείς βιομηχανικές δραστηριότητες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών αποβλήτων και αστικών λυμάτων και απορριμμάτων.

Κατά τις διαδικασίες παραγωγής ενέργειας από τη βιομάζα, χρησιμοποιούνται κυρίως οι υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε απ' το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα και να παραχθούν καύσιμα, όπως η βιοαιθανόλη και το βιοαέριο. Βασικό πλεονέκτημα της βιομάζας είναι ότι παρέχει ενέργεια αποθηκευμένη με χημική μορφή. Η αξιοποίηση της μπορεί να γίνει με μετατροπή της σε μεγάλη ποικιλία προϊόντων, με διάφορες μεθόδους και τη χρήση σχετικά απλής τεχνολογίας. Κατά την παραγωγή και την μετατροπή της σε εκμεταλλεύσιμη ενέργεια δεν δημιουργούνται οικολογικά και περιβαλλοντολογικά προβλήματα. Αντίθετα, σαν μορφή ενέργειας η βιομάζα χαρακτηρίζεται από πολυμορφία, χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο, σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, λόγω χαμηλής πυκνότητας και/ή υψηλής περιεκτικότητας σε νερό, εποχικότητα, μεγάλη διασπορά, κλπ. Τα χαρακτηριστικά αυτά συνεπάγονται πρόσθετες, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, δυσκολίες στη συλλογή, μεταφορά

και αποθήκευσή της. Σαν συνέπεια το κόστος μετατροπής της σε πιο εύχρηστες μορφές ενέργειας παραμένει υψηλό.

12.2.4 Γεωθερμική ενέργεια

Αυτή η μορφή εκμεταλλεύσιμης ενέργειας προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται απ' τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Βασική προϋπόθεση είναι η άνοδος της θερμότητας με φυσικό τρόπο, στην επιφάνεια του εδάφους, π.χ. θερμοπίδακες ή πηγές ζεστού νερού και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για θερμικές εφαρμογές είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας αποτελεί η Ισλανδία, η οποία καλύπτει το 80-90% των ενεργειακών της αναγκών, όσον αφορά τη θέρμανση, και το 20%, όσον αφορά τον ηλεκτρισμό.

12.2.5 Ενέργεια από υδατοπτώσεις, παλίρροιες, κύματα και ωκεανούς

Η ενέργεια που προέρχεται από τις υδατοπτώσεις είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας και προϋποθέτει την κατασκευή μικρών υδροηλεκτρικών έργων. Η ενέργεια που προέρχεται από τις παλίρροιες εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει και για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό. Έχει εφαρμοστεί στην Αγγλία, τη Γαλλία, τη Ρωσία και αλλού. Με ανάλογο τρόπο, η ενέργεια των κυμάτων εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας, ενώ η παραγωγή ενέργειας από τους ωκεανούς εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων.

12.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης ΑΠΕ

Οι ΑΠΕ χαρακτηρίζονται ουσιαστικά από μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα και είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον. Επιπλέον, αποτελούν χρηματοδοτούμενες μορφές ενέργειας, οι οποίες δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, ενώ μπορεί να βοηθήσουν στην ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και

αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου, καθώς αποτελούν ευέλικτες εφαρμογές παραγωγής ενέργειας, ανάλογης με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, με χαμηλού κόστους εξοπλισμό και μεγάλο χρόνο ζωής συντήρησής του. Όσο αφορά την εκμετάλλευση της Βιομάζας, η καύση της έχει δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου - επειδή οι ποσότητες του CO₂ που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας. Επιπλέον, η μηδαμινή ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO₂) που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή. Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή, αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών (διάφορα είδη ελαιοκράμβης, σόργο, καλάμι, κενάφ) τη δημιουργία εναλλακτικών αγορών για τις παραδοσιακές καλλιέργειες (ηλίανθος κ.ά.), και τη συγκράτηση του πληθυσμού στις εστίες τους, συμβάλλοντας έτσι στη κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Μελέτες έχουν δείξει ότι η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων έχει θετικά αποτελέσματα στον τομέα της απασχόλησης τόσο στον αγροτικό όσο και στο βιομηχανικό χώρο.

Αντίθετα, η εφαρμογή ΑΠΕ δεν μπορεί να αποδώσει μεγάλες ποσότητες ενέργειας (συντελεστής απόδοσης 30% ή και χαμηλότερο) και γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας. Επιπλέον, η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους, αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται. Η εκμετάλλευση της Βιομάζας έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων παραπροϊόντων, με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, χαρακτηριστικά τα οποία δυσχεραίνουν σημαντικά την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας. Επιπρόσθετα, η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησής της, ενώ οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν υψηλό κόστος εξοπλισμού, συγκρινόμενες με αυτό των συμβατικών καυσίμων.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στο συγκεκριμένο εγχειρίδιο, έγινε μια προσπάθεια να περιγραφούν περιληπτικά τα σημαντικότερα θέματα που σχετίζονται με τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Θα ήταν άτοπο να σκεφτούμε ότι η ρύπανση είναι ένα πρόβλημα που απασχολεί μόνο ένα μικρό ποσοστό ανθρώπων, μιας και οι επιπτώσεις των ουσιών που θα μπορούσαν να βρεθούν στο περιβάλλον και να αλληλεπιδράσουν τόσο με τους αβιοτικούς όσο και με τους βιοτικούς παράγοντές του, μπορεί να επηρεάσουν τη φυσιολογική ομοιόσταση των οργανισμών και τη σταθερότητα ολόκληρων οικοσυστημάτων. Η γνώση των επιπτώσεων των ρυπογόνων ουσιών και η θέσπιση στρατηγικών για την εκτίμηση του οικολογικού κινδύνου προϋποθέτει την αφύπνιση όλων μας και ειδικότερα των αρμόδιων αρχών και επιστημόνων για τη σωστή και ουσιαστική αντιμετώπιση των προβλημάτων της ρύπανσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ*Διεθνής βιβλιογραφία:*

- Adams, S.M. (1990). Status and use of biological indicators for evaluating the effects of stress on fish. *American Fisheries Society Symposium* 8, 1-8.
- Addiscott, T.M. (1996). Fertilizers and nitrate leaching. In: Hester, R.E., Harrison, R.M. (eds) *Agricultural Chemicals and the Environment*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, pp. 1-26.
- Addison, R.F. (1996). The use of biological effects monitoring in studies of environmental pollution. *Environmental Reviews* 4, 225-237.
- Aguilar, A., Borrell, A. (1994). Assessment of organochlorine pollutants in Cetaceans by means of skin and hypodermic biopsies. In: Fossi, M.C., Leonzio, C. *Non-destructive biomarkers in Vertebrates*. Boca Raton, FL: Lewis.
- Andersson, P.L., Haglund, P., Tysklind, M. (1997). The Internal Barriers of Rotation for the 209 Polychlorinated Biphenyls. *Environmental Science and Pollution Research – International* 4, 75-81.
- Asharani, P.V., Lian, Wu, Y., Gong, Z., Valiyaveetil, S. (2008). Toxicity of silver nanoparticles in zebrafish models. *Nanotechnology* 19, 255102.
- Asplund, G., Grimvall, A. (1991). Organohalogenes in nature. *Environmental Science and Technology* 25, 1346-1350.
- Armstrong, R.N. (1991). Glutathione S-transferases: reaction mechanisms, structures and function. *Chemical Research in Toxicology* 4, 131-140.
- Ballschmiter, K. (2003). Patterns and sources of naturally produced organohalogenes in the marine environment: biogenic formation of organohalogenes. Review. *Chemosphere* 52, 313-324.
- Barbour, M.T., Gerritse, J., Snyder, B.D., Stribling, J.B. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*, 2nd Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C.
- Bayne, B.L. (1989). Measuring the biological effects of pollutants: the mussel watch approach. *Water Science and Technology* 21, 1089-1100.
- Boonstra, J. (2003). Progression through the G₁- phase of the on-going cell cycle. *Journal of Cellular Biochemistry* 90, 244-252.
- Boonstra, J. (2003). Restriction points in the G₁- phase of the mammalian cell cycle. In: Boonstra, J. (Ed.), *G₁ Phase Progression*. Kluwer Academic/Plenum, New York, pp. 1-13.
- Boonstra, J., Post, J.A. (2004). Molecular events associated with reactive oxygen species and cell cycle progression in mammalian cells. *Gene* 337, 1-13.
- Borglin, S. et al. (1996). Parameters affecting the desorption of hydrophobic organ chemicals from suspended sediments. *Environmental Toxicology and Chemistry* 15, 2254-2262.

- Breimer, L.H. (1990). Molecular mechanisms of oxygen radical carcinogenesis and mutagenesis: the role of DNA base damage. *Molecular Carcinogenesis* 3, 188-197.
- Bresler, V., Bissinger, V., Abelson, A., Dizer, H., Sturm, A., Kratke, R., Fishelson, L., Cosson R.P. (2000). Bivalve metallothionein as a biomarker of aquatic ecosystem pollution by trace metals: Limits and perspectives. *Cellular and Molecular Biology* 46, 295-309.
- Cadenas, E. (1995). Mechanism of oxygen activation and reactive oxygen species detoxification. In: Ahmad, S. (Ed.) *Oxidative Stress and Antioxidant Defenses in Biology*. Chapman and Hall, New York pp. 1-61.
- Chalbot, M.-C., Vei, I.-C., Lianou, M., Kotronarou, A., Karakatsani, A., Katsouyanni, K., Hoek, G., Kavouras, I.G. (2012). Environmental tobacco smoke aerosol in non-smoking households of patients with chronic respiratory diseases. *Atmospheric Environment* 62, 82-88.
- Clark, M.L., Peel, J.L., Balakrishnan, K., Breysse, P.N., Chillrud, S.N., Naeher, L.P., Rodes, C.E., Vette, A.F., Balbus, J.M. (2013). Health and Household Air Pollution from Solid Fuel Use: The Need for Improved Exposure Assessment. *Environmental Health Perspectives* 121, 1120-1128.
- Colvin, V.L. (2003). The potential environmental impact of engineered nanomaterials. *Nature Biotechnology* 21, 1166-1170.
- Dailianis, S. (2010). Environmental Impact of Anthropogenic Activities: The Use of Mussels as a Reliable Tool for Monitoring Marine Pollution. In: Lauren E. McGevin (ed.) *Mussels: Anatomy, Habitat and Environmental Impact*. Nova Science Publishers, pp. 43-72.
- Dailianis, S., Domouhtsidou, G.P., Raftopoulou, E., Kaloyianni, M., and Dimitriadis, V.K. (2003). Evaluation of neutral red retention assay, micronucleus test, acetylcholinesterase activity and signal transduction molecule (cAMP) in tissues of *Mytilus galloprovincialis* (L.), in pollution monitoring. *Marine Environmental Research* 56, 443-470.
- Dailianis, S., Kaloyianni, M. (2007). Role of cAMP in tissues of mussel *Mytilus galloprovincialis* as a potent biomarker of cadmium in marine ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 52, 371-378.
- Dellali, M., Gnassia-Barelli, M., Romeo, M., & Aissa, P. (2001). The use of acetylcholinesterase activity in *Ruditapes decussatus* and *Mytilus galloprovincialis* in the biomonitoring of Bizerta lagoon. *Comparative Biochemistry and Physiology* 130C, 227-235.
- Delong, R.L, Gilmartin, W.G., Simpson, J.G. (1973). Premature births in California sea lions: association with high organochlorine pollutant residue levels. *Science* 181, 1168-1170.
- Department of the Environment. Waste Management. (1997). Paper 26 B: Landfill Design, Construction and Operational Practice, HMSO.
- Department of the Environment. Waste Management. (1996). Paper 27: Landfill Gas, HMSO.

- Depledge, M.H., Galloway, T.S., Billingham, Z. (1999). Effects of endocrine disrupting chemicals in invertebrates. In: Hester, R.E., Harrison, R.M., (Eds) Endocrine Disrupting Chemicals. RSC Cambridge, pp. 49-60.
- DiPinto, L.M., Coull, B.C. (1997). Trophic transfer of sediment-associated polychlorinated biphenyls from meiobenthos to bottom-feeding fish. *Environmental Toxicology and Chemistry* 16, 2568-2575.
- Domouhtsidou, G.P., Dailianis, S., Kaloyianni, M., Dimitriadis, V.K. (2004). Lysosomal membrane stability and metallothionein content in *Mytilus galloprovincialis* (L.), as biomarkers. Combination with trace metal concentrations. *Marine Pollution Bulletin* 48, 572-586.
- Duffus, J.H., Worth, H.G.J. (1996). Fundamental toxicology for chemists. Athenaeum Press, North Yorkshire, UK.
- Dutton, S.M., Banks, D., Brunswick, S.L., Fisk, W.J. (2013). Health and economic implications of natural ventilation in California offices. *Building and Environment* 67, 34-45.
- Eden, R.D. (2002). Landfill gas and leachate. The selection of technologies to meet the objectives of integrated pollution control. www.gfredlee.com/leachatepapsli.pdf.
- Edwards, C.A., Fisher, S.W. (1991). The use of cholinesterase measurements in assessing the impacts of pesticides on terrestrial and aquatic invertebrates. In: Mineau, P. (Ed.) Cholinesterase-inhibiting Insecticides. Elsevier, Amsterdam, pp. 255-275.
- Elder, A., Yang, H., Gwiazda, R., Teng, X., Thurston, S., He, H., Oberdörster, G. (2007). Testing nanomaterials of unknown toxicity: an example using platinum nanoparticles of different shapes. *Advanced Materials* 19, 3124-3129.
- Engel, D.W., Roesijadi, G. (1987). Metallothioneins: a monitoring tool. In: Vernberg, W.B., Calabrese, A., Thurberg, F.P., Vernberg, F.J. (Eds). *Pollution Physiology of Estuarine Organisms* 17, 421-438. University of South Carolina, Press, Columbia, Belle, W., Baruch Library in Marine Science, p. 421-438.
- Enrich, M.J.D., Villaramin, J.A., Martinez, I.R., Ibarburen, I. (2002). Measurement of Adenosine 3',5'- Cyclic Monophosphate and Guanosine 3',5'- Cyclic Monophosphate in Mussel (*Mytilus galloprovincialis* Lmk.) by High-Performance Liquid Chromatography with Diode Array Detection. *Analytical Biochemistry* 285, 105-112.
- EPA (1992). A Framework for Ecological Risk assessment, EPA /630/R-92/001.
- EPA (1995). Special Report on Environmental Endocrine Disruption: An Effects Assessment and Analysis. Interim Assessment Report. Environmental Protection Agency, Washington DC, 1997.
- Environmental Research Foundation (2002). The Basics of Landfills: How they are Constructed and Why They Fall.

- Escartin, E., Porte, C. (1997). The use of cholinesterase and carboxylesterase activities from *Mytilus galloprovincialis* in pollution monitoring. *Environmental Toxicology and Chemistry* 16, 2090-2095.
- EU-MOP, (2005). Project no. TST4-CT-2004-516221 Marine Oil Pollution Status.
- EUROPEAN COMMISSION, (1995). Directorate-General III. INDUSTRY. Complication limits of contaminants in food in the legislation of Member States. Version 3.
- Fadeyi, M., Taha, R. (2013). Provision of Environmentally Responsible Interior Design Solutions: Case Study of an Office Building. *Journal of Architectural Engineering* 19, 58-70
- Fang, J., Lyon, D.Y., Wiesner, M.R., Dong, J., Alvarez, P.J.J. (2007). Effect of a fullerene water suspension on bacterial phospholipids and membrane phase behavior. *Environmental Science and Technology* 41, 2636-2642.
- Farre, M., et al. (2009). Ecotoxicity and Analysis of Nanomaterials in the Aquatic Environment. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 393.
- Farrington, J.W., Davis, A.C., Tripp, B.W, Phelps, D.K., Galloway, W.B. (1987). 'Mussel Watch'-measurements of chemical pollutants in bivalves as one indicator of coastal environment quality. In: Boyle, T.P. (Ed.) *New approaches to monitoring aquatic ecosystems*, ASTM STP 940. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, pp. 125-139.
- Federici, G., Shaw, B.J., Handy, R.D. (2007). Toxicity of titanium dioxide nanoparticles to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Gill injury, oxidative stress, and other physiological effects. *Aquatic Toxicology* 84, 415-430.
- Finnveden, G., Hauschild, M.Z., Ekvall, T., Guinee, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D., Suh, S. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management* 91, 1-21.
- Fred Lee, G., Jones-Lee, A. (2000). Appropriate use of municipal solid waste (MSW) leachate recycling in MSW-landfilling. Proceedings Air and Waste Management Association 93 rd national annual meeting CD ROM paper 00-455 Pittsburgh, PA.
- Freudenrich, C.C. How Landfills Work. 30/11/02. Available from: <http://people.howstuffworks.com/landfill.htm>.
- GESAMP Report and Studies No 75, (2007). Estimates of oil entering the marine environment from sea-based activities, London.
- Ghose, S., Akhter, M., Azharul Islam, S.M., Shahabuddin, M., Mazibur Rahman, M. (2013). Assessment of radioactive pollution around a fertilizer factory complex in the North-Eastern part of Bangladesh. *Radioprotection* 48, 575-591.
- Godoi, R.H.M., Godoi, A.F.L., Goncalves, Junior, S.J., Paralovo, S.L., et al. (2013). Healthy environment – indoor air quality of Brazilian elementary schools nearby petrochemical industry. *Science of the Total Environment* 463-464, 639-646.

- Goldberg, E.D. (1980). The international Mussel Watch. National Academy of Sciences, Washington, DC.
- Goldberg, E.D. (1986). The mussel watch concept. *Environmental Monitoring Assessment* 7, 91-103.
- Gray, J.S. (1992). Eutrophication in the sea. In : Marine Eutrophication and population dynamics. Proc. 25th European Mar. Biol. Symp. G., Columbo (Ed.). Olsen and Olsen, Denmark, pp. 3-15.
- Griffitt, R.J., Weil, R., Hyndman, K.A., Denslow, N.D., Powers, K., Taylor, D., Barber, D.S. (2007). Exposure to copper nanoparticles causes gill injury and acute lethality in zebrafish (*Danio rerio*). *Environmental Science and Technology* 41, 8178–8186.
- Hale, R.C. (1988). Disposition of polycyclic aromatic compounds in blue crabs, *Callinectes sapidus*, from the southern Chesapeake bay. *Estuaries*, 11, p. 255.
- Hansen, L.G. (1999). The ortho Side of PCBs: Occurrence and Disposition. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Hansen, P.D. (1999). Marine molluscs and fish as biomarkers of pollution stress in littoral regions of the Red Sea, Mediterranean Sea and North Sea. *Helgoland Marine Research* 53, 219-243.
- Harper, D.M. (1992). Eutrophication of Freshwaters. Chapman and Hall, London.
- Heinlaan, M., Ivask, A., Blinova, I., Dubourguier, H.C., Kahru, A. (2008). Toxicity of nanosized and bulked ZnO, CuO and TiO₂ to bacteria *Vibrio fischeri* and crustaceans *Daphnia magna* and *Thamnocephalus platyurus*. *Chemosphere* 71, 1308–1316.
- Hellawell, J.M. (1986). Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Elsevier Applied Science Publishers. London New York.
- Hinton, D.E., Baumann, P.C., Gardner, G.R., Hawkins, W.E., Hendricks, J.D., Murchelano, R.A. and Okihiro, M.S. (1992). Histopathologic biomarkers. In: Hugget, R.J., Kimerle, R.A., Mehrle, Jr, P.M. and Bergman, H.L. (Eds.) Biomarkers: biochemical, physiological and histological markers of anthropogenic stress. Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Lewis Publishers, London, pp. 155-209.
- Huang, H.-L., Yen, Y.-Y., Lin, P.-L., Chi, C.-H., Hsu, C.-C., Chen, T., Hu, C.-Y., Lin, Y.-Y., Lee, C.-H., Chen, F.-L. (2012). Household secondhand smoke exposure of elementary schoolchildren in Southern Taiwan and factors associated with their confidence in avoiding exposure: a cross-sectional study. *BMC Public Health* 12.
- Huang, Y., Ho, S.S.H., Ho, K.F., Lee, S.C., Gao, Y., Cheng, Y., Chan, C.S. (2011). Characterization of biogenic volatile organic compounds (BVOCs) in cleaning reagents and air fresheners in Hong Kong. *Atmospheric Environment* 45, 6191-6196

- Huggert, R.J., Kimerle, R.A., Mehrle, P.M., Bergman, H.L. (1992). Biomarkers; Biochemical, Physiological and Histological Markers of Anthropogenic Stress. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 347 pp.
- Institute for Environmental and Health (1999). The Ecological Significance of Endocrine Disruption: Effects on Reproductive Function and Consequences for Natural populations. IEH, Leicester, England.
- Isani, G., Andreani, G., Kindt, M., Carpena, E. (2000). Metallothioneins (MTs) in marine mollusks. *Cellular and Molecular Biology* 46, 311-330.
- Isnard, P., Lambert, S. (1988). Estimating bioconcentration factors from octanol-water partition-coefficient and aqueous solubility. *Chemosphere*, 17, 21-34.
- Jorgensen, S.E., Halling-Sorensen, B. (2000). Drugs in the environment, *Chemosphere* 40, 691-699.
- Kagi, J.H.R., and Kojima, Y. (1987). Metallothionein II, *Experientia Suppl.* Basel: Birkhauser.
- Kaloyianni, M., Dailianis, S., Chrisikopoulou, E., Zannou, A., Koutsogiannaki, S., Alamdari, D.H., Koliakos, G., Dimitriadis, V.K. (2009). Oxidative effects of inorganic and organic contaminants on haemolymph of mussels. *Comparative Biochemistry and Physiology* 149C, 631-639.
- Karr, J.R. (1981). Assesment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6, 21-27.
- Kerr, J.F., Gobe, G.C., Winterford, C.M., Harmon, B.V. (1995). Anatomical methods in cell death. *Methods in Cell Biology* 46, 1-27.
- Kiurski, J.S., Maric, B.B., Aksentijevic, S.M., Oros, I.B., Kecic, V.S., Kovacevic, I.M. (2013). Indoor air quality investigation from screen printing industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 28, 224-231
- Kukkonen, J.V.K., Landrum, P.F. (1998). Effect of particle-xenobiotic contact time on bioavailability of sediment-associated benzo[a]pyrene to benthic amphipod, *Diporeia spp.* *Aquatic Toxicology* 42, 229-242.
- Kupfer, D., Bulger, D.H. (1985). Estrogenic properties of DDT and its analogues. In: McLachlan, J.A. (Ed) *Estrogens in the Environment*. Elsevier, New York, pp. 239-245.
- Lafontaine, de Y., Gagne, F., Blaise, C., Costan, G., Gagnon, P., Chan, H.M. (2000). Biomarkers in zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) for the assessment and monitoring of water quality of the St Lawrence River (Canada). *Aquatic Toxicology* 50, 51-71.
- Land Pollution. The Department of Biodiversity and Conservation Biology.
- Landis, W.G., Yu, M.-H. (1995). Ecological risk assessment and environmental toxicology. In: *Introduction to Environmental Toxicology. Impacts of Chemicals Upon Ecological Systems*. Lewis Publs, Boca Raton, FL, 10, p. 251-268.
- Landrum, P.F. (1982). Uptake, depuration and biotransformation of anthracene by the scud *Pontoporeia hoyi*. *Chemosphere* 10, 1049-1057.

- Landrum, P.F. et al. (1985). Predicting the bioavailability of organic xenobiotics to *Pontoporeia hoyi* in the presence of humic and fulvic materials and natural dissolved organic matter. *Environmental Toxicology and Chemistry* 4, 459-467.
- Lee, R.F., Sauerheber, R., Benson, A.A. (1972). Petroleum hydrocarbons: uptake and discharge by the marine mussel *Mytilus edulis*. *Science* 177, 344-346.
- Lee, R.F. (1989). Metabolism and bioaccumulation of xenobiotics within hepatopancreas cells of the blue crab, *Callinectes sapidus*. *Marine Environmental Research* 28, 93-97.
- Lee, R.F. (2002). Bioavailability, Biotransformation and Fate of organic contaminants in estuarine animals. In: Newman, M.C., Roberts, Jr, M.H., Hale, R.C. (Eds) Coastal and Estuarine Risk Assessment. Lewis Publishers, pp. 97.
- Lovern, S.B., Owen, H.A., Klaper, R. (2008). Electron microscopy of gold nanoparticle intake in the gut of *Daphnia magna*. *Nanotoxicology* 2, 43-48.
- Lovern, S.B., Klaper, R. (2006). *Daphnia magna* mortality when exposed to titanium dioxide and fullerene (C₆₀) nanoparticles. *Environmental Toxicology and Chemistry* 25, 1132-1137.
- MacLachlan, J.A., Korach, K.S. (1994). Estrogens in the Environment, III: Global Health Implications. International Symposium. *Environmental Health Perspectives* 103 (Supplement 7), 1-178.
- Manahan, S.E. (2003) Toxicological chemistry and biochemistry. 3rd ed., Lewis publishers, USA.
- Mayer, L.M. et al. (1996). Bioavailability of sedimentary contaminants subject to deposit-feeder digestion. *Environmental Science and Technology* 30, 2641-2645.
- Means, J.C., McElroy, A.E. (1997). Bioaccumulation of tetrachlorobiphenyl and hexachlorobiphenyl congeners by *Yoldia limatula* and *Nephtys incise* from bedded sediments: effects of sediment- and animal-related parameters. *Environmental Toxicology and Chemistry* 16, 1277-1286.
- Mirmohammadi, M., Ibrahim, M.H., Ahmad, A., Kadir, M.O.A., Mohammadyan, M., Mirashrafi, S.B. (2010). Indoor air pollution evaluation with emphasize in HDI and biological assessment of HAD in the polyurethane factories. *Environmental Monitoring and Assessment* 165, 341-347.
- Monroe, M. (2001). Landfill leachate treatment: VSEP offer a revolutionary solution. TOXbase.
- Moriarty, F. (1999). Ecotoxicology, the study of pollutants in Ecosystems. Academic press. London.
- Neff, J.M. (1984). Bioaccumulation of organic micropollutants from sediments and suspended particulates by aquatic animals. *Fresenius' Zeitschrift für analytische Chemie* 319, 132-136.

- Newman, M.C. and Unger, M.A. (2003). *Fundamentals of Ecotoxicology*. Lewis Publishers, London.
- Norton S.B. et al. (1995). The US EPA's framework for ecological risk assessment. In: Hoffman, D.J., Rattner, B.A., Burton, G.A., Cairn, J. (Eds) *Handbook of Ecotoxicology*. Lewis Publishers, Boca Raton, F.L., pp. 703.
- Olsson, P.E., Kling, P., Hogstrand C. (1998). Mechanisms of heavy metal accumulation and toxicity in fish. In: Langston, W.J., Bebianno, M.J., (Eds.) *Metal metabolism in aquatic environments*. Chapman & Hall, London, pp. 321-350.
- Oberdörster, G., Oberdörster, E., Oberdörster, J. (2005). Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles. *Environmental Health Perspectives* 113, 823–839.
- Owen, R., Handy, R. (2007). Formulating the problems for environmental risk assessment of nanomaterials. *Environmental Science and Technology* 41, 5582–5588.
- Pan, Y., Neuss, S., Leifert, A., Fischler, M., Wen, F., Simon, U., Schmid, G., Brandau, W., Jahnen-Dechent, W. (2007). Size-Dependent Cytotoxicity of Gold Nanoparticles. *Small* 3, 1941–1949.
- Pentamwa, P., Oanh, N.T.K. (2008). Levels of Pesticides and Polychlorinated Biphenyls in Selected Homes in the Bangkok Metropolitan Region, Thailand. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1140, pp. 91-112
- Peters, L.D., Nasci, C., Livingstone, D.R. (1998). Immunochemical investigations of cytochrome P450 forms/epitopes (CYP1A, 2B, 2E, 3A and 4A) in digestive gland of *Mytilus sp.* *Comparative Biochemistry and Physiology* 121C, 361-369.
- Phillips, D.J.H. (1980). *Quantitative aquatic biological indicators: Their use to monitor trace metal and organochlorine pollution*. Applied Science Publishers Ltd., London.
- Pisoni, M., cogotzi, L., Frigeri, A., Corsi, I., Bonacci, S., Iacocca, A., Lancini, L., Mastrototaro, F., Focardi, S., Svelto, M. (2004). DNA adducts, benzo(α)pyrene monooxygenase activity, and lysosomal membrane stability in *Mytilus galloprovincialis* from different areas in Taranto coastal waters (Italy). *Environmental Research* 96, 63-175.
- Raftopoulou, E.K., Dailianis, S., Dimitriadis, V.K., Kaloyianni, M. (2006). Introduction of cAMP and establishment of neutral lipids alterations as pollution biomarkers using the mussel *Mytilus galloprovincialis*. Correlation with a battery of biomarkers. *Science of the Total Environment* 368, 597-614.
- Rasmussen, P.E., Levesque, C., Chenier, M., Gardner, H.D., Jones-Otazo, H., Petrovic, S. (2013). Canadian House Dust Study: Population-based concentrations, loads and loading rates of arsenic, cadmium, chromium, copper, nickel, lead, and zinc inside urban homes. *Science of the Total Environment* 443, 520-529.

- Richardson, M.L., Bowron, J.M. (1985). The fate of Pharmaceuticals chemicals in the aquatic environment-A Review. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 37, 1-12.
- Rodier, D.J., Zeeman, M.G. (1994). Ecological risk assessment. In: Cockerham, L.G., Shane, B.S. (Eds) Basic Environmental Toxicology. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 581-604.
- Roesijadi, G. (1992). Metallothioneins in metal regulation and toxicity in aquatic animals. *Aquatic Toxicology* 22, 81-113.
- Roeva, N.N., Sidorov, A.V., Yurovitskii, Y.G. (1999). Metallothioneins, protein binding heavy metals in fish. *Biological Bulletin* 26, 617-622.
- Sanger, D.M., Holland, A.F., Scott, G. (1999). Tidal creek and salt marsh sediments in south Carolina coastal estuaries: II. Distribution of organic contaminants. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 37, 458-471.
- Sarkar, A., Ray, D., Shrivastava, A.N. (2006). Molecular Biomarkers: their significance and application in marine pollution monitoring. *Ecotoxicology* 15, 333-340.
- Schlekat, C.E., Decho, A.W. Chandler, G.T. (2000). Bioavailability of particle-associated silver, cadmium and zinc to the estuarine amphipod *Leptocheirus plumulosus* through dietary ingestion. *Limnology Oceanography* 45 11-21.
- Shuai, J., Yang, W., Ahn, H., Kim, S., Lee, S., Uk-Yoon, S. (2013). Contribution of Indoor and Outdoor Nitrogen Dioxide to Indoor Air Quality of Wayside Shops. *Journal of UOEH* 35, 137-145.
- Sjaak, S., Davis, W. (2008). Air pollution emissions. In: Cutler, J. (Ed.) Encyclopedia of Earth, Environmental Information Coalition. National Council for Science and the Environment.
- Squibb, K.S., Cousins, R.J. (1974). Control of cadmium-binding protein synthesis in rat liver. *Environmental Physiology and Biochemistry* 4, 24-30.
- Stegeman, J.J. (1989). Cytochrome P-450 forms in fish: catalytic immunological and sequence similarities. *Xenobiotica* 19, 1093-1110.
- Stegeman, J.J., Teal, J.M. (1973). Accumulation release and retention of petroleum hydrocarbons by the oyster *Crassostrea virginica*. *Marine Biology* 22, 37-44.
- Sutcliffe, D.W., Jones, J.G., eds. Eutrophication: Research and Application to Water Supply. Freshwater Biological Association, Ambleside, England. 1992.
- Templeton, R.C., Ferguson, P.L., Washburn, K.M., Scrivens, W.A., Chandler, G.T. (2006). Life-cycle effects of single-walled carbon nanotubes (SWNTs) on an estuarine meiobenthic copepod. *Environmental Science and Technology* 40, 7387-7393.

- Ternes, T.A. (1998). Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. *Water Research* 32, 3245-3260.
- Tsiaka, P., Tsarpali, V., Ntaikou, I., Kostopoulou, M.N., Lyberatos, G., Dailianis, S. (2013). Carbamazepine-mediated pro-oxidant effects on the unicellular marine algal species *Dunaliella tertiolecta* and the hemocytes of mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Ecotoxicology* 22, 1208-1220.
- Turner, D.B. (1994). Workbook of atmospheric dispersion estimates: an introduction to dispersion modeling (2nd Edition), CRC Press, www.crcpress.com.
- UNEP (1993). Selected techniques for monitoring biological effects of pollutants in marine organisms. MAP Technical Reports Series No.71, Athens.
- UNEP (1997). The MED POL biomonitoring program concerning the effects of pollutants on marine organisms along the Mediterranean coasts. UNEP (OCA) MED WG 132/3 Athens Greece.
- UNEP/RAMOGGE (1999). Manual on the Biomarkers Recommended for the MED POL Biomonitoring Programme, UNEP, Athens.
- Vernouillet, G., Eullaffroy, P., Lajeunesse, A., Blaise, C., Gagne, F., Juneau, P. (2010). Toxic effects and bioaccumulation of carbamazepine evaluated by biomarkers measured in organisms of different trophic levels. *Chemosphere* 80, 1062–1068.
- Viarengo, A., Nott, J.A. (1993). Mechanisms of heavy metal cation homeostasis in marine invertebrates. *Comparative Biochemistry and Physiology* 104C, 355-372.
- Viarengo, A., Ponzano, E., Dondero, F., Fabbri, R. (1997). A Simple Spectrophotometric Method for Metallothionein Evaluation in Marine Organisms: an Application to Mediterranean and Antarctic Molluscs. *Marine Environmental Research* 44, 69-84.
- Walker, C.H., Sibly, R.M., Hopkin, S.P., Peakall, D.B. (2012). Principles of Ecotoxicology. 4th edition, Taylor and Francis, London.
- Wayne R.P, (1990). Chemistry of Atmospheres, 2nd Ed, Oxford Univ. Press, Oxford, UK.
- Weisburger, E.K. (1978). Mechanisms of chemical carcinogenesis. Annual Review of Pharmacology and Toxicology 18, 395-415.
- Yeo, M.K., Kang, M. (2008). Effects of Nanometer Sized Silver Materials on Biological Toxicity During Zebrafish Embryogenesis. *Bulletin of the Korean Chemical Society* 29, 1179–1184.
- Zhao, Q., Pang, X.F., Liu, L.W., Deng, B. (2007) The biological effect of iron oxide and its hydrate nanoparticles. *Solid State Phenomena* 121–123, 735–738.

Ελληνική βιβλιογραφία:

- Αλεξόπουλος Α.Β.**, (2004). Πανεπιστημιακές σημειώσεις, ανατύπωση «Διεθνές θαλάσσιο περιβαλλοντικό δίκαιο». Τμήμα Θαλασσίων Επιστημών, Ακαδημαϊκό έτος 2004-2005.
- Βαλαβανίδης Α.** (2007). Οικοτοξικολογία και Περιβαλλοντική Τοξικολογία. Ερευνητική μεθοδολογία για την εκτίμηση οικολογικού κινδύνου από επικίνδυνες χημικές ουσίες. Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2007. Το βιβλίο βρίσκεται δωρεάν στο διαδίκτυο (www.chem.uoa.gr) εκπαιδευτικό υλικό, ιστοσελίδες μαθημάτων.
- Δημητριάδης, Β., Καλογιάννη, Μ., Λαζαρίδου, Μ.** (2006). Οικοτοξικολογία. Τμήμα Εκδόσεων, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Νταϊλιάνης Σ.**, (2005). Μελέτη Βιοχημικών παραμέτρων και μηχανισμών που σχετίζονται με την μεταγωγή του σήματος σε ιστούς του μυδιού *Mytilus galloprovincialis* (Lmc), μετά από έκθεσή του σε ρυπογόνους παράγοντες. Συμβολή στην καθιέρωση νέων βιομαρτύρων ρύπανσης. Διδακτορική Διατριβή του Τμήματος Βιολογίας, Α.Π.Θ.
- Κατσιμπάρδης Κ.** (2007): Θαλάσσιες μεταφορές και ατμοσφαιρική ρύπανση: Διεθνείς και κοινοτικές ρυθμιστικές προσεγγίσεις. Το κείμενο αποτελεί επεξεργασμένη μορφή εισήγησης, η οποία παρουσιάστηκε στο Συνέδριο με θέμα «Περιβάλλον και Θαλάσσιες Μεταφορές. Σε αναζήτηση μιας βιώσιμης προσέγγισης» που πραγματοποιήθηκε στη Χίο από τις 19 έως τις 22 Απριλίου 2007.
- Κοδοσάκης Ε. Δ.** (1994): Διαχείριση φυσικών πόρων και ενέργεια. Εκδ. Α. Σταμούλη, Αθήνα.
- Κυρτόπουλος Σ., Βαλαβανίδης Α.** (1994): Συνθετική έκθεση. Επιστημονική Έρευνα και Κανονιστικές Πολιτικές στον Έλεγχο των Επιβλαβών Επιπτώσεων των Χημικών Ουσιών του Περιβάλλοντος στην Ανθρώπινη Υγεία και το Οικοσύστημα. Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών- Ινστιτούτο Βιολογικών Ερευνών και Βιοτεχνολογίας, ΕΙΕ, Αθήνα, Μάρτιος 1994.
- Λατινόπουλος Π., Θεοδοσίου Ν.** (2007). Διδακτικές σημειώσεις για του φοιτητές του 10^{ου} εξαμήνου στο μάθημα «Εκμετάλλευση και προστασία των υδατικών πόρων».

Δικτυακές συνδέσεις για αναζήτηση πληροφοριών:

ΑΙΓΑΙΟ: Ένας απέραντος πετρελαιοφόρος ορίζοντας (πηγή: <http://www.styx.gr/index.cfm?Action=RTCL&CLiD=51>).

Διεργασίες που υφίσταται το πετρέλαιο στη θάλασσα (πηγή: www.itopf.com/fate.html).

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), (πηγή: <http://www.cres.gr>).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Σύμβολα επισήμανσης των τοξικών ουσιών σύμφωνα με τις οδηγίες 88/379 και 89/178 της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Σύμβολο	Εικόνα	Σημασία
T		Τοξικό. Μπορεί να δηλητηριάσει τον άνθρωπο, τα ζώα, τα πουλιά και τα φυτά. Μπορεί να προκαλέσει σοβαρές αρρώστιες ακόμη και θάνατο.
X _n Xi		Επιβλαβές, Ερεθιστικό. Μπορεί να ερεθίσει το δέρμα και τα μάτια και να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου.
C		Διαβρωτικό. Μπορεί να κάψει το δέρμα. Οι ατμοί τους μπορούν να μας κάψουν τα μάτια. Μπορεί ακόμη να καταστρέψει ένα άλλο προϊόν.
N		Επικίνδυνο για το περιβάλλον. Μπορεί να βλάψει το νερό, τον αέρα, έδαφος και τα ζώα έτσι και την υγεία του ανθρώπου.
E		Εκρηκτικό. Μπορεί εύκολα να δώσει έκρηξη και να προκαλέσει εγκαύματα.
F		Εύφλεκτο. Μπορεί να πάρει εύκολα φωτιά. Παράγει επικίνδυνους ατμούς που μπορούν να ερεθίσουν το δέρμα, τα μάτια και τα πνευμόνια μας.
O		Οξειδωτικό. Μπορεί να κάψει το δέρμα. Αντιδρά με άλλες ουσίες και δίνει επικίνδυνους ατμούς. Μπορεί να σκουριάσει μέταλλα.