

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μικροπλαστικά στο Υδάτινο Περιβάλλον

Σοφία Βαρενίδου – Αναστασία Βασιλοπούλου

Βόλος 2023

Μικροπλαστικά στο υδάτινο περιβάλλον

Microplastics in the aquatic environment

Τριμελής Εξεταστική επιτροπή :

1. **Δημήτριος Κλαουδάτος**, Επίκουρος Καθηγητής του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Γνωστικό Αντικείμενο: Αλιεία, Επιβλέπων.

2. **Δημήτριος Βαφειδής**, Καθηγητής του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Γνωστικό Αντικείμενο: Βιοποικιλότητα των Θαλάσσιων βενθικών Ασπονδύλων και άμεση-έμμεση χρησιμότητά τους, Μέλος.

3. **Νικόλαος Νεοφύτου**, Αναπληρωτής Καθηγητής, του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Γνωστικό Αντικείμενο: Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Μέλος.

ΑΦΙΕΡΩΝΩ ΣΤΑ ΕΓΓΟΝΑΚΙΑ ΜΟΥ

Μαριλένα, Δημήτρη, Σοφία , που με τόση αγάπη και χαρά παρακολουθούσαν τις σπουδές μου .

Βαρενίδου Σοφία

ΑΦΙΕΡΩΝΩ ΣΤΟΝ ΜΠΑΜΠΑ ΜΟΥ...

Βασιλοπούλου Αναστασία

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ειλικρινείς μας ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρουμε σε πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Δημήτριο Κλαουδάτο για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του, κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μας, αποτελούμενη από τους Δημήτριο Βαφείδη και Νικόλαο Νεοφύτου, για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας. Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στις οικογένειές μας για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής διατριβής ήταν μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης να γίνει μια λεπτομερής περιγραφή για την τύχη των πλαστικών ρύπων στο περιβάλλον και συγκεκριμένα στους υδάτινους αποδέκτες και τις επιπτώσεις τους στους υδρόβιους οργανισμούς και στην δημόσια υγεία. Υπολείμματα από εκατοντάδες ευρέως φάσματος χρησιμοποιούμενων πλαστικών ρύπων εισέρχονται στο περιβάλλον μέσα από ένα πολύπλοκο δίκτυο πηγών και οδών και καταλήγει να ρυπαίνει όλα τα υδάτινα οικοσυστήματα. Είναι πια τεκμηριωμένη η παγκόσμια εμφάνιση πλαστικών ρυπαντών στα οικοσυστήματα γλυκού νερού, στα εκβολικά οικοσυστήματα των ποταμών, στα θαλάσσια περιβάλλοντα, στα υπόγεια ύδατα αλλά και στο πόσιμο νερό, με τα μεγαλύτερα επίπεδα ρύπανσης να εντοπίζονται στην εκροή των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και τα θαλάσσια ύδατα.

Ο Alexander Parkes κατασκεύασε το πρώτο πλαστικό πολυμερές το 1855. Ο Wallace Carothers κατασκεύασε το συνθετικό πλαστικό (νάιλον) το 1935 στα εργαστήρια της εταιρίας Du Pont. Η μαζική παραγωγή πλαστικών άρχισε στη δεκαετία του 1940 και έκτοτε εξαπλώθηκαν παγκοσμίως προκαλώντας αυτή την τεράστια ρύπανση. Έχουν ανιχνευθεί στον αέρα, στο έδαφος και σε όλα τα υδάτινα περιβάλλοντα. Γνωρίζοντας ότι προκαλούν μεταβολές της βιολογικής ισορροπίας του υδάτινου συστήματος, με την εισβολή τους, αποστερούν την ασφαλή τροφή για την βιοκοινότητα και ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για την υποβάθμιση του υδάτινου περιβάλλοντος, την εξαφάνιση των ανταγωνιστών και την μετάλλαξη των οργανισμών. Παρουσιάζονται οι επιδράσεις τους στους οργανισμούς μέσω της εισπνοής της αναπνοής και της κατάποσης. Παρουσιάζεται η νομοθεσία και οι δράσεις στην Ελλάδα και σε παγκόσμια κλίμακα, αναλύονται τρόποι αποκομιδής και προτείνεται η ύπαρξη συγκεκριμένης στρατηγικής και λήψη κατάλληλων μέτρων προτείνοντας λύσεις και δράσεις.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Μικροπλαστικά, μακροπλαστικά, νανοπλαστικά.



Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	1
1.2 ΠΛΑΣΤΙΚΑ	2
1.3 ΜΑΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΑ	5
1.4 ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΑ	6
1.5 ΝΑΝΟΠΛΑΣΤΙΚΑ	10
2. ΤΡΟΦΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ	12
2.1 ΣΧΕΣΕΙΣ ΤΡΟΦΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΣΤΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	12
2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΡΥΠΩΝ ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	16
3. ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ	19
3.1 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΕ ΥΔΡΟΒΙΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ	20
3.2 ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΙΔΩΝ ΤΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ	20
3.3 ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ	21
3.4 ΕΙΣΧΩΡΗΣΗ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟ ΚΥΤΤΑΡΟ	21
3.5 ΈΡΕΥΝΕΣ ΣΕ ΘΑΛΑΣΣΟΠΟΥΛΙΑ	22
3.6 ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΕ ΨΑΡΙΑ	23
3.7 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΣΕ ΑΛΛΟΥΣ ΥΔΡΟΒΙΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ	24
4. ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ	26
4.1 ΑΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	27
4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΝ	28
5. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ	30
5.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ	30
5.2 ΚΑΤΑΠΟΣΗ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ	32
6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	35
6.1 NEUSTON CATAMARAN (MANTA)	35
6.2 ΔΙΧΤΥΑ ΠΛΑΓΚΤΟΥ	36
6.3 ΔΙΧΤΥΑ BONGO NETS	37
6.4 ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΑΣ ΠΛΑΓΚΤΟΥ (CPR)	38
6.5 ΕΠΙΒΕΝΘΙΚΟ ΕΛΚΗΘΡΟ	39
6.6 ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΣ ΠΥΡΗΝΟΛΗΠΤΗΣ	40
7. ΣΧΟΛΙΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	42
7.1 ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ	42
7.2 ΑΕΙΦΟΡΙΑ	43
7.2.1 Οι πέντε πρακτικές που καθορίζουν τη μηδενική παραγωγή πλαστικών ρύπων	44
8. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	45
8.1 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	45
8.2 ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΚΑΙ ΔΡΑΣΕΙΣ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ	46
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	49
9.1 ΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	49
9.2 ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΣΠΩΜΕΝΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ	51
9.3 ΚΡΑΤΑΜΕ ΣΤΑ ΧΕΡΙΑ ΜΑΣ ΤΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΠΛΑΝΗΤΗ	51
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	53
10.1 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	53
10.2 ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	53
11. ABSTRACT	64

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ιστορική αναδρομή

Η ιστορική αναδρομή για τα πλαστικά μας οδηγεί πίσω στο 1856, όπου ο Alexander Parkes ανακάλυψε την παρκεσίνη, το πρώτο υλικό που έμοιαζε πολύ με φυσική κυτταρίνη (celluloid), για να έρθει το 1870 ο John Wesley Hyatt στην έρευνα του για ένα υποκατάστατο του ελεφαντόδοντου και να εξελίξει κι άλλο το κυτταρινοειδές (celluloid), και να αρχίσει η κατασκευή μπάλων μπιλιάρδου και φωτογραφικών φιλμ. Το πρώτο όμως συνθετικό πολυμερές που μοιάζει περισσότερο με το σημερινό πλαστικό είναι ο βακελίτης, ο οποίος εφευρέθηκε από τον Leo Baekeland το 1909. Ο βακελίτης έχει την ιδιότητα να παίρνει οποιοδήποτε σχήμα όταν τον θερμαίνεις και μετατρέπεται σε ένα σκληρό υλικό όταν κρύνει. Χρησιμοποιήθηκε για να κατασκευαστούν χερούλια, τηλέφωνα, εξαρτήματα αυτοκινήτων, έπιπλα ακόμα και κοσμήματα. Η εφεύρεση του βακελίτη οδήγησε σε πολλές άλλες εφευρέσεις με σχετικά παρόμοιες ιδιότητες και άνοιξε τον δρόμο για να ανακαλυφθούν οι σημερινοί τύποι πλαστικών όπως θα δούμε στα επόμενα κεφάλαια.

Ένας διαχωρισμός των πλαστικών είναι οι δυο μεγάλες κατηγορίες, των θερμοσκληρυνόμενων και των θερμοπλαστικών.

Τα θερμοσκληρυνόμενα πλαστικά έχουν την ιδιότητα αφού κρυσώσουν και σκληρύνουν να κρατούν αυτή την μορφή και δεν μπορούν να επιστρέψουν στην αρχική τους κατάσταση. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται σε εξαρτήματα αυτοκινήτων, αεροπλάνων και λάστιχων.

Τα θερμοπλαστικά από την άλλη είναι λιγότερο άκαμπτα και αν ζεσταθούν παίρνουν την αρχική τους μορφή. Είναι τα πιο πολυπληθή και ευρέως γνωστά πλαστικά γιατί χρησιμοποιούνται κυρίως για τις συσκευασίες.

1.2 Πλαστικά

Το πλαστικό ήταν μια υπέροχη καινοτομία για τα χρόνια δημιουργίας του, σχεδιασμένη για την οικονομία. Πολλές ζωές έχουν σωθεί στον τομέα της υγείας, η ανάπτυξη της καθαρής ενέργειας από ανεμογεννήτριες και ηλιακούς συλλέκτες έχει διευκολυνθεί σε μεγάλο βαθμό, η ασφαλής αποθήκευση τροφίμων αποτελεί μεγάλη δυνατότητα για τα νοικοκυριά. Πως όμως ένα πολλά υποσχόμενο υλικό έγινε σύμβολο της ανθρώπινης περιβαλλοντικής βεβήλωσης;

Το πλαστικό αποτελείται από δομικά στοιχεία πετρελαίου και αερίου, εκατό τις εκατό πολυμερές με μεγάλη τοξική δράση. Είναι συνθετικά ή ημι συνθετικά οργανικά υλικά, παράγωγα του πετρελαίου, που περιέχουν αλκάνια, κυκλοαλκάνια, αρωματικές και θειούχες ενώσεις. Όμως η φύση είχε συνθέσει μακρομόρια πριν από εκατομμύρια χρόνια και σε αυτά βασίζεται κυρίως ο φυτικός και ζωικός κόσμος. Κάποια φυσικά πολυμερή, όπως το άμυλο και οι πρωτεΐνες, είναι απαραίτητα για τη ζωή, ενώ άλλα όπως το φυσικό λάστιχο (το καουτσούκ) έχουν τεράστια τεχνολογική και εμπορική σημασία. Τα πολυμερή μπορεί να είναι:

(α)φυσικά προϊόντα (κυτταρίνη, καζεΐνη),

(β)τροποποιημένα φυσικά προϊόντα (τεχνητό μετάξι, εβονίτης),

(γ)συνθετικές ουσίες που σχηματίζονται με χημικές αντιδράσεις από πρώτες ύλες με μικρό μοριακό βάρος.

Στην τελευταία αυτή κατηγορία ανήκουν και τα πλαστικά. Είναι βασικά υλικά στη σύγχρονη ζωή, τη δημόσια υγεία και την ιατρική. Διαθέτουν υψηλή αντοχή, ευελιξία, ευκολία στη χρήση τους και εξαιρετικά χαμηλό κόστος. Πολλά προϊόντα καλλυντικής φροντίδας, ρουχισμού και άλλα μέσω βιοχημικών διεργασιών, εισέρχονται στα οικοσυστήματα ενώ περιέχουν πολυαιθυλένιο (PE), πολυπροπυλένιο (PP) (ένα σχετικά ασφαλές πλαστικό), τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET) (πολυαιθυλενικός εστέρας ο οποίος μπορεί να εκλύσει αντιμόνιο σε υψηλές θερμοκρασίες), πολυμεθύλιο (PMMA) και νάιλον.

Μια έρευνα που έγινε στις ΗΠΑ (Gouin et al, 2011) έδειξε ότι από τα προϊόντα προσωπικής φροντίδας, περίπου 100 τόνοι παρακάμπτουν την επεξεργασία λυμάτων και καταλήγουν



μέσω του αποχετευτικού συστήματος στον ωκεανό. Από τον ωκεανό μέσω της τροφικής αλυσίδας ίχνη πλαστικού θα καταλήξουν στο στομάχι μας. Στον πίνακα 1. Μπορούμε να δούμε τα είδη των πλαστικών και το ποσοστό ανακύκλωσης τους.

Πίνακας 1. Είδη πλαστικών και ποσοστό ανακύκλωσης τους (Πηγή: Treat & Williams, 2018).



Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι τύποι πολυμερών η χρήση τους και το μοριακό τους βάρος.

Πίνακας 2. Τύποι πολυμερών, χρήσεις τους και μοριακό τους βάρος (Πηγή: Andrady, 2017).

ΤΥΠΟΣ ΡΗΤΙΝΗΣ	ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ
Πολυεθυλένιο	Πλαστικές σακούλες, δοχεία αποθήκευσης τροφίμων	0,91-0,95
Πολυπροπυλένιο	Φιάλες, καπάκια, δίχτυα ψαρέματος, ιμάντες	0,90-0,92
Πολυστυρένιο (διευρυμένο)	Δοχεία κατάψυξης, πλωτήρες, ποτήρια	0,01-1,05
Πολυστυρένιο	Εργαλειοθήκες	1,04-1,09
Πολυβινύλιο χλωριωμένο	Σωλήνες και ταινίες	1,16-1,30
Πολυαμίδιο (ναύλον)	Δίχτυα ψαρέματος και σχοινιά	1,13-1,15
Τερεφθαλικό Πολυεθυλένιο	Μπουκάλια και ιμάντες	1,34-1,39
Υαλοποιημένος πολυεστέρας	Υφάσματα και βάρκες	>1,35
Οξική κυτταρίνη	Φίλτρα τσιγάρων	1,22-1,24

Τα πλαστικά απορρίμματα σε όλες τις μορφές και μεγέθη, αποτελούν έναν πολύ σοβαρό ρυπαντή για τα επιφανειακά ύδατα, τα οικοσυστήματα γλυκού νερού, τα θαλάσσια περιβάλλοντα, τα



υπόγεια ύδατα αλλά και το πόσιμο νερό, απειλώντας όλα τα υδάτινα οικοσυστήματα. Στην φωτογραφία που ακολουθεί (Εικόνα 1) βλέπουμε πως επιπλέον αναλλοίωτα στην επιφάνεια της θάλασσας εμποδίζουν τη διέλευση του φωτός στην υδάτινη στήλη και παρεμποδίζουν την πορεία των ιχθύων.



Εικόνα 1. Παρεμπόδιση κίνησης και διέλευσης ηλιακής ακτινοβολίας (Πηγή: Marine Pollution National Geographic).

Μελέτες, έχουν εκτιμήσει τα υπολείμματα πλαστικών ρύπων (Cozar et al., 2014; Sebille et al, 2015). Οι εκτιμήσεις των περιβαλλοντικών συγκεντρώσεων κυμαίνονται από 8 εκατομμύρια τόνους πλαστικών που αφήνονται στις ακτές παγκοσμίως ανά έτος, σε σύγκριση με μια εκτίμηση ενός εκατομμυρίου τόνων που παρασύρονται από τη θάλασσα (Eriksen et al., 2014).

Το 80 % των απορριμμάτων που καταλήγουν στη θάλασσα αποτελούνται από πλαστικό. Η ρύπανση από πλαστικό αναγνωρίζεται ως παγκόσμια κρίση, περισσότερα από 700 θαλάσσια είδη έρχονται σε επαφή με πλαστικά απορρίμματα σε διάφορα σημεία των ωκεανών από τον ισημερινό μέχρι τους πόλους Το πλαστικό στη θάλασσα γίνεται τροφή των πλαγκτονικών ειδών, των ψαριών και μέσω της τροφικής αλυσίδας του ανθρώπου.

Σε πολλές περιοχές του πλανήτη γίνεται κακή διαχείριση αποβλήτων. Απουσιάζουν οι κατάλληλα διαμορφωμένοι χώροι υγειονομικής ταφής και υπάρχει έλλειψη εγκαταστάσεων ανακύκλωσης για επαναχρησιμοποίηση των πλαστικών προϊόντων. Τα πλαστικά απόβλητα συσσωρεύονται στα υδάτινα οικοσυστήματα άμεσα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2 και έμμεσα από

διάφορες πηγές. Το πλαστικό καθώς διασπάται σε μικρότερα σωματίδια χωρίς να αλλοιώνεται η σύνθεση του, μεταφέρεται μέσω των όμβριων υδάτων και των πλωτών διαδρομών (ποτάμια λίμνες) και με τη δύναμη του αέρα σε όλο τον ωκεανό. Πέραν των αρνητικών επιπτώσεων του ίδιου του πλαστικού είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι μπορεί να μετατραπεί σε μια επιφάνεια, που θα φιλοξενήσει άλλες τοξίνες. Μια τέτοιου είδους τοξίνη είναι τα PCBs (Polychlorinated biphenyls), με την οποία και συνδέεται.



Εικόνα 2. Πλαστικοί ρύποι που περνούν στο θαλάσσιο περιβάλλον. (Πηγή: Marine Pollution National Geographic).

Μέσω φυσικών και χημικών διεργασιών το πλαστικό διασπάται σε μικρότερα κομμάτια τα οποία αναλόγως μεγέθους διαχωρίζονται σε μακροπλαστικά, μικροπλαστικά και νανοπλαστικά.

1.3 Μακροπλαστικά

Τα μακροπλαστικά είναι μία ορατή απειλή μεγέθους μεγαλύτερο από 5mm (Arthur et al., 2008; Barnes et al., 2009), τα οποία μόλις έρθουν σε επαφή με το υγρό περιβάλλον

θρυμματίζονται. Με την βοήθεια της υπεριώδους ακτινοβολίας, του ανέμου, του άλατος και του κυματισμού, επιταχύνεται η διαδικασία διάσπασης των πλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον (Εικόνα 3). Επίσης μέσω του αποχετευτικού συστήματος αστικών λυμάτων καταλήγουν στους υδάτινους υποδοχείς, πολλές φορές, ως συνέπεια της ατελούς απομάκρυνσής τους από μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Σύμφωνα με έρευνες έχει αποδειχθεί ότι κάθε ένας από εμάς απελευθερώνει μέσω των προϊόντων φροντίδας και μέσω των συνθετικών ινών του ιματισμού, 2,4 μικρογραμμάρια πλαστικού καθημερινά. Με αυτή την συχνότητα συσσωρεύονται (στις πέντε μεγάλες δίνες), ρυπαίνουν τον ωκεανό και καθιζάνουν στα ιζήματα.



Εικόνα 3. Μακροπλαστικά στην αμμουδιά μιας πολυσύχναστης παραλίας (Πηγή: Microplastics in human stool).

1.4 Μικροπλαστικά

Τα μικροπλαστικά είναι ρύποι αναδυόμενης ανησυχίας, ανεξάρτητα από την αλατότητα του περιβάλλοντος μέσου. Τα μύδια και οι αχιβάδες - τα φίλτρα του θαλασσινού νερού- κρύβουν συχνά στο σώμα τους μικροπλαστικά, αόρατα δια γυμνού οφθαλμού. Τη μεγαλύτερη απειλή αποτελούν τα μικροπλαστικά (microplastics) στο θαλάσσιο περιβάλλον, από το όνομα και μόνο

καταλαβαίνει κανείς πως μιλάμε για μικροσκοπικά πλαστικά σωματίδια. Τα μικροπλαστικά είναι μια μορφή ανθρωπογενών σκουπιδιών που συσσωρεύονται στους ωκεανούς τουλάχιστον τα τελευταία 40 χρόνια (Wright et al., 2013). Τα εν λόγω σκουπίδια, τα οποία συλλέγονται από τα επιφανειακά ύδατα και την άμμο των παραλιών, περιλαμβάνουν σφαιρίδια ρητίνης, σύνθετα σφαιρίδια που προέρχονται από μεγαλύτερα κομμάτια πλαστικού, και μικρά πλαστικά θραύσματα (Moore, 2008). Η διάσπαρτη κατανομή των μικροπλαστικών είναι αποτέλεσμα του κατακερματισμού και της μεταφοράς από τον άνεμο και τα ρεύματα στο υδάτινο περιβάλλον, από εγχώριες λίμνες και ποτάμια στον ανοιχτό ωκεανό και πιθανώς την εναπόθεση στις ακτές ή στον πυθμένα της θάλασσας (Shimanaga & Yanagi, 2016). Στον Πίνακα 3, μπορούμε αναλυτικά να δούμε τα χαρακτηριστικά, τις επιδράσεις και την συμπεριφορά τους στα υδάτινα περιβάλλοντα.

Μια σημαντική επίπτωση της ύπαρξης μικροπλαστικών στο περιβάλλον αποτελεί η βιολογική τους ενσωμάτωση στους οργανισμούς. Συχνά τα μικροπλαστικά, μέσω της κατάποσής τους από τους οργανισμούς ή της αναπνοής, ενσωματώνονται στους ιστούς, με αποτέλεσμα να έχουν βρεθεί μικροπλαστικά τόσο στις γαστρεντερικές, όσο και στις αναπνευστικές οδούς υδρόβιων οργανισμών. Είναι γεγονός ότι τα μικροπλαστικά μπορεί να περιέχουν μια μεγάλη ποικιλία πρόσθετων. Η ανταλλαγή προσθετικών ή ρυπογόνων ουσιών μεταξύ των μικροπλαστικών σωματιδίων και του υδάτινου περιβάλλοντος εξαρτάται τόσο από τη συγκέντρωση, όσο και από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του πλαστικού πολυμερούς και τις χημικές διεργασίες αποικοδόμησης που δρουν στα μικροπλαστικά (Pinto da Costa et al., 2023).

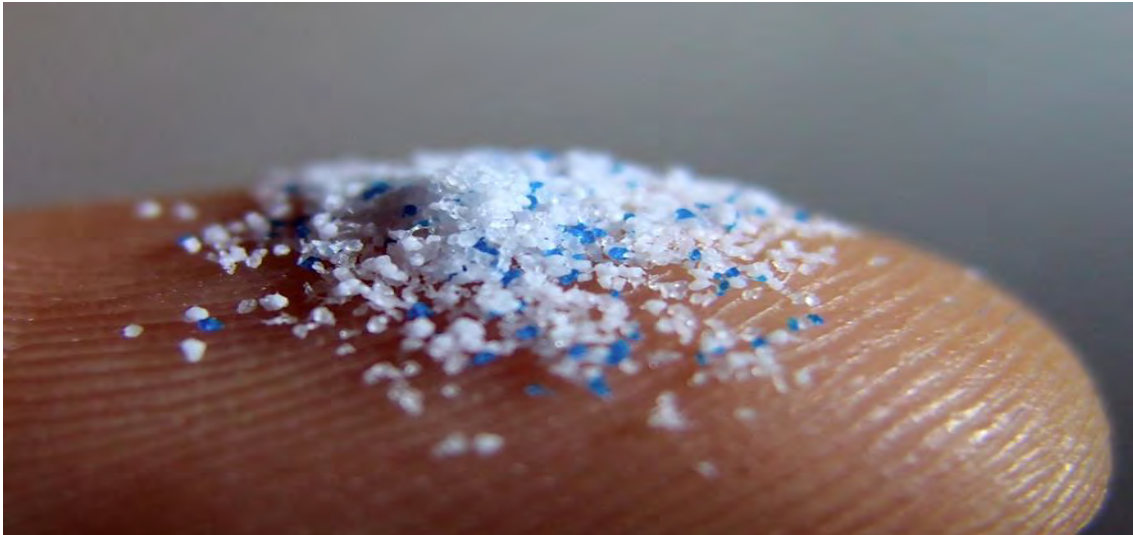
Οι ανθεκτικοί οργανικοί ρύποι (POPs) που απαντώνται καθολικά στο θαλάσσιο νερό σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις προσλαμβάνονται από τα μέσο/μικροπλαστικά. Οι φθαλικές ενώσεις και οι BPA είναι γνωστοί ενδοκρινικοί διαταράκτες σε ψάρια, καρκινοειδή και ασπόνδυλα και έχει αποδειχθεί ότι προκαλούν ολικές σωματικές και μοριακές επιδράσεις σε συγκεντρώσεις στην περιοχή ng / L σε µg / L (Cole, 2011).

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά μικροπλαστικών ιδιότητες και επιρροές στα υδάτινα περιβάλλοντα.

Χαρακτηριστικά	Ιδιότητες	Συμπεριφορά	Επιδράσεις
Πυκνότητα	Πλευστότητα	Που θα βρεθεί στην υδάτινη στήλη	Υπάρχει η δυνατότητα μεταβολής από πρόσθετα η επιφανειακούς αποικιστές
Διαφάνεια	Καθορίζει την ευκολία της οξειδωτικής του υποβάθμισης	Γνωστά τα εύρη τιμών	Οξειδωτική υποβάθμιση. Ευμετάβλητα
Χημική σύσταση	Καθορίζει την ευκολία οξείδωσης του στο περιβάλλον	Διαφορετικές αν περιέχουν σταθεροποιητές	Διαφορές στο χρόνο αποδόμησης
Ταχύτητα βιοδιάσπασης	Καθορίζει το ρυθμό ορυκτοποίησης	Πιθανότητα αφαιρέσεως του από την υδάτινη στήλη η τα ιζήματα	Συνήθως είναι μη βιοδιασπώμενα εκτός από τις εξαιρέσεις των βιοσυνθετικών και των βιοπολυμερών
Υπολειμματικό Μονομερές	Τοξικότητα των υπολειμμάτων	Τοξικά	Τοξικότητα στους οργανισμούς που τα καταναλώνουν
Ιδιότητες μεταφοράς	Βιοδιαθεσιμότητα	Ρυθμός διήθησης στο περιβάλλον του στομάχου	Γνωστός ο χρόνος για τις ρητίνες αλλά μεταβαλλόμενος λόγω του δείκτη διαυγείας
Προσθετικά	Ανάλογα με τη συγκέντρωση	Τοξικότητα	Ανεπιθύμητες επιδράσεις στους οργανισμούς
Ιδιότητες επιφάνειας	Ρυθμός βιοσυσσώρευσης	Ρυθμός βύθισης	Βιοσυσσώρευση και στους οργανισμούς καταναλωτές
Σχήμα	Πλευστότητα	Υδροδυναμικά χαρακτηριστικά	Ρυθμός ανάπτυξης αποικιών οργανικής ύλης και χρόνος καθίζηση στο ίζημα

Νέες μελέτες δείχνουν αυξανόμενες αφθονίες μικροπλαστικών, δείχνοντας ότι ο σχηματισμός των μικροπλαστικών δεν περιορίζεται στη θάλασσα, αν και πρωτοεμφανίστηκαν εκεί. Οι πρώτες παρατηρήσεις πλαστικού στους ωκεανούς έγιναν το 1972 στο δυτικό Βόρειο Ατλαντικό, οι οποίες αποτελούνταν από σφαιρίδια και υποβαθμισμένα υπολείμματα που βρέθηκαν σε πλαγκτό (Carpenter & Smith, 1972). Μετά από εκείνη την εύρεση, ακολούθησαν μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στο Βόρειο Ειρηνικό (Wong, 1974; Shaw & Mapes, 1979) και στο Νότιο Ατλαντικό Ωκεανό (Morris, 1980). Οι επιστήμονες άρχισαν να κατανοούν τις παγκόσμιες επιπτώσεις των κατακερματισμένων πλαστικών που ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις. Τα μικροπλαστικά διασκορπίζονται μέσω των θαλάσσιων ρευμάτων. Είναι αόρατες μικροσκοπικές ίνες πλαστικού, μεγέθους από 0.1 έως 5000 μικρόμετρα (μm) ή 5 χιλιοστών (Εικόνα 4.).





Εικόνα 4. Ίχνη μικροπλαστικών στο ακροδάχτυλο ανθρώπινου χεριού (Πηγή: Getty Images).

Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες τα πρωτογενή και τα δευτερογενή. Τα πρωτογενή είναι σχεδιασμένα για εμπορική χρήση καλλυντικά, μικροίνες από ρούχα και προϊόντα κλωστοϋφαντουργίας, προϊόντα αλιείας (δίχτυα κ.α.). Τα δευτερογενή μικροπλαστικά (φιάλες νερού, αναψυκτικών, δίχτυα αλιείας, πλαστικές σακούλες) δημιουργούνται από την υποβάθμιση των μεγαλύτερων πλαστικών προϊόντων μέσα από φυσικές διεργασίες αποσάθρωσης.

Η κατανομή τους στο θαλάσσιο περιβάλλον επιτυγχάνεται με την αποσάθρωσή τους, με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, του αέρα και του κυματισμού. Αποτελούν πρόβλημα μεγάλο διότι δεν διασπώνται εύκολα σε αβλαβή μόρια, χρειάζονται εκατοντάδες ίσως πολλές φορές και χιλιάδες χρόνια για να γίνει η αποσύνθεση. Για το λόγο αυτό, μεγάλη συγκέντρωση ουσιών όπως τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs) και οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (RAHs), μπορούν να συσσωρευθούν στα μικροπλαστικά. Στον Πίνακα 4, που ακολουθεί διαχωρίζουμε τα πρωτογενή από τα δευτερογενή μικροπλαστικά και εξηγούμε την ανίχνευσή τους στο περιβάλλον.

Υπάρχουν επίσης υπολείμματα από χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται στις συσκευασίες, όπως η διφαινόλη Α (BPA). Τα υλικά αυτά αποικοδομούνται με αργό ρυθμό (πολλές φορές και χιλίων ετών) κατάσταση που αυξάνει την πιθανότητα να προσληφθούν και να συσσωρευθούν

σε όργανα και ιστούς πολλών οργανισμών. Μερικές φορές η συγκέντρωση των μικροπλαστικών μπορεί να ξεπεράσει την συγκέντρωση του ζωοπλαγκτού κατά έξι φορές.

Πίνακας 4. Διαχωρισμός πρωτογενών και δευτερογενών μικροπλαστικών και πηγές διασποράς.

Πρωτογενή μικροπλαστικά	Δευτερογενή μικροπλαστικά
Προϊόντα προσωπικής φροντίδας που περιέχουν μικροπλαστικά για απολέπιση	Απώλεια από χωματερές, εγκαταστάσεις ανακύκλωσης
Προϊόντα καθημερινής φροντίδας οδοντόκρεμες, αφρόλουτρα, κρέμες	Οργανικά λύματα, βαφές από συνθετικά πολυμερή
Κρέμες ξυρίσματος και αφροί ξυρίσματος	Απόρριψη εξοπλισμού από αλιευτικά σκάφη
Αντιηλιακά	Χρήση βελτιωτικών εδάφους και λιπασμάτων
Προκατασκευασμένα πλαστικά σφαιρίδια	Τριβή από λάστιχα οχημάτων και γηπέδων
Πλαστικά σε μορφή σκόνης	Απώλεια λόγω φυσικών καταστροφών
Ειδικές πλαστικές μικροχάντρες για ανίχνευση αερίου και πετρελαίου	Απώλεια πλαστικών υλικών κατά τις οικοδομικές εργασίες

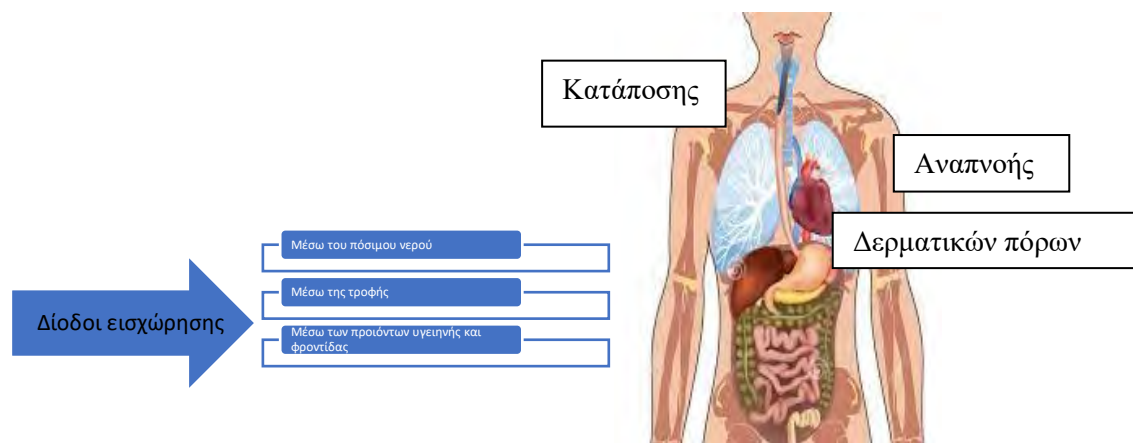
1.5 Νανοπλαστικά

Πρόσφατες έρευνες ορίζουν ως μικροπλαστικό το σωματίδιο μικρότερο του 1 mm και νανοπλαστικό το σωματίδιο που έχει τουλάχιστον μία διάστασή του μικρότερη από 1 μm (Andrady, 2017). Στη παρούσα διπλωματική εργασία ως μικροπλαστικό ορίζεται το σωματίδιο με εύρος μεγέθους 1 μm – 2 mm, σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες που έχουν γίνει (Ryan et al., 2019; Moore et al., 2021).

Τα μικροπλαστικά εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα, διασπώνται σε μικρότερα και ακόμη πιο μικρά κομμάτια, (nanoplastics) θραύσματα μεγέθους 0,001 έως 0,1 μm . Μικρά σωματίδια πλαστικού που φέρουν αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο, (έλκουν θετικά φορτισμένα στοιχεία) όπως είναι τα διάφορα παθογόνα (τοξίνες) και μπορούν να περάσουν απευθείας από την αναπνευστική οδό, από τους πόρους του δέρματος, από τον αιματοεγκεφαλικό φραγμό και την μεμβράνη που προστατεύει τον εγκέφαλο, να διεισδύσουν στους ιστούς πυροδοτώντας αντιδράσεις του ανοσοποιητικού συστήματος. Προκαλούν σοβαρό κίνδυνο στην υγεία κάθε υδρόβιου οργανισμού. Ο ίδιος αυξημένος κίνδυνος υπάρχει και για τα χερσαία είδη και τον άνθρωπο.



Μια πρόσφατη μελέτη (Teng et al., 2022) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα νανοπλαστικά αλλάζουν τη σύνθεση και την ποικιλομορφία του μικροβιώματος του εντέρου σε σπονδυλωτά και ασπόνδυλα. Η μελέτη επαληθεύει ότι τα νανοπλαστικά επηρεάζουν τη σύνθεση και την ποικιλομορφία του εντερικού μικροβιώματός προκαλώντας βλάβη στην υγεία. Μικροπλαστικές ίνες έχουν ανιχνευθεί στον πνευμονικό ιστό. Υπάρχει κατάποση μικροινών και νανοπλαστικών στο ανθρώπινο σώμα μέσω εισπνοής σωματιδίων όπως βλέπουμε στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5. Δίοδοι εισόδου νανοπλαστικού στον ανθρώπινο οργανισμό (Πηγή: Pixabay.com.images).

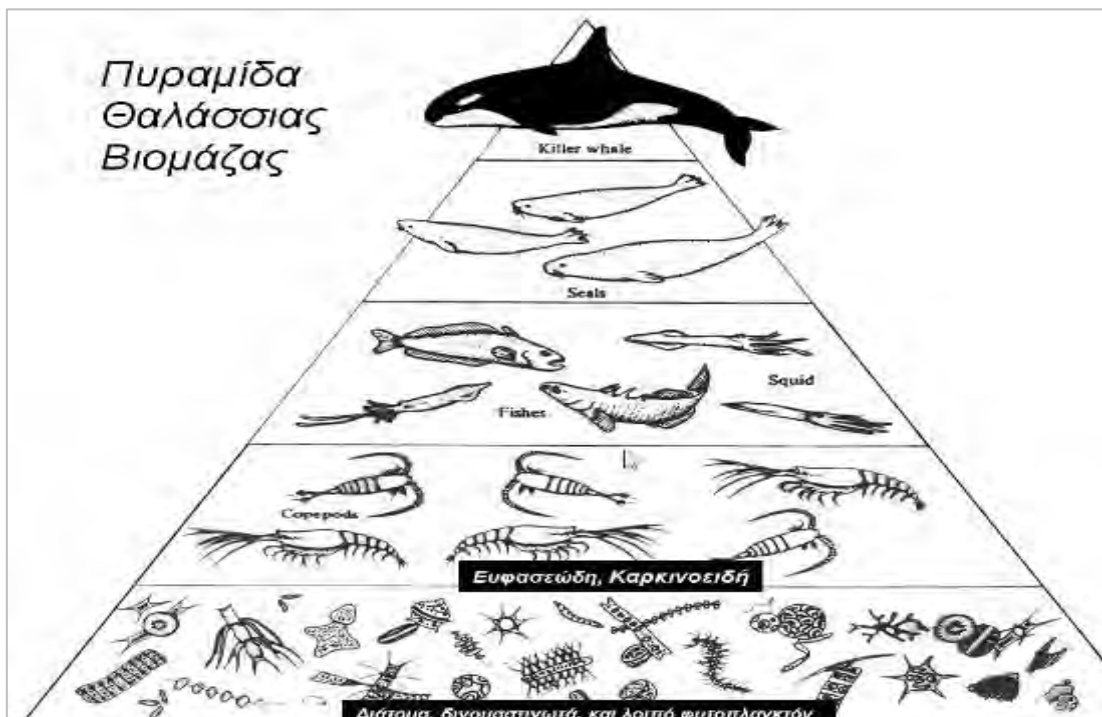
Η είσοδος από τους δερματικούς πόρους προϋποθέτει τη διείσδυση μέσω της κεράτινης στοιβάδας, η οποία περιορίζεται σε σωματίδια ≤ 100 nm, οπότε μόνο τα νανοσωματίδια αναμένεται να προσλαμβάνονται από το δέρμα (Revel et al., 2018).

2. ΤΡΟΦΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο επικεντρώνεται στην μεγάλη σημασία που έχει η κατανάλωση μικροπλαστικών στις σχέσεις των οργανισμών και πως επιβαρύνει την τροφική αλυσίδα. Όταν οι οργανισμοί που έχουν καταναλώσει μικροπλαστικά καταναλωθούν με τη σειρά τους από θηρευτές, τα μικροπλαστικά σωματίδια ενσωματώνονται στους οργανισμούς καταναλωτών υψηλότερου επιπέδου.

2.1 Σχέσεις τροφικής αλυσίδας στα οικοσυστήματα

Κοπήποδα, πολύχαιτοι, βενθικά ασπόνδυλα η βάση της τροφικής αλυσίδας ,τρέφεται με μικροπλαστικά που καθιζάνουν στο ίζημα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6. Το θαλάσσιο ισόποδο *Idotea marginata* έχει αποδειχθεί ότι προσλαμβάνει ως τροφή πλαστικά σφαιρίδια και μικροίνες χωρίς να δείχνει κάποια επιλεκτικότητα ως προς την τροφή που δεν περιέχει μικροπλαστικά (Sialubanje et al., 2014).



Εικόνα 6. Πυραμίδα θηράματος και θηρευτή (Πηγή: Deposit photos).



Μύδια που συλλέχθηκαν από τις ακτές του Βελγίου βρέθηκε ότι έχουν 2,6 έως 5,1 μικροίνες ανά γραμμάριο μαλακού ιστού (De Witte et al., 2014). Η πλήρης αποδόμηση των μικροπλαστικών, έχει αποδειχθεί πως δεν είναι δυνατή σε υδάτινα περιβάλλοντα και μπορεί να παραμένουν για εκατοντάδες χρόνια κυρίως στην επιφάνεια του θαλασσινού νερού.

Τα πρωτογενή και τα δευτερογενή μικροπλαστικά και νανοπλαστικά καταναλώνονται με ευκολία από μικροσκοπικούς υδρόβιους οργανισμούς και μπορούν να μεταφερθούν μέσω της τροφικής αλυσίδας σε μεγαλύτερους οργανισμούς (Nolasco et al., 2023). Σε μικρότερους οργανισμούς μπορούν να προκαλέσουν μηχανικές καταπονήσεις καθώς η απέκκριση είναι αδύνατη. Επίσης μπορεί να απορροφήσουν ρύπους από το περιβάλλον και να τους μεταφέρουν στους οργανισμούς που θα τα καταναλώσουν. Παράλληλα ενσωματώνουν πρόσθετα τα οποία μπορεί να απελευθερωθούν στο γαστρεντερικό σύστημα των οργανισμών υπό κατάλληλες συνθήκες και να προκαλέσουν λοιμώξεις και άλλες βλάβες.

Οι Wang et al. (2019) αναφέρουν ότι η συγκέντρωση μικροπλαστικών στους βενθικούς οργανισμούς κυμάνθηκαν από 1,7 έως 47 τεμάχια ανά γραμμάριο, με τα υψηλότερα επίπεδα να εμφανίζονται στα καρκινοειδή (6,5 έως 47 τεμάχια ανά γραμμάριο) ακολουθούμενα από τα ψάρια (1,7 έως 27,5 τεμάχια ανά γραμμάριο) και τα εχινόδερμα (4,3 έως 9,8 τεμάχια ανά γραμμάριο). Αποτελέσματα παρόμοια προκύπτουν από μελέτες σε άλλες θαλάσσιες περιοχές (Mathalon and Hill, 2014).

Οι σχέσεις της τροφικής αλυσίδας ή οι ροές ενέργειας στα οικοσυστήματα μπορούν να μεταβληθούν. Η αστάθεια των φθαλικών ενώσεων (ενώσεις που μειώνουν τη συνοχή μεταξύ των μοριακών αλυσίδων και της δισφαινόλης A, ένα μονομερές συστατικό πλαστικών δοχείων για τρόφιμα και ποτά, μέσα στα πλαστικά προϊόντα, διευκολύνει την απόσπαση τους και έχει αναφερθεί ευρέως ο υψηλός βαθμός παρουσίας τους σε υδάτινα περιβάλλοντα, ιδιαίτερα στις αποστραγγίσεις των χώρων υγειονομικής ταφής (Avio et al., 2017).

Λόγω της μεγάλης αναλογίας επιφάνειας προς όγκο μικροπλαστικών, οι θαλάσσιοι οργανισμοί μπορεί να εκτεθούν απευθείας σε εκπλυόμενα πρόσθετα μετά την κατάποση

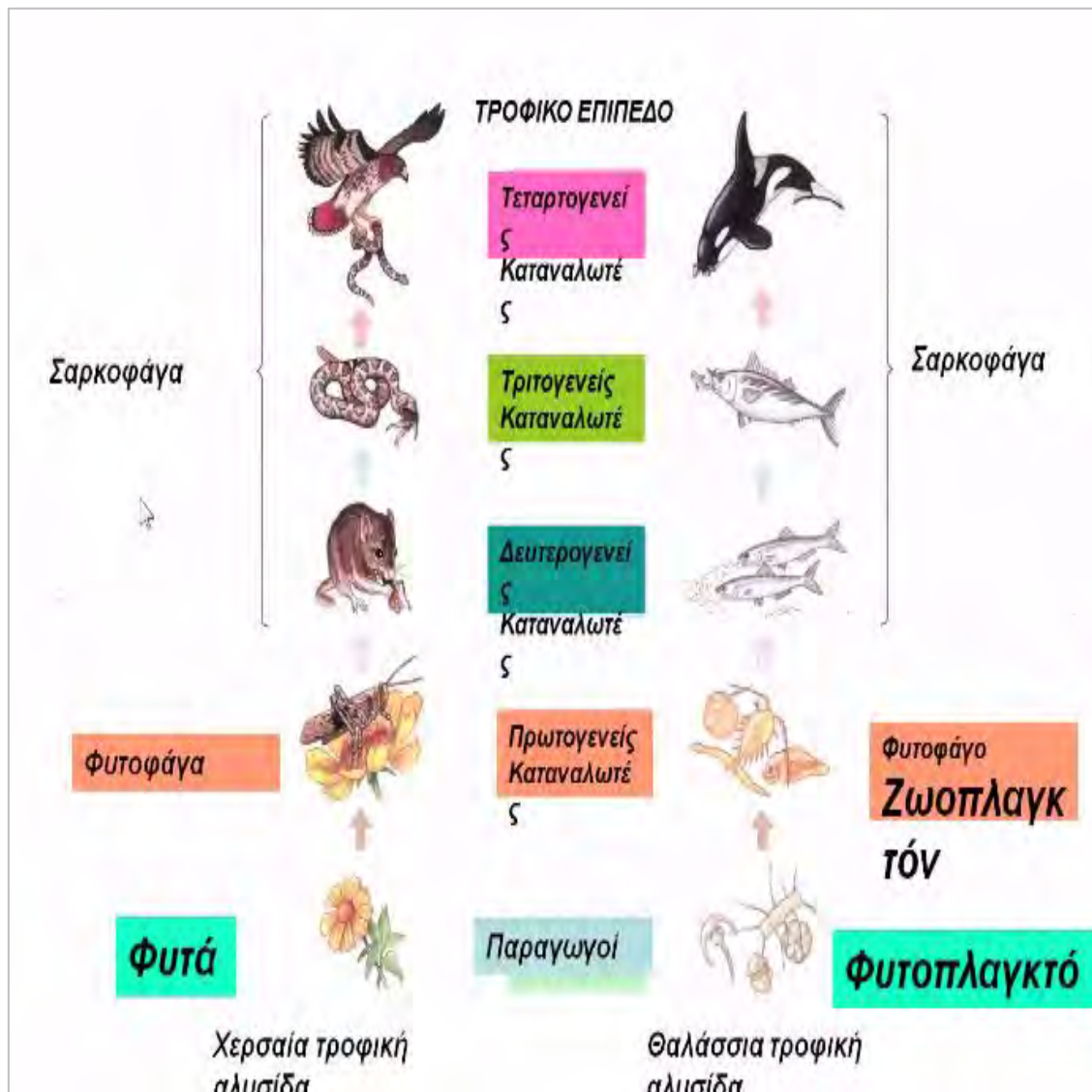


μικροπλαστικών. Τέτοια πρόσθετα και μονομερή μπορούν να παρεμβληθούν σε βιολογικά σημαντικές διεργασίες, οι οποίες ενδέχεται να οδηγήσουν σε ενδοκρινικές διαταραχές, οι οποίες με τη σειρά τους μπορούν να επηρεάσουν την κινητικότητα, την αναπαραγωγή, την ανάπτυξη και την καρκινογένεση. Τα μικροπλαστικά, είναι ευαίσθητα στο να προσροφούν στην μεγάλη για τον όγκο τους επιφάνεια, οργανικούς ρύπους (POPs), οι οποίοι θεωρούνται τοξικοί για τους οργανισμούς και για τον άνθρωπο (PCBs, PAHs, DDT) (Li et al., 2016). Οι ανθεκτικοί οργανικοί ρύποι (POPs) που απαντώνται καθολικά στο θαλάσσιο νερό σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις προσλαμβάνονται από τα μέσο/μικροπλαστικά. Η υδροφοβικότητα των POPs είναι εκείνη που διευκολύνει τη συγκέντρωσή τους στα μέσο/μικροπλαστικά απορρίμματα σε επίπεδο που είναι αρκετές τάξεις μεγέθους υψηλότερο από αυτό του θαλασσινού νερού. Αυτά τα μολυσμένα πλαστικά, όταν προσλαμβάνονται από θαλάσσια είδη, αποτελούν μια αξιόπιστη οδό μέσω της οποίας οι POPs μπορούν να εισέλθουν στο θαλάσσιο τροφικό πλέγμα. Μικροπλαστικά έχουν βρεθεί και σε πλαγκτονικές βιοκοινότητες. Μικροπλαστικά θραύσματα διαμέτρου 1,7 – 30,6 μm μπορούν να καταναλωθούν από το ζωοπλαγκτό, το οποίο εν συνεχεία εκκρίνει περιττωματική ύλη μολυσμένη με μικροπλαστικά. Μαζί με την κατάποση, τα μικροπλαστικά προσκολλώνται στον εξωσκελετό του ζωοπλαγκτού. Γενικά έχει βρεθεί πως ο κύριος λόγος που το ζωοπλαγκτό καταναλώνει μικροπλαστικά είναι επειδή αυτά εκπέμπουν παρόμοιες ουσίες, με το φυτοπλαγκτό όπως το διμεθυλοσουλφίδιο. Με περίοδο πέψης δύο ημερών, θα χρειαστούν τουλάχιστον δεκατέσσερις μέρες για να απορριφθούν τα μικροπλαστικά από έναν οργανισμό που τα έχει καταναλώσει. Τα συνολικά αποτελέσματα των μελετών για τα ψάρια και τα ασπόνδυλα δείχνουν ότι οι μολυσματικές ουσίες που σχετίζονται με μικροπλαστικά έχουν τη δυνατότητα να συσσωρεύονται στους ιστούς και να προκαλούν επιδράσεις που είναι ειδικές για το μολυσματικό και το πλαστικό πολυμερές, συμπεριλαμβανομένης της ενδοκρινικής διαταραχής, των τροποποιήσεων συμπεριφορών και των αλλαγών στις μεταβολικές διεργασίες.

Η ενσφήνωση των μικροπλαστικών σωματιδίων στα βράγχια των υδρόβιων οργανισμών μπορεί να διαρκέσει μεγάλο χρονικό διάστημα. Είναι αρκετά δύσκολο να μελετηθούν όλες οι



διαστάσεις σε πολύπλοκα οικοσυστήματα, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν πολλές αλληλεξαρτήσεις οργανισμών με το φυσικό περιβάλλον (Εικόνα 7).



Εικόνα 7 . Τροφική αλυσίδα χερσαία και θαλάσσια. Αλληλεξαρτήσεις οργανισμών (Πηγή: Bing images).

Υπάρχει αλληλεξάρτηση των οργανισμών βάση της τροφικής αλυσίδας οι άνωθεν εξαρτώνται τροφικά από τους κάτωθεν παραγωγούς τροφής είτε ανήκουν στη χέρσο είτε στα υδάτινα περιβάλλοντα. Οι πρωτογενής παραγωγή είναι υπεύθυνη για τη σταθερότητα και την διατροφή ολοκλήρου του οικοσυστήματος, η καθίζηση μικροπλαστικών τρέφει τους πρωτογενής παραγωγούς και αυτοί με τη σειρά τους τρέφουν όλους τους άνωθεν μεγαλύτερους οργανισμούς.

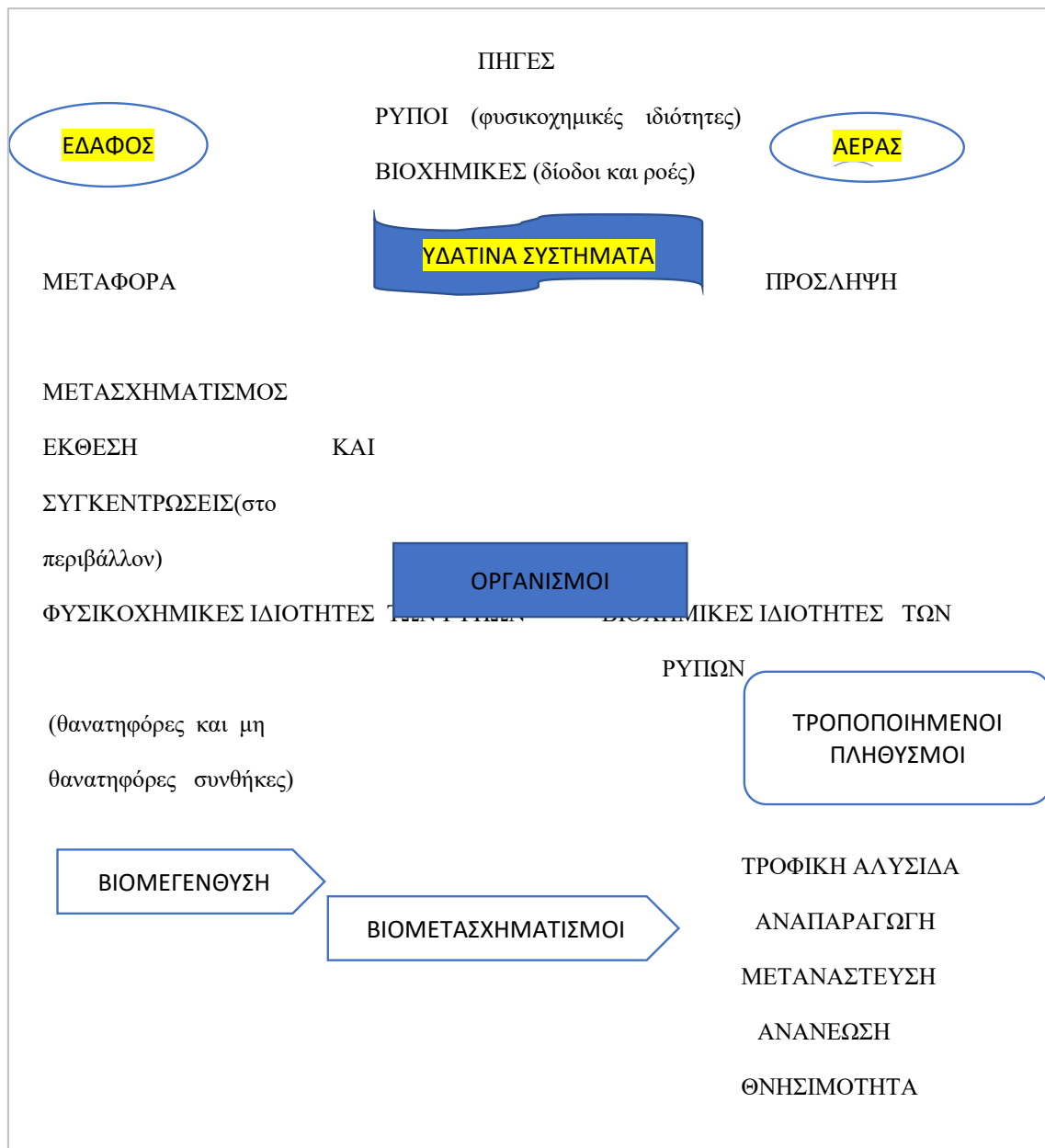
2.2 Επίδραση ρύπων στα φυσικά οικοσυστήματα

Από το έδαφος το νερό και τον αέρα μπορεί να γίνει πρόσληψη των ρύπων, οι οποίοι μεταφέρονται μέσα στους οργανισμούς μετασχηματίζονται και εκθέτουν κινδύνους. Με διαφορετικό τρόπο σε κάθε οργανισμό επηρεάζουν ανάλογα με την προέλευση τις ιδιότητες και την χημική τους σύσταση, προκαλώντας θανατηφόρες ή μη συνθήκες βάσει των φυσικοχημικών τους ιδιοτήτων. Αν τους εξετάσουμε με γνώμονα τα βιοχημικά μονοπάτια, είναι η αιτία των τροποποιημένων πληθυσμών των ειδών, χερσαίων και υδάτινων οικοσυστημάτων. Περνούν μέσα στους οργανισμούς μέσω της αναπνοής, των δερματικών πόρων μέσω της τροφής και της πόσης νερού. Διερχόμενοι από την τροφική αλυσίδα βιοσυσσωρεύονται στους οργανισμούς προκαλώντας προβλήματα στην ευζωία στον αναπαραγωγικό κύκλο στους απογόνους. Οι οργανισμοί εξαναγκάζονται σε μετανάστευση όταν οι ρύποι καθιστούν μη βιώσιμο το οικοσύστημα και εγκαταλείπουν τη βιοκοινότητα με κίνδυνο της ζωής τους. Αναλυτικά μπορούμε να δούμε το Σχήμα 1. Η επιρροή των μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον μπορεί να είναι χημικής, φυσικής ή βιολογικής προέλευσης (Pereao et al., 2020). Η τύχη των μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον καθορίζεται από γεωφυσικές διαδικασίες στις οποίες περιλαμβάνονται η βύθιση των πλαστικών με μεγαλύτερη πυκνότητα από το νερό, η βιο - αποδόμηση, η φωτό - αποδόμηση, η χημική υποβάθμιση, η μηχανική απόξεση και η ανάμιξη των υδάτων μεταξύ των επιφανειακών και των μεσαίων στρωμάτων στους ωκεανούς, διαδικασίες οι οποίες δεν έχουν κατανοηθεί πλήρως. Η κατανόηση της διανομής των μικροπλαστικών μεταξύ διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών, μεταξύ ανοικτών και κλειστών θαλασσών, μεταξύ επιφανειακών, μεσαίων νερών και βενθικών περιβαλλόντων καθώς και η κίνηση τους κατακόρυφα και οριζόντια μέσα στους ωκεανούς είναι πολύ σημαντική προκειμένου να εξακριβώσουμε τις επιδράσεις της ρύπανσης στους θαλάσσιους οργανισμούς και στο περιβάλλον καθώς και για να μπορέσουμε να την ελέγξουμε (GESAMP, 2015).

Τα πλαστικά έχουν αναφερθεί σε μια ευρεία γκάμα τροφίμων και ποτών, συμπεριλαμβανομένων των θαλασσινών (Rochman et al., 2015), του πόσιμου νερού (Mason et al., 2018), του αλατιού και της ζάχαρης (Rist et al., 2018) και του αέρα. Οι ερευνητές έχουν καταλήξει στο



συμπέρασμα, ότι η εξέλιξη της μεταφοράς των μικροπλαστικών στη θαλάσσια τροφική αλυσίδα εξαρτάται από το είδος των μικροπλαστικών και την ποσότητά τους, αλλά και από το είδος του οργανισμού που θα τα καταναλώσει.



Σχήμα 1. Πηγές εισόδου των μικροπλαστικών στο περιβάλλον, τρόποι πρόσληψης από τους οργανισμούς και κίνδυνοι που αντιμετωπίζουν.

Μπορεί να γίνει απέκκριση από τον αρχικό καταναλωτή στο περιβάλλον, να συσσωρευτεί στους ιστούς του, όπως στο κοπάδι *Eurytemora affinis* ή να παραμείνει στο γαστρεντερικό

του σύστημα και να μεταφερθεί στον θηρευτή του (Setälä et al., 2013). Δε φαίνεται να υπάρχει όμως συσχέτιση μεταξύ του αριθμού των μικροπλαστικών που έχουν καταναλωθεί και του μεγέθους, του σχήματος ή της θέσης του οργανισμού στην τροφική αλυσίδα (Jovanovic, 2017). Διαφορετικά σε μεγαλύτερα σε ηλικία και μέγεθος είδη θα ανιχνεύοντουσαν μεγαλύτερες ποσότητες μικροπλαστικών. Αυτό που φαίνεται να ισχύει όμως είναι ότι η ποσότητα των μικροπλαστικών που ανιχνεύτηκε σε πελαγικά είναι μεγαλύτερη από ότι σε βενθικά ψάρια ανεξάρτητα από το αν είναι αρπακτικά είδη ή όχι (Güven et al., 2017). Έχουν υπάρξει έρευνες που αποδεικνύουν την ύπαρξη μικροπλαστικών στο γαστρεντερικό σύστημα οργανισμών στο περιβάλλον που καλύπτουν σχεδόν το σύνολο της τροφικής αλυσίδας καθώς έχουν βρεθεί σε φύκη (άλγη), φυτά, πρωτόζωα, δίδυρα μαλάκια, καρκινοειδή, ψάρια και θηλαστικά. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο περιβάλλον δεν μπορεί να αποδειχθεί η προέλευση των μικροπλαστικών, δηλαδή το αν τα μικροπλαστικά καταναλώθηκαν απευθείας από τον οργανισμό (άμεση μεταφορά) ή μεταφέρθηκαν σε αυτόν μέσω της τροφικής αλυσίδας (έμμεση μεταφορά) (Duis & Coors, 2016; 2017), με αποτέλεσμα να αυξάνει η ανησυχία σχετικά με τον κίνδυνο που αντιμετωπίζει η ανθρώπινη υγεία μέσω της κατάποσης και της εισπνοής (Waring et al., 2018).

3. ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΣΤΟΥΣ ΙΣΤΟΥΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται τα δεδομένα της επιστημονικής κοινότητας σε πολλούς οργανισμούς που έχουν μελετηθεί. Περιγράφονται οι τρόποι και οδοί εισαγωγής, η επίδραση τους, σε ποια όργανα συσσωρεύονται, με ποιον τρόπο απεκκρίνονται και ποιες είναι οι επιπτώσεις στην βιοκοινότητα.

Μελέτη σε δείγματα ιζήματος στο Θερμαϊκό Κόλπο έδειξε μικροπλαστικές ίνες σε όλα σχεδόν τα δείγματα (Kermenidou et al, 2023). Δείγματα από διάφορα περιβαλλοντικά διαμερίσματα, όπως το θαλασσινό νερό, τοπικές παραλίες και επτά εμπορικά διαθέσιμα είδη ψαριών. Τα θαλάσσια ιζήματα συσσωρεύουν πλαστικές ίνες από το θαλασσινό νερό. Ίχνη νανοπλαστικών έχουν ανιχνευθεί στην πεπτική οδό στα δίθυρα μαλάκια και μαλακόστρακα όπως τα στρείδια και τα μύδια σύμφωνα με την έρευνα που έχει κάνει η Ευρωπαϊκή Αρχή EFSA (ειδικοί σε θέματα ασφάλειας των εθνικών τροφίμων). Μείζον οικολογικό πρόβλημα αποτελούν τα μικροπλαστικά που λόγω του μικρού τους μεγέθους και της παρουσίας τους τόσο στην επιφάνεια όσο και στο βυθό, έχουν μεγάλες πιθανότητες να καταποθούν από ένα ευρύ φάσμα οργανισμών, ιδιαίτερα όταν οι μηχανισμοί τροφοδοσίας δεν επιτρέπουν τη διάκριση μεταξύ σωματιδίων (Duis and Coors, 2016; Baztan et al., 2017a). Παγκοσμίως από διάφορες έρευνες που έχουν γίνει, 344 είδη θαλάσσιων οργανισμών έχουν βρεθεί παγιδευμένα σε πλαστικούς ρύπους ανθρώπινης απροσεξίας. Στη Μεσόγειο θάλασσα βρέθηκαν μικροπλαστικοί ρύποι σε ποσοστό 35% σε πληθυσμούς των θαλάσσιων πουλιών, 27% των ψαριών, 20% των πληθυσμών των ασπονδύλων, 13% σε θαλάσσια θηλαστικά και θαλάσσιες χελώνες. Ενδεικτικά το 90% των θαλασσοπουλιών έχει κάποιο κομμάτι πλαστικού στο στομάχι του. Αναφέρονται παρακάτω ορισμένες από τις επιπτώσεις της κατάποσης όπως παρατηρήθηκαν από επιστήμονες.

Παρατηρήθηκαν σοβαρές επιπτώσεις στη βιοκοινότητα.

1. Μείωση του αριθμού των ατόμων του πληθυσμού.
2. Μείωση των ειδών της κοινότητας.



3. Εμφάνιση μεμονωμένων θανάτων από την άμεση δράση τοξικών παραγόντων ή εξαιτίας του φαινομένου της βίο-συγκέντρωσης.

3.1 Ανίχνευση μικροπλαστικών σε υδρόβιους οργανισμούς

Με ανατομική εξέταση μεμονωμένων οργάνων, (στομάχου, εντέρου, βραγχίων) και ιστών και με τη βοήθεια των μικροσκοπίων σάρωσης (SEM), τα οποία παρέχουν απεικόνιση και στοιχειακή υψηλή ανάλυση, καθαρές εικόνες των μικροπλαστικών σωματιδίων (Silva et al., 2018; Wang & Wang, 2018; Elkhatib & Oyanedel-Craver, 2020), πετυχαίνοντας έτσι το χημικό και μορφολογικό χαρακτηρισμό τους (Rocha-Santos & Duarte, 2015; Wang & Wang, 2018). Η συνδυασμένη χρήση της SEM και της φασματοσκοπίας, διασποράς ενέργειας ακτίνων-X (energy dispersive X-ray spectroscopy, EDS) είναι σε θέση να παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τη στοιχειακή σύνθεση των μικροπλαστικών και των ανόργανων πρόσθετων που αυτά περιέχουν. Ωστόσο αποτελέσματα αναλύσεων, σε ιστούς για ανίχνευση μικροπλαστικών έδειξε ότι τα χλωριωμένα πλαστικά, όπως το PVC, μπορούν εύκολα να προσδιοριστούν λόγω των μοναδικών στοιχειακών υπογραφών τους, από την παρουσία χλωρίου.

3.2 Μείωση των ειδών της κοινότητας

Η μεταλλαξιογόνος δράση των ουσιών ελέγχεται με βραχυχρόνιες δοκιμασίες *in vivo* και *in vitro*. Οι δοκιμασίες τοξικότητας και επιδράσεων στα υδάτινα οικοσυστήματα απαιτούν σχεδιασμό και μακροχρόνια μελέτη του φυσικού αποδέκτη πολλών μετρήσεων και παρακολούθηση πολλών φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων. Η πρόσληψη των ουσιών από τους οργανισμούς εξαρτάται από τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες και τον τρόπο εισόδου. Οι οργανισμοί μπορούν να παρουσιάσουν αμελητέες, θανατηφόρες ή μη αντιδράσεις, όπως είναι η μείωση της αναπαραγωγικής ικανότητας ή αλλαγές στην συμπεριφορά.



3.3 Συσσώρευση μικροπλαστικών στους ιστούς

Οι τοξικές ουσίες επιδρούν στη λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος. Μπορούν να διαπεράσουν τους βιολογικούς ιστούς και μέσω του αίματος και του κυκλοφορικού συστήματος να μεταφερθούν σε άλλα όργανα του σώματος. Η διαδερμική οδός είναι και αυτή μια σημαντική διαδρομή διέλευσης τοξινών ιδιαίτερα σε οργανισμούς που εκτίθενται συνέχεια σε ρυπασμένο περιβάλλον.

Μια έρευνα της Επιστημονικής ομάδας της EFSA υπολόγισε πως μια μερίδα μυδιών 225 γραμμαρίων θα μπορούσε να περιέχει 7 μικρογραμμάρια μικροπλαστικού. Ακόμα και αν αυτή η ποσότητα υλικού περιείχε για παράδειγμα τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις PCB και BPA που έχουν ποτέ μετρηθεί, αυτό θα είχε μικρή επίδραση στη γενική έκθεση σε αυτά τα υλικά θα είχαμε αύξηση της έκθεσης σε PCB μικρότερη από 0,1 τις εκατό ή αύξηση της έκθεσης σε BPA μικρότερη από 2 τις εκατό, αυτό όμως είναι το χειρότερο σενάριο. Η EFSA εξέτασε μόνο την ασφάλεια των τροφίμων. Όσον αφορά τους κινδύνους για την άγρια ζωή και το περιβάλλον άλλοι επιστήμονες μελετούν τους βιοοικότοπους και την άγρια ζωή.

3.4 Εισχώρηση μικροπλαστικών στο κύτταρο

Αναφορές από ομάδα εμπειρογνομόνων του ΟΗΕ για τις επιστημονικές πτυχές της προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος συμπεριλαμβάνονται σε μια νέα μελέτη με μέτρα για την καταπολέμηση των απορριμμάτων στη θάλασσα που ανατέθηκε από τη Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής επιτροπής στο Ευρωπαϊκό πρακτορείο περιβάλλοντος. Είναι αναγκαίες οι γνώσεις για την τοξικότητα των νανοπλαστικών επειδή τα σωματίδια αυτά μπορούν να διεισδύσουν σε όλους τους ιστούς και να καταλήξουν στο κύτταρο. (Rossi et al., 2013).

Μικρό ίνες έχουν ανιχνευθεί στο στομάχι πολλών θαλάσσιων οργανισμών. Η κατάποση τους μπλοκάρει το πεπτικό τους σύστημα αποτρέποντας την επαρκή πρόσληψη τροφής, προκαλώντας τραυματισμούς και αλλαγές στη συμπεριφορά των ζώων (Jovanovic et al., 2017). Στο πλαίσιο



μελέτης που διεξάχθηκε από το Ινστιτούτο Θαλάσσιας Προστασίας Αρχιπέλαγος, για την εκτίμηση της περιεκτικότητας μικροσκοπικών ινών πλαστικού σε στομάχια δελφινιών που βρέθηκαν νεκρά στις ακτές του Αιγαίου, στο πεπτικό σύστημα 7 δελφινιών εντοπίστηκαν περισσότερα από 700 μικροσωματίδια πλαστικού και ίνες. Επιπλέοντα μικροπλαστικά προσελκύουν ρυπαντές οι οποίοι εισέρχονται επίσης μέσω της κατάποσης (Batel et al., 2016).

3.5 Έρευνες σε Θαλασσοπούλια

Τα πρώτα σωματίδια πλαστικού βρέθηκαν σε γλάρους τη δεκαετία του 1960 όταν η παραγωγή πλαστικού ήταν σχετικά χαμηλή. Δεδομένου ότι η παραγωγή πλαστικών αποβλήτων αυξάνεται συνεχώς, αναμένεται επίσης ότι ο αριθμός των επηρεαζόμενων ειδών να αυξηθεί στο μέλλον. Οι επιστήμονες έχουν βρει αξιοσημείωτες ποσότητες μικροπλαστικών υπολειμμάτων στα απόβλητα των θαλάσσιων πτηνών (Northern Fulmar). Το 47% των δειγμάτων κοπράνων που εξετάστηκαν περιείχαν μικροπλαστικά. Μέσα από αυτά τα ευρήματα, έχουν υποδείξει ότι αυτά τα θαλασσοπούλια δρουν ως φορείς πλαστικών κομματιών στους φυσικούς τους βιότοπους (Εικόνα 8).



Εικόνα 8. Σύλληψη θηράματος το οποίο περιέχεται σε πλαστική σακούλα (Πηγή: Shutterstock.com).



Τα μακροπλαστικά μπορούν να προσφέρουν αίσθηση πληρότητας τροφής ακόμη και όταν δεν λαμβάνουν θρεπτικό περιεχόμενο, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε λιμοκτονία. Αν και αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα με τα μικροπλαστικά, τα θαλάσσια πτηνά ενδέχεται να διατρέχουν κίνδυνο θανάτου λόγω χημικών ή αποικιών βακτηρίων στο πλαστικό που καταναλώνουν.

Τα θαλασσοπούλια Fulmar έχουν γίνει πλέον ένας από τους δείκτες οικολογικής αξιολόγησης που χρησιμοποιεί η OSPAR για την παρακολούθηση της αφθονίας των πλαστικών θραυσμάτων και μικροπλαστικών στη θάλασσα (Cole et al., 2011). Σήμερα τα αποτελέσματα σχετικά με την αφθονία των μικροπλαστικών στους υδρόβιους οργανισμούς εκφράζονται ως ο αριθμός των μικροπλαστικών ανά μονάδα βάρους οργανισμού, αριθμός των μικροπλαστικών ανά άτομο, ή ως το ποσοστό των ατόμων στα οποία εντοπίστηκαν μικροπλαστικά (Wang & Wang, 2018).

3.6 Μελέτες για ανίχνευση μικροπλαστικών ρύπων σε Ψάρια

Μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο από το Πανεπιστήμιο Royal Melbourne Institute of Technology (RMIT) το 2016 σε συνεργασία με το πανεπιστήμιο Hainan αποκάλυψε ότι οι πλαστικές μολυσματικές ουσίες μεταφέρουν έως και 12.5% των χημικών ρύπων τους στα ψάρια που τα καταναλώνουν. Τα ψάρια που κατανάλωναν μικροσφαιρίδια εμφάνισαν υψηλά επίπεδα πολυβρωμιωμένων διφαινυλαιθέρων (PBDEs). Τα PBDE μπορούν επίσης να επηρεάσουν τη δραστηριότητα των ενζύμων στον μπακαλιάρο του Ειρηνικού, η οποία μπορεί να προκαλέσει σημαντική βλάβη στο DNA. Το σύστημα ενζύμων του μπακαλιάρου το προστατεύει από τις ελεύθερες ρίζες τα οποία είναι ασταθή άτομα που μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στα κύτταρα εάν αφεθούν ανεξέλεγκτα. Πρόσθετες αναλύσεις που έγιναν σχετικά με το περιεχόμενο στομάχου σε τρία διαφορετικά είδη μεγάλων πελαγικών μεσογειακών ειδών (*Xiphias gladius*, *Thunnus thynnus*, *Thunnus alalunga*) έδειξαν την εμφάνιση μικροπλαστικών στο 18,5% των συλλεγόμενων οργανισμών, παρέχοντας την πρώτη ένδειξη πρόσληψης μικροπλαστικών στους κυρίαρχους θηρευτές της Μεσογείου (Romeo et al., 2015). Τα μικροπλαστικά εξήχθησαν επίσης από ψάρια με υψηλό εμπορικό ενδιαφέρον κατά μήκος της Κεντρικής Βόρειας Αδριατικής



Θάλασσας με 28% αναλυθέντων οργανισμών να περιέχουν αυτά τα σωματίδια στο στομάχι τους (Avio et.al., 2015b). Τα μικροπλαστικά δεν μπορούν να εισέλθουν στην τροφική αλυσίδα μόνο μέσω της κατάποσης, αλλά έχει παρατηρηθεί και δυνατότητα προσρόφησης από τους οργανισμούς. Ερευνητές διαπίστωσαν ότι το 25% των θαλάσσιων ψαριών που ελέγχθηκαν στις αγορές της Ινδονησίας και της Καλιφόρνιας είχαν πλαστικές ίνες στο έντερό τους. Η έρευνα εξακολουθεί να υπολείπεται ως προς το αν η κατανάλωση μικροπλαστικών μέσω ψαριών βλάπτει την ανθρώπινη υγεία. Εκτός από τα μικροπλαστικά στα προϊόντα υγιεινής, τα συνθετικά υφάσματα απελευθερώνουν επίσης μια τεράστια ποσότητα μικροσκοπικών πλαστικών ινών σε λύματα.

3.7 Ανίχνευση σε άλλους υδρόβιους οργανισμούς

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην ακτή του Όρεγκον μελέτησε δύο είδη οστρακοειδών του Ειρηνικού. Τα 283 δείγματα που συλλέχθηκαν περιείχαν τουλάχιστον ένα πλαστικό σωματίδιο. Η μελέτη δεν απέδωσε οριστικό συμπέρασμα για το πώς τα μικροπλαστικά επηρεάζουν την υγεία των οστρακοειδών. Προηγούμενη έρευνα, ωστόσο, διαπίστωσε ότι τα μικροπλαστικά υπάρχουν στα πεπτικά συστήματα περισσότερων από εκατό θαλάσσιων ειδών, τα οποία δημιουργούν χημικές, φυσικές και βιολογικές βλάβες. Ερευνητές ανακάλυψαν ότι τα δείγματα που συνέλεξαν την άνοιξη είχαν περισσότερα πλαστικά από αυτά που συγκεντρώθηκαν το καλοκαίρι. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στην υψηλότερη ποσότητα πλαστικών ρύπων από χειμερινά ρούχα, τα οποία εμπλούτισαν με συνθετικές μικροΐνες τα τοπικά νερά. Τα υψηλά ποσοστά βροχόπτωσης κατά την άνοιξη συνέβαλαν επίσης στην πλαστική ρύπανση μεταφέροντας περισσότερα συντρίμια στον ωκεανό. Σε μια άλλη έρευνα που πραγματοποιήθηκε, βρέθηκε ότι οστρακοειδή αγορασμένα από τη Γερμανία περιείχαν από 0,36 μικροπλαστικά/g υγρού βάρους (ww) έως 0,47 σωματίδια/g ww. Λόγω της λιπόφιλης φύσης των μικροπλαστικών, τα σωματίδια PS μπορούν να συσσωματωθούν σε όργανα, όπως ο εγκέφαλος, και να διαταράζουν τις βιολογικές μεμβράνες.

Μελέτες έχουν δείξει πως το πλαγκτό πολλές φορές μπερδεύει τα μικροπλαστικά με τη λεία του, λόγω κυρίως του χρώματος. Το πλαγκτό ανήκει στο πρωτογενές τροφικό επίπεδο και



αποτελεί ένα μονοπάτι για τη μεταφορά μικροπλαστικών ρύπων στην τροφική αλυσίδα. Μετά την κατάποση τους, τα μικροπλαστικά αποβάλλονται μέσω της εντερικής οδού και των περιττωμάτων και με αυτόν τον τρόπο τρέφουν τους βενθικούς τους σαπροφάγους και νεκροφάγους οργανισμούς.

Ορισμένοι οργανισμοί όπως τα θαλάσσια καβούρια του είδους *Carcinus maenas*, δεν καταναλώνουν μόνο μικροπλαστικά μαζί με την τροφή αλλά εξαιτίας των μηχανισμών εξαερισμού που έχουν. Τα μικροπλαστικά προσκολλώνται στα βράγχια τους και περνούν από τη βραγχιακή οδό στους οργανισμούς δυσχεραίνοντας την αναπνοή τους (Eriksen et al., 2014).

Από έρευνες που έγιναν (Zhu et al, 2021), βρέθηκε στη βάση της τροφικής αλυσίδας, στα κύτταρα των αλγών *Chlorella* και *Scenedesmus* των γλυκών και θαλάσσιων υδάτων αντίστοιχα, ότι είχαν προσροφήσει φορτισμένα νανοπλαστικά μεγέθους 20 nm. Έχει αναφερθεί μια προτίμηση για θετικά φορτισμένα σωματίδια, πιθανόν λόγω της ηλεκτροστατικής έλξης μεταξύ των σφαιριδίων και της κυτταρικής σύστασης των ζωντανών κυττάρων. Μία εργαστηριακή μελέτη η οποία ερευνούσε τη σύλληψη σωματιδίων και μεθόδους σίτισης (suspension feeding methods), οι αχινοί, οι αστερίες και άλλοι οργανισμοί αιχμαλώτισαν και έφαγαν μικροσφαιρίδια 10–20 mm PS διβινυλοβενζολίου (More et al., 2014).

Οργανισμοί που κατοικούν σε ιζήματα, όπως το είδος πολύχαιτου *Arenicola marina*, είναι ικανοί για αναμόχλευση (ανακυκλώνουν τα ανώτερα στρώματα των ιζημάτων) και κομμάτια μικροπλαστικών που έχουν καθιζάνει στον βυθό μπορεί να αναμοχλευθούν με ιζήματα, με αποτέλεσμα να είναι διαθέσιμα για τους μικροοργανισμούς που τρέφονται από αυτά. Η έκταση της προκαλούμενης βλάβης στους θαλάσσιους οργανισμούς εξαρτάται από την ευαισθησία του είδους στην κατάποση την αλληλεπίδραση και την αλληλεξάρτηση.

4. ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ

Αναλύσεις χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα πρωτόκολλα, γίνονται στα εργαστήρια με τους παρακάτω τρόπους:

- Αιματολογική ανάλυση. Εξετάζοντας δείγμα αγγειακού αίματος από ζωντανό ψάρι στο εργαστήριο.
- Ανάλυση δειγμάτων σάρκας ιχθύων. Αφαιρώντας σάρκα, ελέγχουμε στο εργαστήριο.
- Ανάλυση ιστών οργάνων. Αφαιρώντας ιστούς οργάνων ελέγχουμε ποιότητα ιστών λειτουργικότητα οργάνων, ευζωία οργανισμών, αλλοιώσεις.
- Για τα βιολογικά δείγματα απαιτείται μετέπειτα ειδική κατεργασία, ώστε να γίνει η απομάκρυνση του βιολογικού υλικού, για την απομόνωση και περαιτέρω μελέτη των μικροπλαστικών που υπήρχαν σ' αυτά (Hidalgo-Ruz et al., 2012; Wang & Wang, 2018).

Ιστολογικές έρευνες 2012 – 2013 έδειξαν πως το 100% των ψαριών και των θαλάσσιων ασπόνδυλων (σφουγγάρια, ολοθούρια), περιείχαν μικροίνες πλαστικού στους εξεταζόμενους ιστούς. Συχνότερα παρατηρούνται σε ψάρια, θαλάσσιες χελώνες, θαλασσοπούλια, δίθυρα, θαλάσσια σκουλήκια, φύκια και πλαγκτό (Mai et al., 2018). Η εμπλοκή και η κατάποση από οργανισμούς μπορεί να έχει θανατηφόρες συνέπειες θέτοντας σε κίνδυνο την ικανότητά της θαλάσσιας πανίδας να συλλάβει και να αφομοιώσει τη τροφή. Κομμάτια πλαστικού μπορεί να φράξουν μέρη του τροφικού και πεπτικού συστήματος, ή ακόμα και να προκαλέσουν ψευδή αίσθηση κορεσμού με αποτέλεσμα την μειωμένη πρόσληψη τροφής, την εξασθένιση, τη μείωση της μετακίνησης συμπεριλαμβανομένης της μετανάστευσης και της διαφυγής από τους θηρευτές.(Giacomo and Gorbi, 2017). Τα θαλάσσια θηλαστικά, τα θαλάσσια πτηνά, οι χελώνες, τα ψάρια είναι οι πιο επηρεασμένοι οργανισμοί από τα μικροπλαστικά (Wright et al., 2013; Bergmann et al., 2015; Crawford et al., 2017b).



4.1 Αιματολογικές αναλύσεις

Τα τελευταία χρόνια, οι επιστήμονες έχουν μελετήσει το αίμα των ψαριών για να μάθουν περισσότερα για την υγεία τους και πώς επηρεάζονται από τη ρύπανση. Εξετάζοντας διαφορετικά πράγματα στο αίμα, όπως τον αριθμό των κυττάρων και των χημικών ουσιών, οι επιστήμονες μπορούν να καταλάβουν εάν τα ψάρια είναι άρρωστα ή αν το νερό στο οποίο ζουν είναι καθαρό.. Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε πώς η ρύπανση μπορεί να βλάψει τα ψάρια και το αίμα τους, λόγω του ότι τα ψάρια ζουν στο νερό και μπορεί να αλλάξει τον τρόπο λειτουργίας του σώματός τους. Πρόσφατα, οι επιστήμονες έκαναν περισσότερα πειράματα για να δουν πώς μικροσκοπικά κομμάτια πλαστικού μπορούν να επηρεάσουν τα ψάρια (Guerrera et al., 2021). Όταν τα ψάρια εκτίθενται στη ρύπανση, το σώμα τους προσπαθεί να προστατευτεί αλλάζοντας έτσι τη σύσταση του αίματός τους.

Έτσι λοιπόν, οι επιστήμονες χρησιμοποιούν ορισμένα τεστ για να δουν πώς η ρύπανση επηρεάζει τα ψάρια. Μια από αυτές τις εξετάσεις ονομάζεται πλήρης αιματολογική εξέταση (CBC), η οποία δίνει σημαντικές πληροφορίες για το αίμα ενός ψαριού. Το CBC εξετάζει τα λευκά αιμοσφαίρια, τα ερυθρά αιμοσφαίρια, την αιμοσφαιρίνη και τα αιμοπετάλια. Οι επιστήμονες έχουν βρει νέους τρόπους για να κάνουν αυτές τις δοκιμές χρησιμοποιώντας μηχανές και ειδικές λύσεις. Έχουν δοκιμάσει αυτές τις μεθόδους σε διαφορετικούς τύπους ψαριών και βρήκαν ότι είναι αρκετά χρήσιμες (Guerrera et al., 2021).

Η κυτταρομετρία ροής είναι ένας τρόπος εξέτασης των κυττάρων του αίματος των ψαριών. Βοηθά τους επιστήμονες να μετρήσουν και να μελετήσουν τους διαφορετικούς τύπους κυττάρων στο αίμα ενός ψαριού πολύ γρήγορα και με ακρίβεια. Αυτό βοήθησε τους κτηνιάτρους και τους επιστήμονες να μάθουν περισσότερα για την υγεία των ψαριών. Μερικές μελέτες έχουν δείξει ότι το αίμα των ψαριών μπορεί να αλλάξει όταν εκτίθενται σε ορισμένους ρύπους όπως τα μικροπλαστικά. Όταν τα ψάρια εκτίθενται σε μικροπλαστικά, μπορεί να επηρεαστεί το αίμα τους. Μια μελέτη (Guerrera et al. 2021) έδειξε ότι η τιλάπια του Νείλου (*Oreochromis niloticus*) εμφάνισε αλλαγές στο αίμα μετά την έκθεση σε μικροπλαστικά. Τα ερυθρά αιμοσφαίρια, η



αιμοσφαιρίνη και άλλα σημαντικά αιμοσφαίρια μειώθηκαν, ενώ ορισμένα άλλα κύτταρα αυξήθηκαν. Αυτές οι αλλαγές είναι ο τρόπος του ψαριού να προστατεύεται από τις βλαβερές συνέπειες των μικροπλαστικών. Άλλες μελέτες έχουν επίσης δείξει ότι τα μικροπλαστικά μπορούν να επηρεάσουν το ανοσοποιητικό σύστημα.

Το ανοσοποιητικό σύστημα των ψαριών μπορεί να μας δείξει αν έχουν κακή αντίδραση στο περιβάλλον τους. Αναφέρεται ότι μικροσκοπικά κομμάτια πλαστικού μπορούν να επηρεάσουν τον τρόπο που λειτουργούν ορισμένες χημικές ουσίες και κύτταρα στο σώμα των ψαριών. Διαπιστώθηκε επίσης, ότι διαφορετικά είδη ψαριών μπορεί να έχουν αλλαγές στο αίμα τους όταν εκτίθενται σε μικροσκοπικά πλαστικά (Guerrera et al., 2021). Μερικά ψάρια έχουν περισσότερες συγκεκριμένες χημικές ουσίες στο αίμα τους, όπως κρεατίνη και γλυκόζη, αφού εκτεθούν στα πλαστικά. Άλλα ψάρια έχουν λιγότερη χοληστερόλη και τριγλυκερίδια στο αίμα τους. Αυτές οι αλλαγές στο αίμα μπορεί να σημαίνουν ότι το συκώτι ή τα νεφρά του ψαριού μπορεί να καταστραφούν λόγω των πλαστικών.

Έτσι, λοιπόν, όταν τα ψάρια εκτίθενται σε μικροσκοπικά κομμάτια πλαστικού, το σώμα τους αντιδρά αλλάζοντας τη σύσταση του αίματός τους. Αυτές οι αλλαγές είναι χρήσιμες για τους επιστήμονες ώστε να κατανοήσουν πώς το πλαστικό επηρεάζει την υγεία των ψαριών. Στο μέλλον, θα είναι σημαντικό να υπάρξει βελτίωση στην εξέταση του αίματος των ψαριών έτσι ώστε να βρίσκουν ευκολότερα οι επιστήμονες σημάδια συσσώρευσης πλαστικού στο σώμα τους.

4.2 Ανάλυση ιστών και οργάνων

Οι αυξανόμενες ενδείξεις για τις επιπτώσεις της ρύπανσης από μικροπλαστικά στους υδρόβιους οργανισμούς τόσο στο θαλασσίνο όσο και στο γλυκό νερό, αναδεικνύουν την επιτακτική ανάγκη για κατάλληλες και συγκρίσιμες μεθόδους ανίχνευσης. Τα διαθέσιμα πρωτόκολλα πέψης ιστών είναι χρονοβόρα και απαιτούν πολλά στάδια, κατά τη διάρκεια των οποίων μπορεί να υπάρξει απώλεια υλικών και να εισαχθούν ρύποι. Γι' αυτό, λοιπόν, έγινε μελέτη η οποία περιλαμβάνει ένα επιταχυνόμενο στάδιο πέψης με χρήση υδροξειδίου του νατρίου και νιτρικού



οξέος σε συνδυασμό με την πέψη όλου του οργανικού υλικού μέσα σε μία ώρα, καθώς και ένα πρόσθετο στάδιο διαχωρισμού με χρήση ιωδιούχου νατρίου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση των ανόργανων υπολειμμάτων στα δείγματα, εφόσον χρειάζεται (Roch & Brinker, 2017). Η συγκεκριμένη μέθοδος απέδωσε ποσοστό ανάκτησης μικροπλαστικού μεγαλύτερο από 95% και όλοι οι δοκιμασθέντες τύποι πολυμερών ανακτήθηκαν με μικρές μόνο αλλαγές στο βάρος, το μέγεθος και το χρώμα, με εξαίρεση το πολυαμίδιο. Η μέθοδος αυτή, κατά συνέπεια, εξοικονομεί χρόνο, ελαχιστοποιεί την απώλεια υλικού και τον κίνδυνο μόλυνσης και διευκολύνει τον προσδιορισμό πλαστικών σωματιδίων και ινών, παρέχοντας έτσι μια αποτελεσματική μέθοδο για την ανίχνευση και τον ποσοτικό προσδιορισμό μικροπλαστικών στο γαστρεντερικό σωλήνα (GIT) ψαριών.

Όλα τα GIT αφομοιώθηκαν πλήρως με τη μέθοδο που περιγράφεται, αφήνοντας αμελητέα ίχνη ιστού. Τα φθορίζοντα σωματίδια ήταν σαφώς ορατά υπό υπεριώδες φως και το χρώμα τους διευκόλυνε σημαντικά την καταμέτρηση. Σε γενικές γραμμές, τα ποσοστά ανάκτησης για κάθε κατηγορία μεγέθους σωματιδίων PS ήταν υψηλά και κυμαίνονταν μεταξύ 95 και 100% ενώ υπήρξε μια μικρή και μη σημαντική μείωση της ανάκτησης για τα μικρότερα σωματίδια (πρώτο και δεύτερο στάδιο πέψης. Όλοι οι τύποι πολυμερών, εκτός από το πολυαμίδιο, φάνηκαν σε μεγάλο βαθμό ανθεκτικοί στις επιδράσεις αποδόμησης κατά τη διαδικασία της χώνευσης.

5. ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ

5.1 Επίδραση των πλαστικών στον ανθρώπινο οργανισμό

Μία πρόσφατη έρευνα πραγματοποιήθηκε με τη συνεργασία της διεθνούς οργάνωσης WWF και του πανεπιστημίου του Νιούκαστλ, στην Αυστραλία, ανέδειξε ότι οι άνθρωποι καταναλώνουμε ποσότητα πλαστικού που αντιστοιχεί σε μία πιστωτική κάρτα κάθε εβδομάδα, ένα ορθογώνιο τουβλάκι lego τον μήνα και ένα κράνος πυροσβέστη τον χρόνο (Carbery et al., 2020).

Διάφορες έρευνες που έχουν κατά καιρούς πραγματοποιηθεί αποδεικνύουν πως υψηλά επίπεδα συγκεντρώσεων στο περιβάλλον συνεπάγονται και υψηλές συγκεντρώσεις στους ιστούς (από την κατανάλωση) με αποτέλεσμα δυσλειτουργία στην αναπαραγωγή (Talsness et al., 2009), χαμηλά επίπεδα ορμόνης και καθυστέρηση ωορρηξίας (Azzarello & Van Vleet, 1987), ενδοκρινείς διαταραχές και θνησιμότητα (Boulant et al., 2012). Πολλές μελέτες έχουν αποδείξει την παρουσία χημικών ουσιών όπως, φθαλικές ενώσεις και BPA ή μεταβολίτες αυτών στον ανθρώπινο οργανισμό και έχει διαπιστωθεί συσχέτιση των χημικών αυτών με ασθένειες, με σοβαρές μεταβολικές δυσλειτουργίες και αναπαραγωγικές ανωμαλίες (Sen et al, 2016). Επίσης το βινυλοχλωρίδιο, μονομερές του PVC, έχει χαρακτηριστεί ως ισχυρό καρκινογόνο (Bolt, 2005; Gennaro et al., 2008).

Δεν έχουμε μεγάλη επάρκεια στοιχείων για το τι συμβαίνει μετά τη χώνευση αυτών των υλικών. Πολλές ακόμα είναι οι άγνωστες παράμετροι που πρέπει να ελεγχθούν για τις επιπτώσεις και την τοξικότητα των μικροπλαστικών. Η περιβαλλοντική υπηρεσία της Αυστρίας σε συνεργασία με την ιατρική σχολή του πανεπιστημίου της Βιέννης ερευνήσε δείγματα κοπράνων του πληθυσμού για δέκα διαφορετικούς τύπους πλαστικού και βρέθηκαν τα εννέα από αυτά (Liebmann et al., 2018). Συνήθως PET και πολυπροπυλένιο (PP) που είναι τα κοινά συστατικά συσκευασίας τροφίμων και συνθετικών ρούχων. Τα δείγματα περιείχαν κατά μέσο όρο 20 σωματίδια



πλαστικού μεγέθους από 50 έως 500 μικρόμετρα (συγκριτικά 5 φορές μικρότερα από το πάχος μιας ανθρώπινης τρίχας με πάχος περίπου 100 μικρόμετρα).

Έχει αποδειχθεί επιστημονικά ότι τα μικροπλαστικά λειτουργούν ως επιφάνειες που μεταφέρουν και διαδίδουν παθογόνα που σχετίζονται με ανθρώπινες ασθένειες. Σε έρευνα που διεξήχθη για τη Γερμανία από τους Bertling et al. (2018) διαπιστώθηκε ότι η πέμπτη μεγαλύτερη πηγή παραγωγής μικροπλαστικών είναι τα γήπεδα στίβου τα οποία διαθέτουν ταρτάν και τεχνητούς αγωνιστικούς χώρους ποδοσφαίρου. Τα γήπεδα αυτά γεμίζουν με πλαστικούς κόκκους που παράγονται από την ανακύκλωση ελαστικών και έχουν διάμετρο από 0,7 έως και 3mm (Akdogan & Guven, 2019) γεγονός που τα κατηγοριοποιεί ως πρωτογενή μικροπλαστικά. Εάν εισπνευσθούν ή καταποθούν, έχουμε συσσώρευση η οποία ασκεί τοπική τοξικότητα, προκαλώντας ή ενισχύοντας μια ανοσολογική απόκριση. Χημική τοξικότητα μπορεί να προκύψει λόγω έκπλυσης μονομερών συστατικών, ενδογενών πρόσθετων και προσροφημένων περιβαλλοντικών ρύπων. Η χρόνια έκθεση αναμένεται να προκαλέσει μεγαλύτερη ανησυχία λόγω της συσσωρευτικής επίδρασης που μπορεί να προκύψει. Οι πληροφορίες που θα συλλέξουμε τα επόμενα χρόνια και οι μελλοντικές έρευνες που θα συσχετισθούν με τους μηχανισμούς τοξικότητας θα υποδείξουν το βαθμό επίπτωσης στην ανθρώπινη υγεία.

Οι νευροτοξικές επιδράσεις διαφορετικών τύπων σωματιδίων διαφορετικού μεγέθους και σχήματος, λαμβάνοντας επίσης υπόψη τη συσσωμάτωση, χρησιμοποιώντας μια σειρά μοντέλων in vivo και in vitro είναι διαφορετικές. Ως εκ τούτου, τα μικρο και τα νανοπλαστικά, μπορεί να διευκολύνουν την έκθεση σε επιβλαβείς παράγοντες, επιδεινώνοντας έμμεσα την (νεύρο) τοξικότητα. Η ετήσια πρόσληψη μικροπλαστικών από τον άνθρωπο μέσω της κατανάλωσης της κεφαλής των ψαριών αναμένεται να είναι περίπου 11.000 σωματίδια ανά άτομο για τους Ευρωπαίους που καταναλώνουν συχνά θαλασσινά. Η ατμοσφαιρική έκθεση φαίνεται επίσης μέτρια με 0,4 έως 60 πλαστικά μικροσωματίδια /m³ σε εσωτερικούς χώρους και 0,3 έως 1,5 μικροσωματίδια /m³ σε εξωτερικούς χώρους. Πρωταρχικό μέλημα μας είναι η συλλογή των απορριμμάτων αυτών από την επιφάνεια, την υδάτινη στήλη, τον πυθμένα και το ίζημα.



5.2 Κατάποση μικροπλαστικών

Ένας προφανής τρόπος με τον οποίο οι άνθρωποι καταπίνουν μικρό πλαστικά είναι μέσω της κατανάλωσης θαλάσσιων ζώων που έχουν καταναλώσει μικρό πλαστικά ή μέσω του πόσιμου νερού ή του αέρα που αναπνέουν. Με μία μελέτη στη Νέα Υόρκη διαπιστώθηκε ότι το εμφιαλωμένο νερό περιείχε διπλάσια ποσότητα μικρό πλαστικού από τα δείγματα νερού βρύσης που εξετάστηκαν σε προηγούμενη μελέτη. Αυτό γίνεται ακόμη πιο ανησυχητικό όταν θεωρείται ότι το 94% του νερού βρύσης στις ΗΠΑ περιέχει μικρό πλαστικά. Αν και αυτά τα σωματίδια είναι μικροσκοπικά, έχουν διεισδύσει σε πολλές πτυχές της ανθρώπινης ζωής, καθιστώντας τα δύσκολα να εντοπιστούν ή να αποφευχθούν για το μέσο άτομο. Άλλες χώρες που έχουν επίσης παρουσιάσει ανησυχητικά υψηλές ποσότητες μικρό πλαστικού στο νερό της βρύσης τους είναι:

- 94% στη Βηρυτό του Λιβάνου
- 82% στο Νέο Δελχί, Ινδία
- 81% στην Καμπάλα , Ουγκάντα
- 76% στην Τζακάρτα , Ινδονησία
- 72% στην Ευρώπη

Μια πρόσφατη μελέτη από το περιοδικό Environmental Science and Technology θεωρεί ότι η ανθρώπινη πρόσληψη μικροπλαστικών κυμαίνεται από 39 έως 52 χιλιάδες σωματιδίων ετησίως, ανάλογα με το φύλο και την ηλικιακή ομάδα. Αυτοί οι αριθμοί αυξάνονται μόνο όταν εξετάζουμε μεταβλητές όπως εισπνεόμενο μικρό πλαστικό και νερό βρύσης σε σχέση με την κατανάλωση εμφιαλωμένου νερού. Η συσσώρευση απορριμμάτων πλαστικού από διάφορα περιβάλλοντα έχει αποδειχθεί πολλάκις και σε πολλά είδη. Οικοτοξικολογικές μελέτες *in vivo* και *in vitro* έχουν καταδείξει τη δυνατότητα των νανοπλαστικών και μικροπλαστικών (NMPs) να προκαλέσουν τοξικολογική δράση (Noventa et al., 2021). Παραδείγματα συμπεριλαμβάνουν το οξειδωτικό στρες μέσω της δημιουργίας ελεύθερων ριζών, κάποιες ανοσολογικές αντιδράσεις, μεταβολή της γονιδιακής έκφρασης, γονιδιοτοξικότητα, διαταραχές στους ενδοκρινείς αδένες, νευροτοξικότητα, αναπαραγωγικές ανωμαλίες, διαγενεακές επιδράσεις και ανωμαλίες συμπεριφοράς.



Έχει διαπιστωθεί *in vitro* πως η έκθεση σε πλαστικά σφαιρίδια 10 μm επάγει την παραγωγή οξειδωτικών ριζών σε εγκεφαλικά και επιθηλιακά ανθρώπινα κύτταρα (Schirinzi et al., 2017). Τα μικρότερου μεγέθους μικρό πλαστικά διαπερνούν τις κυτταρικές μεμβράνες και ενισχύουν τη βιοδιαθεσιμότητα των τοξικών ουσιών που περιέχονται μέσα σε αυτά. Μπορούν να διεισδύσουν στους ανθρώπινους ιστούς και να πυροδοτήσουν αντιδράσεις του ανοσοποιητικού συστήματος ή να αυξήσουν την πιθανότητα μόλυνσης του πεπτικού συστήματος (Cox et al., 2019). Γενικά τα μονομερή που εκλύονται από το πλαστικό μπορούν να προκαλέσουν συμπτώματα οξείας και χρόνιας τοξικότητας, συγκεκριμένα το βινυλοχλωρίδιο έχει ενοχοποιηθεί για την πρόκληση καρκίνου (Awara et al., 1998) ενώ το στυρένιο για την πρόκληση νευρολογικών συμπτωμάτων (Van Cauwenberghe & Janssen, 2014).

Οι πολυβρωμιωμένοι διφαινυλικοί αιθέρες (RBDE) θεωρούνται τοξικοί καρκινογόνοι και μεταλλαξογόνοι (Gasperi et al., 2018; Fromme et al., 2013). Οι ίδιοι επιστήμονες αναφέρουν ότι πλαστικές ίνες έχουν εντοπισθεί σε ανθρώπινο ιστό πνευμόνων. Οι πλαστικοί ρύποι είναι ιδιαίτερα ανθεκτικοί μέσα σε σωματικά υγρά . Η έρευνα σε ανθρώπινους πληθυσμούς είναι πολύ δύσκολη , διότι είναι δύσκολο να βρεθούν μοντέλα που δεν έχουν εκτεθεί σε τέτοιους ρύπους ώστε να συγκροτήσουν την ομάδα ελέγχου (Henry et al., 2019).

Δεν υπάρχουν στοιχεία για τις συνέπειες της κατάποσης και της εισπνοής νάνο πλαστικών (Gasperi et al., 2018). Οι επιστήμονες ανακάλυψαν νάνο πλαστικό στον πλακούντα εμβρύων (εξαιτίας του κρίσιμου ρόλου του πλακούντα στην ανάπτυξη του εμβρύου, ο οποίος λειτουργεί ως μέσο σύνδεσης του εμβρύου με το εξωτερικό περιβάλλον η παρουσία επιβλαβών πλαστικών σωματιδίων προκαλεί μεγάλη ανησυχία) προκαλώντας το λιγότερο, μειωμένη ανάπτυξη του εμβρύου. Μπορούν ταξιδεύοντας μέσα στους πνεύμονες των εγκύων γυναικών να καταλήξουν στον πλακούντα. Μέσω του πλακούντα περνούν στην κυκλοφορία του αίματος των εμβρύων (Wright & Kelly, 2017). Μέσω των κοπράνων, των ούρων, των πνευμονικών κυψελίδων, της περιτοναϊκής κοιλότητας, του εγκεφαλονωτιαίου υγρού και μέσω του μητρικού θηλασμού μετακινούνται.



Απομονώθηκαν επίσης σε ανθρώπινα όργανα όπως πνεύμονες, συκώτι, νεφρά και σπλήνα, στο πλαίσιο μιας μελέτης εξετάζοντας δείγματα για νευροεκφυλιστικές ασθένειες, διάφοροι τύποι όπως τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET) και διφαινόλη Α (BPA). Ο Varun Kelkar (2017) τόνισε ότι είναι εξαιρετικά ανησυχητικό τα μη διασπώμενα υλικά να είναι παρόντα παντού και να μπορούν να συγκεντρώνονται και στους ανθρώπινους ιστούς. Διεισδύουν λόγω του μικρού μεγέθους τους μέσω της κερατοειδούς στοιβάδας και απορροφούνται διαδερμικά (Revel et al., 2018).

Η δισφαινόλη Α (BPA) δομικό στοιχείο των πολυκαρβονικών πολυμερών και των εποξειδικών ρητίνων (λόγω δομικής ομοιότητας) μιμείται την οιστραδιόλη (στεροειδής ορμόνη, κύριο οιστρογόνο) και δεσμεύεται στους υποδοχείς της, παρεμβάλλοντας τη φυσιολογική σύνθεση των ορμονών, και τον μεταβολισμό τους. Βρέθηκαν υψηλά επίπεδα (BPA) στο αίμα γυναικών με πολυκυστικές ωοθήκες (Kandarakis et al., 2011). Ισχυρή συσχέτιση υπάρχει επίσης με προεφηβικές διαταραχές συμπεριφοράς. Δεν έχει βρεθεί ακόμη συσχέτιση για διαταραχές ενδομητρίου, ή καρκίνου του μαστού. Έχουν συνδεθεί με παχυσαρκία, μεταβολικό σύνδρομο, σακχαρώδη διαβήτη, καρδιαγγειακές παθήσεις υπέρταση και αύξηση της ορμόνης του θυρεοειδούς T₃ και μείωση των δεικτών TSH (EFSA, 2018). Η μεταλλαξιογόνος δράση των ουσιών ελέγχεται με βραχυχρόνιες δοκιμασίες *in vivo* και *in vitro*. Οι δοκιμασίες τοξικότητας και επιδράσεων στα υδάτινα οικοσυστήματα απαιτούν σχεδιασμό και μακροχρόνια μελέτη του φυσικού αποδέκτη με μεγάλο αριθμό μετρήσεων και παρακολούθηση πολλών φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων. Η πρόσληψη των ουσιών από τους οργανισμούς εξαρτάται από τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες και τον τρόπο εισόδου. Οι οργανισμοί μπορούν να παρουσιάσουν αμελητέες, μη θανατηφόρες ή θανατηφόρες αντιδράσεις, όπως είναι η μείωση της αναπαραγωγικής ικανότητας ή αλλαγές στην συμπεριφορά.

6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Οι μέθοδοι δειγματοληψίας για το θαλάσσιο περιβάλλον (επιφάνεια της θάλασσας, νερό στήλης, ιζήματα και βιοτόπους), ταξινομήθηκαν σύμφωνα με την πρόταση των Hidalgo-Ruz et al. (2012) σε: 1) επιλεκτική δειγματοληψία, όπου τα δείγματα (συνήθως ιζήματα) συλλέγονται με άμεση εξαγωγή, καθώς είναι αναγνωρίσιμα στο γυμνό μάτι (σωματίδια μεταξύ 1 και 5 mm Ø), 2) μαζική δειγματοληψία, όπου ο όγκος του δείγματος (νερό ή ίζημα) συλλέγεται εξ ολοκλήρου. Βέβαια η ταξινόμηση δεν αφορά μόνο το θαλάσσιο περιβάλλον αλλά επεκτείνεται ευρύτερα. Η επιλεκτική δειγματοληψία είναι η πιο συχνά εφαρμοζόμενη μεθοδολογία, ειδικά στην περίπτωση μελέτης ιζημάτων, και προτιμάται όταν το μέγεθος των μικροπλαστικών τα καθιστά εύκολα αναγνωρίσιμα σε αμμώδεις αποθέσεις στις παραλίες. Είναι μία απλή μεθοδολογία, που δεν απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό. Ωστόσο, είναι σχετικά χρονοβόρα ειδικά όταν τα μικροπλαστικά αναμειγνύονται με άλλα υλικά.

Ως μονάδες μέτρησης για την αφθονία των μικροπλαστικών στο νερό χρησιμοποιούνται συνήθως ο αριθμός των μικροσωματιδίων ανά (m^3) νερού (Wang & Wang, 2018). Οι συγκεντρώσεις υπολογίζονται με βάση τη ζώνη δειγματοληψίας, πολλαπλασιάζοντας την απόσταση της τράτας με το οριζόντιο πλάτος του ανοίγματος του διχτυού. Απαιτείται προσοχή κατά το χειρισμό να μην φράξουν τα δίχτυα και να μην σπάσουν και έχουμε ταχεία διήθηση μικροπλαστικών σωματιδίων στην υδάτινη στήλη.

6.1 Neuston catamaran (manta)

Ένας τρόπος συλλογής απορριμμάτων από την υδάτινη στήλη, είναι μέσω του συστήματος που ονομάζεται Neuston catamaran (manta-neuston) όπως φαίνεται στην Εικόνα 9, μοιάζει με καταμαράν και μας παρέχει τη δυνατότητα δειγματοληψίας από τα επιφανειακά νερά.





Εικόνα 9. Σύστημα αλίευσης μικροπλαστικών ρύπων Neuston catamaran (manta-neuston) (Πηγή: Thompson, 2015).

Το σύστημα αυτό αποτελείται από δύο πλωτήρες ενωμένους με μία μεταλλική κατασκευή στην οποία τοποθετείται ένα δίχτυ με άνοιγμα ματιού 200-500 μm . Η κατασκευή αυτή έλκεται από ένα σκάφος που κινείται με ταχύτητα 1 – 5 κόμβων και συγκρατεί οτιδήποτε επιπλέει στην επιφάνεια του νερού και σε βάθος έως μισό μέτρο. Τα δίχτυα έχουν μήκος 3 έως 4,5 μέτρα.

6.2 Δίχτυα πλαγκτού

Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν τα δίχτυα πλαγκτού με άνοιγμα ματιού μικρότερο των 300 μm φτάνοντας μέχρι 100 μm , για συγκέντρωση δειγμάτων από τη στήλη νερού (Εικόνα 10). Τα δίχτυα πλαγκτού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οριζόντια και κατακόρυφη σύρση, ελκόμενα από μια τράτα, συγκεντρώνουν πλαγκτό και μικροπλαστικούς ρύπους. Ανάλογα με το άνοιγμα ματιού που θα έχουμε στα δίχτυα πλαγκτού μπορούμε να συλλέξουμε μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών μεγεθών μικροπλαστικών. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων και αποτελούν μια οικονομική λύση χαμηλού κόστους (Hidalgo-Ruz et al., 2012; Talvitie et al., 2015; Viršek et al., 2016; Ziajahromi et al., 2017; Wang & Wang, 2018;

Prata et al., 2019). Συλλέγουν ένα ευρύ φάσμα μικροπλαστικών απαιτούν κατανάλωση ενέργειας, ειδικό εξοπλισμό και σκάφος. Αποτελούν μία κατασκευή δίχτυών σε σχήμα χωνιού προσαρμοσμένη σε μια μεταλλική στεφάνη, η οποία συσκευή διαθέτει την ικανότητα συλλογής θραυσμάτων μικρό πλαστικού, μικροινών και μικροσφαιριδίων (Constant et al., 2011; Carr et al., 2016) (Εικόνα 10).



Εικόνα 10. Δίχτυα πλαγκτού με δυνατότητα οριζόντιας και κατακόρυφης σύρσης (Πηγή: Thompson).

6.3 Δίχτυα bongo nets

Σημαντικά είναι τα δίχτυα bongo nets όπως τα βλέπουμε στην Εικόνα 11, δίχτυα πλαγκτού τα οποία επίσης ρυμουλκούνται από σκάφη. Διπλά χωνιά προσαρμοσμένα το ένα δίπλα στο άλλο, συλλέγουν απορρίμματα από την επιφάνεια του νερού και έως 4,5 μέτρα βάθος. Διαθέτουν έναν μετρητή ροής, έτσι ώστε να καταγραφούν τα κυβικά μέτρα φιλτραρισμένου νερού. Επίσης ένα φίλτρο 5 mm για την αποτροπή εισόδου μεγάλων κατακρημνισμάτων πλαστικού και το νερό περνάει από τρία κόσκινα 250 μm , 1,25 μm , 62,5 μm το τελικό προϊόν στα κόσκινα αποθηκεύεται σε γυάλινα μπουκάλια για μελέτη στο εργαστήριο (Desforges et al., 2014). Η

ταχύτητα του σκάφους σύρσης κυμαίνεται από 2 έως 3 κόμβους και εξαρτάται πάντα από το ύψος κύματος, την ταχύτητα του ανέμου και τα θαλάσσια ρεύματα.



Εικόνα 11. Δίκτυα μπόνγκο (bongo nets) ρυμουλκούμενα από σκάφος (Πηγή: Thompson, 2015).

6.4 Καταγραφέας πλαγκτού (CPR)

Ο καταγραφέας πλαγκτού (CPR) συλλέγει πλαγκτό από τη στήλη νερού σε βάθος δέκα μέτρων (Thompson et al., 2004) (Εικόνα 12).



Εικόνα 12. Συλλέκτης και καταγραφέας πλαγκτού CPR (Πηγή: Science facts).

6.5 Επιβενθικό έλκηθρο

Το επιβενθικό έλκηθρο αποτελεί συσκευή για τη λήψη δειγμάτων από τον πυθμένα (Εικόνα 13). Αρκετά κατακρήμνισματα μικροπλαστικού μπορούν να καταβυθιστούν, αφού έχουν υψηλότερη πυκνότητα από το νερό και να συσσωρευθούν στο ίζημα με αυτόν τον τρόπο τα ιζήματα γίνονται αποδέκτες μικροπλαστικών με ότι συνέπειες έχει αυτό για τη θαλάσσια και τη βενθική πανίδα.



Εικόνα 13 . Επιβενθικό έλκηθρο (Πηγή: i sea).

Το επιβενθικό έλκηθρο, ρυμουλκείται από σκάφος και κινείται πάνω σε μαλακές και μη βραχώδης επιφάνειες του πυθμένα, περιλαμβάνει πλαγκτονικό δίχτυ στο πίσω μέρος του, όπου φιλτράρεται το νερό και συλλέγονται τα δείγματα. Έχει αποδειχθεί ότι τα πλαστικά απορρίμματα αποικίζονται εύκολα από θαλάσσιους μικροοργανισμούς, αυξάνεται η πυκνότητα τους και καθιζάνουν στον πυθμένα (Cole et al., 2011; Zettler et al., 2013). Έχει εκτιμηθεί ότι το τμήμα της υδάτινης στήλης που φτάνει μέχρι και 20 cm πάνω από τον πυθμένα περιέχει μεγαλύτερη συγκέντρωση μικροπλαστικών από την υπόλοιπη στήλη νερού (Corrock et al., 2017).

6.6 Εμβολοφόρος πυρηνολήπτης

Ο εμβολοφόρος πυρηνολήπτης (Εικόνα 14) αποτελεί όργανο για δειγματοληψία ιζήματος.



Εικόνα 14 . Εμβολοφόρος πυρηνολήπτης (Πηγή: Marine Pollution National Geographic).

Πίνακας 5. Μέθοδοι δειγματοληψίας από υδάτινη στήλη και ιζήματα.

ΕΡΓΑΛΕΙΟ	ΕΦΑΡΜΟΓΗ	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
ΔΙΧΤΥΑ Neuston (manta)	ΡΗΧΑ ΝΕΡΑ	- ΕΥΚΟΛΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ - ΜΕΓΑΛΟΣ ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ - ΕΥΡΕΙΑ ΧΡΗΣΗ	- ΧΡΗΣΗ ΣΚΑΦΟΥΣ - ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΣΚΑΦΟΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΧΟΙΝΙΑ - ΔΕΙΓΜΑΤΑ 330μm
ΔΙΧΤΥΑ ΠΛΑΓΚΤΟΥ	- ΡΗΧΑ ΝΕΡΑ - ΜΕΣΑΙΑ ΒΑΘΗ (Δίχτυ Μπόνγκο)	- ΕΥΚΟΛΗ ΧΡΗΣΗ - ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΩΣ 100μm	- ΧΡΗΣΗ ΣΚΑΦΟΥΣ - ΠΙΘΑΝΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΣΧΟΙΝΙΑ - ΦΡΑΞΙΜΟ - ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΙΚΡΟΥ ΟΓΚΟΥ
ΚΟΣΚΙΝΑ	- ΡΗΧΑ ΝΕΡΑ - ΜΕΣΑΙΑ ΒΑΘΗ - ΙΖΗΜΑΤΑ	- ΕΥΚΟΛΗ ΧΡΗΣΗ - ΔΕΝ ΑΠΑΙΤΕΙ ΣΚΑΦΟΣ	- ΧΡΟΝΟΒΟΡΟ - ΜΙΚΡΟΣ ΟΓΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ
ΑΝΤΛΙΕΣ	- ΡΗΧΑ ΝΕΡΑ - ΜΕΣΑΙΑ ΒΑΘΗ	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΜΕΓΑΛΟΥ ΟΓΚΟΥ	ΕΙΔΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ
ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΣ ΠΥΡΗΝΟΛΗΠΤΗΣ	ΘΑΛΑΣΣΙΟΣ ΠΥΘΜΕΝΑΣ	ΕΥΚΟΛΟ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ	- ΑΚΡΙΒΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ - ΧΡΗΣΗ ΣΚΑΦΟΥΣ - ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΒΑΘΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΑΣ ΠΛΑΓΚΤΟΥ (CPR)	ΜΕΣΑΙΑ ΒΑΘΗ(10m)	- ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΕΓΑΛΟΥ ΟΓΚΟΥ ΝΕΡΟΥ - ΕΥΚΟΛΟ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ	- ΧΡΗΣΗ ΣΚΑΦΟΥΣ - ΑΚΡΙΒΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ
ΕΠΙΒΕΝΘΙΚΟ ΕΛΚΗΘΡΟ	ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΥΘΜΕΝΑ	- ΜΙΚΡΟ ΚΟΣΤΟΣ - ΔΕΙΓΜΑ ΜΕΓΑΛΟΥ ΟΓΚΟΥ ΝΕΡΟΥ - ΑΣΦΑΛΗΣ ΚΑΙ ΣΕ ΙΣΧΥΡΟΥΣ ΑΝΕΜΟΥΣ	- ΧΡΗΣΗ ΣΚΑΦΟΥΣ - ΑΔΥΝΑΜΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΣΕ ΑΝΗΦΟΡΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ

Η μελέτη των Browne et al. (2011) έδειξε ότι μικροπλαστικά εντοπίστηκαν σε δείγματα ιζήματος από παράκτιες περιοχές σε διάφορα μέρη του κόσμου. Η ανάλυση που ακολούθησε έδειξε κυρίως συνθετικές ίνες από πολυεστέρα (56%), ακρυλικό (23%), πολυπροπυλένιο (7%), πολυαιθυλένιο (6%) και πολυαμίδιο (3 %).

7. ΣΧΟΛΙΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η κατανόηση της προέλευσης και της κατανομής των μικροπλαστικών στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι κεφαλαιώδους σημασίας γιατί θα συμβάλλει στην υιοθέτηση αποτελεσματικών μέτρων για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Είναι επομένως σημαντικό να γνωρίζουμε σε ποιο στάδιο πρέπει να γίνουν παρεμβάσεις ώστε να είναι όσο γίνεται πιο αποτελεσματικές. Η κυκλοφορία των ωκεανών, οι αναταραχές και η ανάμειξη μπορούν να δράσουν για να ωθήσουν τους ρυπαντές από την επιφάνεια της θάλασσας σε βαθύτερα υδάτινα στρώματα.

Επιπλέον, η χημική υποβάθμιση και ο βιολογικός αποικισμός των ρυπαντών αποτελούν πρόσθετες διεργασίες που μπορούν να προκαλέσουν τη βύθιση των ρυπαντών ανεξάρτητα από την κίνηση του θαλασσινού νερού.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα την περιβαλλοντική μοίρα των πλαστικών απορριμμάτων, είναι σημαντικό να διεξαχθεί βασική έρευνα που να συγκρίνει τη σύνθεση, τη λειτουργία και τα ποσοστά υποβάθμισης της κοινότητας υπό διαφορετικά καθεστάτα θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας συνθετικές και φυσικές μικροβιακές κοινοπραξίες. Η εφαρμογή σύγχρονων προσεγγίσεων για τη συστηματική δοκιμή βιοαποδομήσιμων εναλλακτικών λύσεων σε υλικά που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα που εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται θα βοηθήσει στη λήψη αποφάσεων που θα διατηρήσουν το περιβάλλον μας συμβάλλοντας παράλληλα στην κυκλική οικονομία και στην αειφορία.

7.1 Κυκλική οικονομία

Κυκλική οικονομία είναι ένα μοντέλο βιώσιμης οικονομίας που βασίζεται στην υπεύθυνη παραγωγή και κατανάλωση των αγαθών. Σύμφωνα με την Ε.Ε., στην κυκλική οικονομία η αξία των προϊόντων και των υλικών διατηρείται για όσο το δυνατόν περισσότερο, η δημιουργία απορριμμάτων και η εκμετάλλευση των φυσικών πόρων ελαχιστοποιούνται και οι πόροι διατηρούνται για όσο το δυνατόν περισσότερο μέσα στην οικονομία, αφού όταν ένα προϊόν ολοκληρώσει τον



κύκλο ζωής του χρησιμοποιείται ξανά και ξανά και έτσι παράγεται επιπλέον αξία στην οικονομία. Το σχέδιο δράσης της ΕΕ για την κυκλική οικονομία προτείνει να αναθεωρηθεί η οδηγία για τα απόβλητα, ώστε να αντικατοπτρίζει καλύτερα τις απαιτήσεις για μία πραγματική κυκλική οικονομία (Meys et al., 2020). Βασική προϋπόθεση είναι η μετάβαση από ένα γραμμικό μοτίβο «προμηθευτείτε (πρώτες ύλες)-κατασκευάστε-καταναλώστε-απορρίψτε» σε ένα κλειστό βρόχο στον οποίο τα υλικά επαναχρησιμοποιούνται και ανακυκλώνονται συνεχώς. Απαιτείται δηλαδή μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία (Nielsen et al., 2020). Η στρατηγική στοχεύει στο να δημιουργηθεί μια έξυπνη, καινοτόμος και βιώσιμη βιομηχανία πλαστικών, όπου ο σχεδιασμός και η παραγωγή θα σέβονται πλήρως τις αρχές της επαναχρησιμοποίησης, επισκευής και ανακύκλωσης, φέρνοντας έτσι, ανάπτυξη και θέσεις εργασίας στην Ευρώπη.

7.2 Αειφορία

Η Ευρώπη μετατρέπει τις προκλήσεις σε ευκαιρίες για να δώσει το παράδειγμα για αποφασιστική δράση σε παγκόσμιο επίπεδο. Περισσότερα από τα μισά απόβλητα πλαστικών που παράγονται στην Ευρώπη θα ανακυκλώνονται, μέχρι το 2030. Η ανθρωπότητα έχει παράξει τόσο πλαστικό που καταλήγει στο περιβάλλον. Εδώ έρχεται και το Zero Waste ένας διαφορετικός τρόπος ζωής με σκοπό να μην επιβαρυνθεί -παραπάνω- το περιβάλλον. Zero Waste ή μηδενική παραγωγή απορριμμάτων σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Μηδενικής Παραγωγής Απορριμμάτων, είναι «η μη παραγωγή απορριμμάτων είναι ένας στόχος ηθικός, οικονομικός, αποτελεσματικός και ένα όραμα να κατευθύνει τους ανθρώπους να αλλάξουν τον τρόπο ζωής τους και τις καθημερινές συνήθειες τους και να μιμηθούν. τους βιώσιμους φυσικούς κύκλους, όπου όλα τα υλικά που απορρίπτονται είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να γίνουν πόροι για κάποιον άλλο (αειφορία). Zero Waste σημαίνει σχεδιασμός και διαχείριση προϊόντων και διαδικασιών για τη συστηματική μείωση και την ανάλυση του όγκου καθώς και της τοξικότητας των αποβλήτων και των υλικών, τη διατήρηση και την επαναχρησιμοποίηση όλων των πόρων, χωρίς να γίνεται καύση ή ταφή αυτών.



7.2.1 Οι πέντε πρακτικές που καθορίζουν τη μηδενική παραγωγή πλαστικών ρύπων

Ανακατασκευάστε (Reconstruct): για τα προϊόντα ένδυσης τα οποία ανακυκλώνονται σε αρκετά καταστήματα ενδυμάτων προσφέροντας νέα μοντέλα ένδυσης σε πολύ δελεαστικές τιμές.

Απορρίψτε (Refuse): για τα προϊόντα που μας δίνονται δωρεάν από διαφημιστικές καμπάνιες, όπως στυλό ή μπρελόκ, που καταλήγουν πάντα σχεδόν άμεσα στα σκουπίδια.

Μειώστε (Reduce): για τα προϊόντα που αγοράζουμε χωρίς στην πραγματικότητα να χρειαζόμαστε λόγω υπερκατανάλωσης.

Επαναχρησιμοποιήστε (Reuse): για τα προϊόντα που μπορούμε να κάνουμε μια νέα χρησιμότητα.

Επισκευάστε (Repair): για τα προϊόντα που μπορούν να επιδιορθωθούν αντί να αντικατασταθούν με καινούρια. Ανακύκλωση: για τα προϊόντα που μπορούν να ξεκινήσουν έναν νέο κύκλο ζωής.

Μικρά βήματα προς το Zero Waste. Πάντα σακούλα (πάνινη) πολλαπλών χρήσεων στην τσέπη για τις αγορές μας. Αποφυγή χρήσης και αγοράς προϊόντων που είναι συσκευασμένα σε πλαστική συσκευασία. Προτιμήστε το σπιτικό φαγητό και αποφεύγετε το πρόχειρο φαγητό που θα σας το προσφέρουν μαζί με τα περιττά απορρίμματα. Επίσης αν εστιάσεις στο σπιτικό φαγητό θα εξοικονομήσεις και χρήματα. Χρησιμοποιήστε τη δική σας φιάλη ή το θερμός σας κάθε φορά που αγοράζετε καφέ από κάποιο κατάστημα, σε κάποια προσφέρονται και σε ελκυστικότερες τιμές.

Επιβάλλεται να αλλάξουμε πολλές από τις καθημερινές μας συνήθειες ο καταναλωτής διαδραματίζει την αφθονία παραγωγής και την αγορά. Μεγάλη η έννοια της αειφορίας και της ευθύνης που μας βαραίνει απέναντι στο περιβάλλον, το οποίο είναι το σπίτι, ο χώρος που μας φιλοξενεί και το οποίο θα πρέπει με σεβασμό, ευλάβεια, αγάπη και σύνεση να προστατεύσουμε και να παραδώσουμε αρτιμελή στις επόμενες γενεές τον πλανήτη που μας φιλοξενεί.



8. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

8.1 Ευρωπαϊκή νομοθεσία

Η κατάσταση στην Ευρωπαϊκή νομοθεσία

Το 2015, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προχώρησε στην δημιουργία ενός Σχεδίου Δράσης για την Κυκλική Οικονομία, με μακροπρόθεσμους στόχους για τη μείωση της υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων, την αύξηση της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης των προϊόντων. Το 2019 πραγματοποιήθηκαν δυο συζητήσεις για αυτό το Σχέδιο Δράσης: η αναθεώρηση τεσσάρων οδηγιών για την Κυκλική Οικονομία και η συμφωνία για μία μείωση της χρήσης πλαστικών προϊόντων μιας χρήσης. Έγινε η θέσπιση υποχρεώσεων διαχείρισης και καθαρισμού και ξεκίνησαν προγράμματα ευθύνης κατασκευαστών και παραγωγών (EPR). Θεσπίστηκε καμπάνια ενημέρωσης των πολιτών και καθοδήγηση για τις επιλογές απόρριψης.

Η αλήθεια είναι ότι τα ανακυκλωμένα πλαστικά στην Ευρώπη έχουν τετραπλασιαστεί, παρέχοντας σταθερή ροή εσόδων για τον τομέα της ανακύκλωσης αλλά και για την ασφάλεια της εργασίας, για το αυξανόμενο εργατικό δυναμικό του (EUROPEAN COMMISSION, 2018). Η έρευνα και η καινοτομία μπορούν να κάνουν τη διαφορά προς αυτή την κατεύθυνση, βοηθώντας παράλληλα στην πρόληψη των πλαστικών απορριμμάτων και της ρύπανσης από τα μικροπλαστικά. Η Επιτροπή είναι ιδιαίτερα προσεκτική στην καινοτομία σε υλικά που είναι πλήρως βιοαποικοδομήσιμα σε θαλασσινό και γλυκό νερό και είναι ακίνδυνα για το περιβάλλον και τα οικοσυστήματα. Καινοτόμα υλικά και εναλλακτικές πρώτες ύλες για την παραγωγή πλαστικών αναπτύσσονται και χρησιμοποιούνται, όπου τα στοιχεία δείχνουν σαφώς ότι αυτά, είναι περισσότερο βιώσιμα σε σύγκριση με τις παραδοσιακές, μη εναλλακτικές λύσεις (Rhodes, 2018). Ακόμη νέες προσεγγίσεις και ανάπτυξη καινοτόμων επιχειρηματικών μοντέλων, όπως για παράδειγμα αυτό της αντίστροφης εφοδιαστικής μονάδας, μπορούν να συμβάλουν δραστικά στην ελαχιστοποίηση των πλαστικών απορριμμάτων στην πηγή, επιτυγχάνοντας παράλληλα περαιτέρω οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη.



Μια πρωτοβουλία (η μηδενική απώλεια πέλλετ) που δημιουργήθηκε στην Ευρώπη από την plastic Europe με την καμπάνια (zero pellets lost) εκπροσωπεί τους κατασκευαστές που δραστηριοποιούνται στη δημιουργία πλαστικών, προωθεί την μηδενική απώλεια πλαστικών ρύπων. Εκατό περίπου βιομηχανικές εγκαταστάσεις τα τελευταία δέκα χρόνια στη Σουηδία, έχουν βελτιώσει τις απώλειες στα συστήματα αποχέτευσης και βιομηχανικών εγκαταστάσεων με βέλτιστους χειρισμούς και με παρακολούθηση ελέγχων ρουτίνας. Το οικονομικό όφελος από την πρώτη ύλη που δεν χάνεται είναι για τις επιχειρήσεις ποιο σημαντικό από το περιβαλλοντικό όφελος. Στο Ελσίνκι υπογράφηκε 30/1/19 πρόταση περιορισμού χρήσης από καταναλωτές και επιχειρηματίες ορισμένων μιγμάτων πλαστικού (ECHA/PR/19/03).

8.2 Ενέργειες και δράσεις σε παγκόσμια κλίμακα

Υπάρχουν πολλά προγράμματα που δραστηριοποιούνται την τελευταία δεκαετία τα οποία αποσκοπούν στη διάδοση και τη χρήση νέων πρακτικών από την παραγωγή μέχρι την κατανάλωση προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια σφαιριδίων ή πλαστικών που κοκκοποιούνται, σε όλη την αλυσίδα παραγωγής (Magnusson et al., 2016). Προκειμένου να αποφευχθεί η ρύπανση από τα μικροπλαστικά, έχουν αναληφθεί αρκετές πρωτοβουλίες σε παγκόσμιο και περιφερειακό επίπεδο. Για παράδειγμα, ο Οργανισμός Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environment Organization, UNEO) ξεκίνησε μια παγκόσμια εκστρατεία για την εξάλειψη των πρωτογενών πηγών πλαστικών απορριμμάτων όπως είναι τα μικροπλαστικά στα προϊόντα προσωπικής φροντίδας και στα καλλυντικά, καθώς και για τη μείωση της κατανάλωσης πλαστικών μίας χρήσης έως το 2022.

Υπάρχουν επίσης σε παγκόσμια κλίμακα διάφοροι οργανισμοί που δραστηριοποιούνται στο καθαρίσμα των θαλασσών από πλαστικούς ρύπους. Ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός (The ocean clean up) που ιδρύθηκε το 2013 στην Ολλανδία εγκατέστησε το μεγαλύτερο σύστημα καθαρισμού των ωκεανών. Με τεχνολογική υποστήριξη, σε συνεργασία με μια πληθώρα επιστημόνων έχει ξεκινήσει τον καθαρισμό των ωκεανών από τα πλαστικά απορρίμματα,



παρεμποδίζοντας αρχικά την διέλευση τους από τα ποτάμια. Μια μεγάλη καμπάνια ξεκίνησε στη Μάλτα (Seabin project) από το 2015, για τον καθαρισμό των ακτών.

Το Πανεπιστήμιο του Πλύμουθ χρησιμοποιώντας πρωτοποριακές κάμερες καταγραφής, που είναι συνδεδεμένες με συσκευή δειγματοληψίας νερού του σκάφους, καταγράφει πλάνα μικροπλαστικών και άλλου τύπου συντριμμιών στους ωκεανούς (Talebi & Amal 2014).

Τα αστικά απόβλητα και τα απόβλητα που προέρχονται από τα λύματα αποτελούν τον κυριότερο ρυπαντή (Εικόνα 17). Υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού και το καθιστούν πολλές φορές ακατάλληλο για τη ζωή των οργανισμών. Πολλές από αυτές τις απώλειες σφαιριδίων και πρώτων υλών, από τις εγκαταστάσεις παραγωγής μπορούν να προβλεφθούν και να αντιμετωπιστούν μέσω διαδικασιών ρουτίνας ελέγχου και διήθησης των λυμάτων. Έχουν ήδη αναληφθεί ενέργειες από τις βιομηχανίες κατασκευής πλαστικών για τη μείωση τέτοιων απωλειών από εγκαταστάσεις παραγωγής πλαστικών προϊόντων, λόγω της αυξημένης συνειδητοποίησης του προβλήματος την τελευταία δεκαετία.



Εικόνα 17. Απόρριψη αστικών λυμάτων χωρίς επεξεργασία (Πηγή: Pollution, National Geographic).

Μη κυβερνητικές οργανώσεις (ΜΚΟ) έχουν παρουσιάσει κατά καιρούς, σχέδια για την ευαισθητοποίηση των κοινωνιών, αλλά και ευρύτερα, την αύξηση της πίεσης προς τις βιομηχανίες και τα κράτη για λήψη μέτρων, αλλά και την ανάγκη αξιολόγησης και προσδιορισμού του επίπεδου της ρύπανσης λόγω των μικροπλαστικών και των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον σε εθνικό και διεθνές επίπεδο (Karbalaei et al., 2018). Επίσης, κατά την «Ημέρα της Γης, 2018», η εκστρατεία «End Plastic Pollution» ξεκίνησε ως απάντηση στη σημαντική αύξηση των πλαστικών απορριμμάτων στον πλανήτη μας. Αυτή η εκστρατεία χρησιμοποίησε το υψηλό προφίλ της «Ημέρας της Γης» για να αυξηθεί η ευαισθητοποίηση για το θέμα της ρύπανσης από τα πλαστικά και για να αναδειχθεί το ζήτημα στην παγκόσμια ατζέντα, ώστε να απαιτηθεί αποτελεσματική δράση από κυβερνήσεις και ιδιώτες για τη μείωση της χρήσης των πλαστικών, ειδικά των πλαστικών μίας χρήσης (Karbalaei et al., 2018).

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα πλαστικά από το υδάτινα οικοσυστήματα καταλήγουν στο πιάτο μας. Ο έλεγχος της πηγής της ρύπανσης με τη βοήθεια της βιοτεχνολογίας μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο πρόληψης σοβαρότερων επιπτώσεων στο θαλάσσιο περιβάλλον. Πρέπει να δούμε ποιο σοβαρά τις αλληλεπιδράσεις βήτα πολυμερών οι οποίες θα βοηθήσουν στην υποβάθμιση των πλαστικών και να ελέγξουμε πιθανές διαδικασίες βιο-αποικοδόμησης. Ήρθε η ώρα που πρέπει όλοι μαζί και κάθε ένας χωριστά να αντισταθμίσουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα από τη χρήση πλαστικού γιατί η κατάσταση κοντεύει σε σημείο μη αναστρέψιμο.

Αυτό δεν πρέπει να μας αποτρέψει από την κατανάλωση αλιευτικών προϊόντων, αντίθετα πρέπει να μας αφυπνίσει. Πρέπει να αναλογιστούμε το μέγεθος της ευθύνης σε αυτήν την τεράστια πηγή ρύπανσης και με ποιόν τρόπο ο κάθε ένας συμβάλει σε αυτήν είναι μια υπόθεση που πρέπει να μας απασχολεί όλους. Η κρίση της πλαστικής ρύπανσης θα συνεχίσει να επιδεινώνεται εάν δεν υπάρξει συλλογική δράση από όλους όσους εμπλέκονται στην παγκόσμια αλυσίδα αξίας των πλαστικών. Σύμφωνα με σχετική ανακοίνωση της WWF, διαπιστώνεται ότι υπερβολικά μεγάλο μέρος της ευθύνης για τη μείωση της πλαστικής ρύπανσης αφορά τους καταναλωτές και το σύστημα διαχείρισης των απορριμμάτων.

9.1 Δράσεις και προτάσεις

Μπορούμε να διαδραματίσουμε σημαντικό ρόλο στη μείωση του αριθμού των μικροπλαστικών στην ξηρά, στον αέρα και στο υδάτινο περιβάλλον, απλά μειώνοντας την κατανάλωση πλαστικών. Μερικές απλές πρακτικές που επιβάλλεται να ακολουθήσουμε είναι:

Η αγορά ενδυμάτων κατασκευασμένων από φυσικές ίνες όπως βιολογικό βαμβάκι και το μαλλί τα οποία βιο αποικοδομούνται με την πάροδο του χρόνου, αντί να παραμένουν στο φυσικό περιβάλλον όπως οι συνθετικές ίνες.



Χρήση επαναχρησιμοποιήσιμων προϊόντων: Μπορούμε να αντικαταστήσουμε τα πλαστικά μπουκάλια και τα καλαμάκια μίας χρήσης, με γυάλινα ή καλαμάκια από μπαμπού, βλαστούς σταριού ή και μεταλλικά ακόμη τα οποία μπορούμε να πλύνουμε και να χρησιμοποιήσουμε ξανά. Ορισμένοι τύποι πλαστικών δεν είναι ανακυκλώσιμοι και πάντοτε οδηγούνται στον χώρο υγειονομικής ταφής, επομένως επείγει να αντικαταστήσουμε αυτούς με επαναχρησιμοποιήσιμα προϊόντα όπου είναι δυνατόν.

Ανακύκλωση πλαστικών σύμφωνα με τις τοπικές οδηγίες: Επιβάλλεται να επαναχρησιμοποιούμε κάθε πλαστικό που καταναλώνουμε, και να το ανακυκλώνουμε σύμφωνα με τις οδηγίες του τοπικού προγράμματος διαχείρισης απορριμμάτων. Ορισμένες εγκαταστάσεις δεν δέχονται συγκεκριμένα πλαστικά προϊόντα επειδή τα μηχανήματα δυσκολεύονται να τα ταξινομήσουν και να τα επεξεργαστούν. Μια πρωτοποριακή ιδέα είχε ο δήμος Σύμης με τοποθέτηση κάδου ανακύκλωσης πλαστικών φιαλών σε πολυσύχναστη παραλία του νησιού (Εικόνα 18).



Εικόνα 18. Κάδος ανακύκλωσης πλαστικού σε παραλία της Σύμης (Πηγή: Αλιεία και Θάλασσα 2014-2020, CLLD LEADER).

Χρήση εναλλακτικής μεταφοράς: Τα ελαστικά αυτοκινήτων συμβάλλουν πολύ στην δημιουργία μικροπλαστικής σκόνης στην ατμόσφαιρα. Η οδήγηση ποδηλάτου ή το περπάτημα όποτε είναι δυνατόν, θα μειώσει το χρόνο χρήσης του δρόμου, μειώνοντας την ποσότητα σκόνης ελαστικών στον αέρα.

Μετά από μια ολιστική κατανόηση του μεγέθους της ρύπανσης πρέπει νέες πρακτικές να τεθούν σε λειτουργία. Το περιβάλλον μας αποτελεί κομμάτι της οντότητας μας είναι το ενδιαίτημα μας το οποίο εκπέμπει σήμα κινδύνου με κάθε τρόπο. Μια ακμάζουσα βιομηχανία θα πρέπει να δημιουργηθεί συμβάλλοντας σε μία νέα αναγεννητική οικονομία, με τη χρήση ανακυκλωμένου πλαστικού. Προϊόντα δηλαδή εγγενώς σχεδιασμένα, ώστε να μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν με υψηλή απόδοση. Σ' αυτή την προσπάθεια, χημικοί και μηχανικοί πρέπει να συμβάλλουν σε ένα καινοτόμο σχεδιασμό χημικών ουσιών, διεργασιών και προϊόντων στη βάση της κυκλικής οικονομίας. Μάλιστα ο επανασχεδιασμός ενός προϊόντος ώστε να υπακούει στις αρχές της επαναχρησιμοποίησης, επισκευής και ανακύκλωσης, διαφαίνεται ως μια πιθανή λύση. Τέλος εταιρίες θα πρέπει να επενδύσουν σε μονάδες ανακύκλωσης ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες (Ινδία, Πακιστάν) και να δημιουργήσουν, ευκαιρίες απασχόλησης για τον πληθυσμό.

9.2 Χρήση διασπώμενων πλαστικών

Τα συγκεκριμένα πλαστικά διασπώνται μα δεν εξαφανίζονται , αντιθέτως απορροφούν επιπλέον τοξικές ουσίες που βρίσκονται στο θαλασσινό νερό π.χ. Επιβραδυντικά καύσης ,αντιοξειδωτικά PCB , DDT , κ. α. ειδικά σε περιοχές με έντονη βιομηχανική δραστηριότητα.

Από την 1^η Ιανουαρίου 2022 οι επιχειρήσεις μαζικής εστίασης και όλοι οι φορείς της κυβέρνησης υποχρεούνται να σταματήσουν να προμηθεύονται πλαστικά μιας χρήσης καθώς και τα προϊόντα που κατασκευάζονται από οξοδιασπώμενη πλαστική ύλη, όπως μπατονέτες, μαχαιροπίρουνα, περιέκτες ποτών και τροφίμων από διογκωμένο πολυστυρένιο (φελιζόλ), αναδευτήρες ποτών.

9.3 Κρατάμε στα χέρια μας τη βιωσιμότητα του πλανήτη

Ένα εκατομμύριο πλαστικές φιάλες νερού κι αναψυκτικών αγοράζονται κάθε λεπτό παγκοσμίως και τα νούμερα όλο και αυξάνονται, το 91% από τα οποία δεν οδηγούνται στην ανακύκλωση. Η



μοίρα αυτών των πλαστικών φιαλών, στην καλύτερη περίπτωση αφού δεν ανακυκλωθούν, είναι να βρεθούν στον όγκο των απορριμμάτων της εκάστοτε χώρας, όπου θα αποθηκευτούν με ασφάλεια ώστε να μην απορριφθούν στο φυσικό περιβάλλον. Με γνώμονα ότι το 91% δεν ανακυκλώνονται, το πιθανότερο είναι να καταλήξουν στο ασφαλές μέρος ταφής απορριμμάτων (συνήθως κάποιο ΧΥΤΑ). Μεγάλο ποσοστό όμως αυτών δεν καταλήγουν στο ΧΥΤΑ, είτε λόγω αμέλειας των πολιτών να τα τοποθετήσουν στον κάδο απορριμμάτων, είτε κατά την μεταφορά τους στο εκάστοτε ασφαλές μέρος.

Όταν πλέον ο πλαστικός ρύπος έχει φτάσει στον προορισμό του, αν ο προορισμός του είναι αρκετά ασφαλής και δεν επηρεάζεται από φυσικές καταστροφές (πλημμύρες, τυφώνες), θα παραμείνει εκεί μέχρι να βιοδιασπαστεί, με την τελευταία να είναι αρκετά χρονοβόρα διαδικασία. Εκτιμάται ότι μια πλαστική φιάλη νερού χρειάζεται 450 χρόνια για να διασπαστεί πλήρως, αν και ο χρόνος βιοδιάσπασης του πλαστικού παραμένει επίσημα άγνωστος (Gu, 2020). Υπολογίζεται ότι έως το 2050 το θαλάσσιο περιβάλλον θα περιέχει περισσότερο πλαστικό από ψάρια κατά βάρος (Mac Arthur, 2014). Τεράστιο είναι το ποσοστό θνησιμότητας των ψαριών, τεράστια η οικολογική καταστροφή, ανεπανόρθωτες οι βλάβες στη θαλάσσια οικολογία και τη ζωή των θαλάσσιων θηλαστικών. Υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να καταστούν οι ωκεανοί ακατάλληλοι για τη θαλάσσια ζωή εξαιτίας του πλαστικού. Το περιβάλλον δέχεται περίπου τριακόσια πενήντα εκατομμύρια τόνους πλαστικού κάθε χρόνο.



10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

10.1 Ελληνική βιβλιογραφία.

- Αναγνώστη Λ. (2018) Πλαστικά μικροσφαιρίδια στα καλλυντικά: Περιβαλλοντικοί κίνδυνοι και επιπτώσεις στην υγεία. Η περίπτωση της Ελλάδας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 73-158.
- Αποστόλου Ο. (2020) Διερεύνηση της τύχης των μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον. Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ. 97.
- Βαλαβανίδης Α., Βλαχογιάννη Θ. (2007) Οικοτοξικολογία και Περιβαλλοντική Τοξικολογία, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Βέργου Γ. (2019) Συνθετικές μικροίνες στα Αστικά λύματα και οι επιπτώσεις τους στα Φυσικά Οικοσυστήματα και στην ανθρώπινη υγεία. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, σελ. 98.
- Γεωργαντζόγλου Μ. (2019) Βραχυχρόνια έκθεση των μικροφυκών σε σφαιρίδια πολυστυρενίου. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ. 111.
- Καλαρέμας (2019) Αφθονία, Κατηγορίες και μέγεθος μικροπλαστικών σωματιδίων σε Παραλίες αναψυχής της Λέσβου. Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, σελ. 57.
- Κόκκαλας Δ. (2020-2021) Το πρόβλημα των μικροπλαστικών στο περιβάλλον – ανίχνευση, εμφάνιση και αφαίρες. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, σελ 18-86.
- Παπουτσόγλου Σ. (1998) Ενδοκρινολογία Ιχθύων, Α. Σταμούλης.
- Φυτιάνος Κ. (2017) Η ρύπανση των θαλασσών Γ Έκδοση, UNIVERSITY STUDIO PRESS.

10.2 Ξένη Βιβλιογραφία

- Akdogan & Guven (2019) Microplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs, Environmental Pollution, 10.1016.
- Alexander J., Barreg L., Bignami M., Ceccatelli S. (2016) Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood, EFSA, 2016.4501.
- Andrady, A. (2011). Microplastics in the marine environment. J. Marpolbul, 2011.05.030
- Andrady A. (2017). The plastic in microplastics: A review. J. Marpolbul, 2017.01.082.
- Anger P., Esch E., Baumann T., Elsner M., Niessner R., Ivleva N. (2018) Raman microspectroscopy as a tool for microplastic particle analysis, J.Trac, 2018.10.010.

- Arthur C., Baker J., Bamford H. (2008) Proceeding of the international research workshop on the occurrence, effects, and fate of microplastic marine debris, National Oceanic and Atmospheric Administration, 2509.
- Avio C., Gorbi S., Regoli F. (2015) Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: First observations in commercial species from Adriatic Sea, *Marine Environment Research*, 06.014.
- Avio C., Gorbi S., Regoli F. (2017) Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat, *Marine Environmental Research*, 05.012.
- Awara W M, S H El – Nabi, M El – Gohary (1998) Assessment of vinyl chloride-induced DNA damage in lymphocytes of plastic industry workers using a single – cell gel electrophoresis technique, 10.1016.
- Azzarello M. & Vleet E. (1987) Marine birds and plastic pollution, *Marine Ecology*, 295-303.
- Barnes D., Galgani F., Thompson R., Barlaz M. (2009) Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 0205.
- Batel A., Linti F., Scherer M., Erdinger L., Braunbeck T. (2016) Transfer of benzo[a]pyrene from microplastics to *Artemia nauplii* and further to zebrafish via a trophic food web experiment: CYP1A induction and visual tracking of persistent organic pollutants, *Environmental Science*, 10.1002.
- Baztan J., Bergmann M., Booth A. (2017) Breaking Down the Plastic Age, *Research Gate*, 00170-8.
- Bertling, J., Bertling, R., Hamann, L., (2018) Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik. Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen [in German]. Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen, Germany, 10.24406.
- Bolt H. (2005) Vinyl Chloride – A Classical Industrial Toxicant of New Interest, *Critical Reviews in Toxicology*, 10408440490915975.
- Bouland A., White A., Lonabaugh K., Varian-Ramos, Cristol D. (2012) Female-biased off spring sex ratios in birds at a mercury-contaminated river, 2012.05612.
- Browne M., Crump P., Niven S., Teuten E., Tonkin A., Galloway T., Thompson R. (2011) Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks, *American Chemical Society*, 201811s.
- Browne N., Chun M., Golomb J.(2011) A taxonomy of external and internal attention, *Annu Rev Psychol*, 100427.

- Carbery M., MacFarlane G., O'Connor W., Afrose S., Taylor H., Palanisami T. (2020) Baseline analysis of metal(loid)s on microplastics collected from the Australian shoreline using citizen science, *Marine Pollution Bulletin*, 110914.
- Carpenter E. & Smith K. (1972) Plastics on the Sargasso sea surface, *Science*, 4027.1240.
- Carr S., Liu J., Tesoro A. (2016) Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants, *Water Research*, 01.002.
- Cauwenberghe L., Janssen C. (2014) Microplastics in bivalves cultured for human consumption, *Environmental Pollution*, 2014.06.010.
- Chang X., Xue Y., Li J., Zou L., Tang M. (2019) Potential health impact of environmental micro- and nanoplastics pollution, *PubMed*, 3915.
- Cole M., Lindeque P., Halsband C., Galloway T. (2011) Microplastics as contaminants in the marine environment: A review, *Research Gate*, 09.025.
- Coppock R., Cole M., Lindeque P., Queiros A., Galloway T. (2017) A small-scale, portable method for extracting microplastics from marine sediments, *Environmental Pollution*, 10.1016.
- Cox K., Covernton G., Davies H., Dower J., Juanes F., Dudas S. (2019) Human Consumption of Microplastics, *Environ. Sci. Technol.*, 01517.
- Cozar A., Echevarria F., Gonzalez-Gordillo J.I., Irigoien X., Ubeda B., Hernandez-Leon S., Palma A., Navarro S., Garcia-de-Lomas J., Ruiz A., Fernandez-de-Puelles M., Duarte C. (2014) Plastic debris in the open ocean, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1314705111.
- Desforges J., Galbraith M., Dangerfield N., Ross P. (2014) Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean, *Marine Pollution Bulletin*, 2013.12.035.
- Domogalla-Urbansky J., Anger P., Ferling H., Rager F., Wiesheu A., Niessner R., Ivleva N., Schwaiger J. (2018) Raman microspectroscopic identification of microplastic particles in freshwater bivalves (*Unio pictorum*) exposed to sewage treatment plant effluents under different exposure scenarios, *Environmental Science and Pollution Research*, 11356-018-3609-3.
- Dris R., Imhof H., Loder M., Gasperi J., Laforsch C., Tassin B. (2018) Chapter 3 – Microplastic Contamination in Freshwater Systems: Methodological Challenges, Occurrence and Sources, *Microplastic Contamination in Aquatic Environments*, 5.00003-5.
- Duis K. & Coors A. (2016) Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects, *Environmental Science Europe*, 015-0069-y.
- EFSA (2018) EFSA Consolidated Annual Activity Report, Europe, pp. 147.

- Eriksen M., Lebreton L., Carson H., Thiel M., Moore C., Borerro J., Galgani F., Ryan P., Reisser J. (2014) Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea, *Journal Pone*, 0111913.
- Etienne J., Chirico S., McEntaggart K., Papoutsis S., Millstone E. (2018) EU Insights – Consumer perceptions of emerging risks in the food chain, *EFSA*, 10.2903.
- European Commision (2018) Annual activity reports 2018, https://commission.europa.eu/publications/annual-activity-reports-2018_en (Πρόσβαση: 10-08-2021).
- Feig D., Donovan L., Corcoy R., Murphy K., Amiel S., Hunt K., Asztalos E., Barrett J., Sanchez J., Leiva A., Hod M., Jovanovic L., Keely E., McManus R., Hutton E., Meek M., Stewart Z., Wysocki T., O'Brien R., Ruedy K., Kollman C., Tomlinson G., Murphy H. (2017) Continues glucose monitoring in pregnant woman with type 1 diabets (CONCEPTT): a multicentre international randomized controlled trial, *Epub*, 6736(17)32400-5.
- Fromme H., Lahrz T., Kraft M., Fembacher L. (2013) Phthalates in German daycare centers: Occurrence in air and dust and the excretion of their metabolites by children (LUPE 3), *Environment International*, 10.1016.
- Gennara V., Ceppi M., Crosignani P., Montanaro F. (2008) Reanalysis of updated mortality among vinyl and polyvinyl chloride workers: Confirmation of historical evidence and new findings, *BMC Public Health*, 2458-8-21.
- GESAMP (2015) Sources, Fate And Effects of Microplastics in the Marine Environment: A Global Assessment, London, pp.96.
- Giacomo Avio C., Gorbi S., Regoli F. (2017) Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat, *Marine Environmental Research*, 2016.05.012.
- Gu J. (2020) Biodegradability of plastics: the issues, recent advances, and future perspectives, *Environmental Science and Pollution Research*, 10.1007.
- Guarrera M., Aroagona M., Porcino C., Fazio F., Laura R., Levanti M., Montalbano G., Germana G., Abbate F., Germana A. (2021) Micro and Nano Plastics Distribution in Fish as Model Organisms: Histopathology, Blood Response and Bioaccumulation in Different Organs, *MDPI*, 11135768.
- Guyen O., Gokdag K., Jovanovic B., Kideys A. (2017) Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish, *Environmental Pollution*, 01.025.
- Hale R., Seeley M., Guardia M., Mai L., Zeng E. (2020) A Global Perspective on Microplastics, *Journal of Geophysical Research*, 14719.
- Hardy A., Benford D., Halldorsson T., Jeger M., Knusten H., More S., Naegeli H., Noteborn H., Ockleford C., Ricci A., Rycken G., Schlatter J., Silano V., Solecki R., Turck D., Younes M.,

- Chaudhry Q., Cubadda F., Gott D., Oomen A., Weigel S., Karamitrou M., Schoonjans R., Mortensen A. (2018) Guidance on risk assessment of the application of nanoscience and nanotechnologies in the food and feed chain: Part 1, human and animal health, EFSA Journal, 10.2903.
- Henry B., Laitala K., Klepp I. (2019) Microfibres from apparel and home textiles: Prospects for including microplastics in environmental sustainability assessment, Science of the Total Environment, 2018.10.166.
- Hidalgo-Ruz V., Guton L., Thompson R., Thiel M. (2012) Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification, Environ. Sci. Technol., 2031505.
- Mortensen A. (2018) Guidance on risk assessment of the application of nanoscience and nanotechnologies in the food and feed chain: Part 1, human and animal health, EFSA, 5327.
- Ivleva N., Wiesheu A., Niessner R. (2016) Microplastic in Aquatic Ecosystems, Epub, 201606957.
- Jovanovic M. (2017) The Principle of Non-Punishment of Victims of Trafficking in Human Beings: A Quest for Rationale and Practical Guidance, Journal of Trafficking and Human Exploitation, 22775112.
- Kandaraki E., Chatzigeorgiou A., Lividas S., Palioura E., Economou F., Koutsilieris M., Palimeri s., Panidis D., Diamanti-Kandarakis E. (2011) Endocrine Disruptors and Polycystic Ovary Syndrome (PCOS): Elevated Serum Levels of Bisphenol A in Women with PCOS, JCEM, 2010-1658.
- Karbalaee S., Hanachi P., Walker T., Cole M. (2018) Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution, Environmental Science and Pollution Research, Environmental Science and Pollution Research, 36046-36063.
- Kelkar V. (2017) Analysis of Chlorination & UV Effects on Microplastics Using Raman, Arizona State University ProQuest Dissertations Publishing, 10275952.
- Kermenidou M., Frydas I., Moschoula E., Kousis D., Christofilos D., Karakitsios S., Sarigiannis D. (2023) Quantification and characterization of microplastics in the Thermaic Gulf, in the North Aegean Sea, Science of the Total Environment, 164299.
- Kovač Viršek, M.; Palatinus, A.; Koren, Š.; Peterlin, M.; Horvat, P. and Kržan, A. (2016) Protocol for Microplastics Sampling on the Sea Surface and Sample Analysis, Journal of Visualized Experiments, 10.3791.
- Lambert S., Scherer C., Wagner M. (2017) Ecotoxicity testing of microplastics: Considering the heterogeneity of physicochemical properties, Integrated Environmental Assessment and Management, 10.1002.

- Lambert S., Sinclair C., Boxall A. (2014). Occurrence, degradation, and effect of polymer-based materials in the environment, *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 319-01327-5_1.
- Li B., Cantino P., Olmstead R., Bramley G., Xiang C., Ma Z., Tan Y., Zhang D. (2016) A large-scale chloroplast phylogeny of the Lamiaceae sheds new light on its subfamilial classification, *Research Gate*, 4.0.
- Li Y., Xu M., Zhang Z., Halimu G., Li YAN., Li Yan., Gu W., Zhang B., Wang X. (2022) In vitro study on the toxicity of nanoplastics with different charges to murin splenic lymphocytes, *Journal of Hazardous Materials*, 2021.127508.
- Liebmann B., Koppel S., Konigshofer P., Bucsics T., Reiberger T., Schwabl P. (2018) Assessment of microplastic concentrations in human stool final results of a prospective study, *umwelt bundesamt*, 0618.
- MacArthur D.G., Manolia T.A., Dimmock D.P., Rehm H.L., Shendure J., Abecasis G.R., Adams D.R., Altman R.B., Antonarakis S.E., Ashley E.A., Barrett J.C., Biesecker L.G., Conrad D.F., Cooper G.M., Cox N.J., Daly M.J., Gerstein M.B., Goldstein D.B., Hirschhorn J.N., Leal S.M., Pennacchio L.A., Stamatoyannopoulos J.A., Sunyaev S.R., Valle D., Voight B.F., Winckler W., Gunter C. (2014) Guidelines for investigating causality of sequence variants in human disease, *Nature*, 469-476.
- Magnusson K., Eliaeson K., Fråne A., Haikonen K., Olshammar M., Stadmark J., Hultén J. (2016) Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment, *Digitala Vetenskapliga Arkivet*, 1549783.
- Mai L., Bao L., Shi L., Wong C. (2018) A review of methods for measuring microplastics in aquatic environments, *Environmental Science and Pollution Research*, 10.1007.
- Mason S., Welch V., Neratko J. (2018) Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water, *Frontiers in Chemistry*, 00407.
- Mathalon A. & Hill P. (2014) Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia, *Marine Pollution Bulletin*, 02.018.
- Mattsson K., Johnson E., Malmendal A., Linse S., Hansson L., Cedervall T. (2017) Brain damage and behavioural disorders in fish induced by plastic nanoparticles delivered through the food chain, *Scientific Reports*, Scientific reports, 10813-0.
- Meys R., Frick F., Westhues S., Sternberg A., Klankermayer J., Bardow A. (2020) Towards a circular economy for plastic packaging wastes – the environmental potential of chemical recycling, *Resources, Conservation and Recycling*, 10.1016.

- Mitrano D., Beltzung A., Frehland S., Schmiedgruber M., Cingolani A., Schmidt F. (2019) Synthesis of metal-doped nanoplastics and their utility to investigate fate and behaviour in complex environmental systems, *Nature Nanotechnology*, 41565-018-0360-3.
- Moore C.J. (2008) Synthetic Polymers in the Marine Environment: A Rapidly Increasing, Long – Term Threat, *Environmental Research*, 07.025.
- Moore M., Yamamuro M., Timoshkin O., Shirokaya A., Ksmeda Y. (2021) Lake-Wide assessment of microplastics in the surface waters of Lake Baikal, Siberia, *Limnology*, 265-274.
- More T.T., Yadav J.S.S., Yan S., Tyagi R.D. (2014) Extracellular polymeric substances of bacteria and their potential environmental applications, *Journal of Environmental Management*, 05.010.
- Morris E. (1980) *Applied Behavior Analysis for Criminal Justice Practice: Current Dimensions*, Sage Journals, 00700201.
- Nielsen T., Hasselbalch J., Holmberg K., Strippel J. (2020) Politics and the plastic crisis: A review throughout the plastic life cycle, 10.1002.
- Nolasco M., Sboia L., Barros Y., Lemos V. (2023) Microplastics and nanoplastics in the aquatic environment: contamination, determination and interaction with other contaminants, *Research Gate*, 10.52571.
- Noventa S., Boyles M., Seifert A., Belluco S., Jimenez A., Johnston H., Tran L., Fernandes T., Mughini-Gras L., Orsini M., Corami F., Castro K., Mutinelli F., Boldrin M., Puntos V., Sotoudeh M., Mascarello G., Tiozzo B., McLean P., Ronchi F., Booth A., Koelmans A., Losasso C. (2021) Paradigms to assess the human health risks of nano- and microplastics, *Microplastics and Nanoplastics*, 10.1186.
- Oyanedel-Cravel V. (2020) A Critical Review of Extraction and Identification Methods of Microplastics in Wastewater and Drinking Water, *PubMed*, 06672.
- Pereao O., Opeolu B., Fatoki O. (2020) Microplastics in aquatic environment: characterization, ecotoxicological effect, implications for ecosystems and developments in South Africa, *Environmental Science and Pollution Research International*, 020-08688-2.
- Pinto da Costa J., Avellan A., Mouneyrac C., Duarte A., Rocha-Santos T. (2023) Plastic additives and microplastics as emerging contaminants: Mechanisms and analytical assessment, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 116898.
- Prata J., Costa J., Girão A., Lopes I., Duarte A., Rocha-Santos T. (2019) Identifying a quick and efficient method of removing organic matter without damaging microplastic samples, *Science of the Total Environment*, 2019.05.456
- Ragusa A., Svelato A., Santacroce C., Catalano P., Notarstefano V., Carnevali O., Papa F., Rongioletti M., Baiocco F., Draghi S., D'Amore E., Rinaldo D., Matta M., Giorgini E. (2021) Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta, *Environment International*, 2020.106274.

- Rahman A., Sarkar A., Yadav O., Achari G., Slobodnik J. (2021) Potential human health risks due to environmental exposure to nano- and microplastics and knowledge gaps: A scoping review, *Science of the Total Environment*, 143872.
- Revel M., Chatel A., Mouneyrac C. (2018) Micro(nano)plastics: A threat to human health?, *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 2017.10.003.
- Rhodes C. (2018) Plastic Pollution and Potential Solutions, *Science Progress*, 10.3184.
- Rist S., Almroth B., Hartmann N., Karlsson T. (2018) A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics, *The Science of the Total Environment*, 01.092.
- RMIT University (2016) Magnetic material mops up microplastics in water, <https://www.rmit.edu.au/news/all-news/2022/nov/microplastics-removal> (Πρόσβαση: 20-03-23).
- Roch S. & Brinker A. (2017) Rapid and Efficient Method for the Detection of Microplastic in the Gastrointestinal Tract of Fishes, *Environmental Science & Technology*, 7b00364.
- Rocha-Santos T. & Duarte A. (2015) A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 10.011.
- Rochman C., Tahir A., Williams S., Baxa D., Lam R., Miller J., The F., Werorilangi S., Teh S. (2015) Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption, *Scientific Reports*, 14340.
- Romeo T., Pietro B., Peda C., Consoli P., Andaloro F., Fossi M. (2015) First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 04.048.
- Rossi A.C., Mullin P., Prefumo F. (2013) Prevention, management, and outcomes of macrosomia: a systematic review of literature and meta-analysis, *PubMed*, 74455.a8.
- Rossi P., Wright J., Anderson A. (1983) Chapter 1 – Sample Surveys: History, Current Practice, and Future Prospects, *Handbook of Surveys Research*, 9.50007-0.
- Ryan M., Watkins L., Walter M. (2019) Hudson River juvenile Blueback herring avoid ingesting microplastics, *J.marpolbul*, 07.004.
- Sayed S.S. (2014) Investigation of microplastic debris in marine surface waters using different sampling methods, *University of Plymouth*, 10.24382/4136.
- Schirrinzi G., Pérez I., Sanchis J., Rossini C., Farré M., Barcelo D. (2017) Cytotoxic effects of commonly used nanomaterials and microplastics on cerebral and epithelial human cells, *Environmental Research*, 2017.08.043.

- Schönfelder G., Wittfoht W., Hopp H., Talsness C., Paul M., Chahoud I. (2002) Parent bisphenol A accumulation in the the human maternal – fetal – placental unit, *Environmental Health Perspectives*, 1241091.
- Schwaferts C., Niessner R., Elsner M., Ivleva N. (2019) Methods for the analysis of submicrometer- and nanoplastic particles in the environment, *TrAC*, 2018.12.014.
- Sebille E., Wilcox C., Lebreton L., Maximenko N., Hardesty B., Franeker J., Eriksen M., Siegel D., Glagani F., Law K. (2015) A global inventory of small floating plastic debris, *Environmental Research Letters*, 124006.
- Sen P., Shah P., Nativio R., Berger S. (2016) Epigenetic Mechanisms of Longevity and Aging, *Leading Edge Review*, 10.1016.
- Setälä O., Fleming-Lehtinen V., Lehtiniemi M. (2013) Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web, *Environmental Pollution*, 10.013.
- Seyed-Talebi S. & Neek-Amal M. (2014) The different adsorption mechanism of methane molecule onto a boron nitride and a graphene flakes, *Journal of Applied Physics*, 10.1063.
- Sharma S., Chatterjee S. (2017) Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review, *Epub*, 9910-8.
- Shaw D. & Mapes G. (1979) Surface circulation and the distribution of pelagic tar and plastic, *Marine Pollution Bulletin*, 90421-1.
- Shimanaga M. & Yanagi K. (2016) The Ryukyu Trench may function as a “depocenter” for anthropogenic marine litter, *Journal of Oceanography*, 895-903.
- Sialubanje C., Massar K., Hamer D., Ruiter R. (2014) Understanding the psychosocial and environmental factors and barriers affecting utilization of maternal healthcare services in Kalomo, Zambia: a qualitative study, *Health Education Research*, 011.
- Sotoudeh M., Mascarello G., Tiozzo B., McLean P., Ronchi F., Booth A., Koelmans A., Losasso C. (2021) Paradigms to assess the human health risks of nano- and microplastics, *Microplastics and Nanoplastics*, 021-00011-1.
- Talvitie J., Heinonen M., Paakkonen J., Vahtera E., Mikola A., Setälä O., Vahala R. (2015) Do wastewater treatment plants act as a potential point source of microplastics? Preliminary study in the coastal Gulf of Finland, Baltic Sea, *Water Sci. Technol.*, 1495-1504.
- Teng M., Zhao Z., Wang C., Wang Ch., White J., Zhou W., Duan M., Wu F. (2022) Polystyrene Nanoplastics Toxicity to Zebrafish: Dysregulation of the Brain-Intestine-Microbiota Axis, *ACS Publications*, 10.1021.
- Thompson R., Olsen Y., Mitchell R., Davis A., Rowland S., John A., McGonigle D., Russell A. (2004) Lost at sea: where is all the plastic? , *PubMed*, 10.1126.
- Thushari G. & Senevirathna J. (2020) Plastic pollution in the marine environment, *Heliyon*, 04709.



- Treat, J., & Williams, R. (2018). We Depend On Plastic. Now, We're Drowning in It. National Geographic, May.
- United Nations News Global perspectives Human stories (2019) Microplastic pollution is everywhere, but not necessarily a risk to human health. <https://news.un.org/en/> (Πρόσβαση: 01-08-2021)
- Vazquez-Rowe I., Ita-Nage D., Kahhat R. (2021) Microplastics in fisheries and aquaculture: implications to food sustainability and safety, J.cogs, 100464.
- Wang W., Moore K., Martiny A., Primeau F. (2019) Convergent estimates of marine nitrogen fixation, Nature Supplementary Information, 019-0911-2.
- Wang J., Wang S. (2018) Activation of persulfate (PS) and peroxymonosulfate (PMS) and application for the degradation of emerging contaminants, Chemical Engineering Journal, 2017.11.059.
- Waring J., Bishop S., Clarke J., Exworthy M., Fulop N., Hartley J., Ramsay A. (2018) Healthcare leadership with political astuteness (HeLPA): a qualitative study of how service leaders understand and mediate the informal ‘power and politics’ of major health system change, University of Birmingham, 018-3728-z.
- Weber C., Santowski A., Chiffard P. (2022) Investigating the dispersal of macro-and microplastics on agricultural fields 30 years after sewage sludge application, Scientific Reports, 022-10294-w.
- Wilcox C., Seville E., Hardesty B. (2015) Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive and increasing, J. Stor, 26465140.
- Witte B., Devriese L., Bekaert K., Hoffman S., Vandermeersch G., Cooreman K., Robbens J. (2014) Quality assessment of the blue mussel (*Mytilus edulis*): Comparison between commercial and wild types, Marine Pollution Bulletin, 06.006.
- Wong C. (1974) Fuzzy Points and Local Properties of Fuzzy Topology, Journal of Mathematical Analysis and Applications, 46, 316-328.
- Wright S., Kelly F. (2017) Plastic and Human Health: A Micro Issue?, Environ. Sci. Technol., 66346647.
- Wright S., Thompson R., Galloway T. (2013) The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review, Environmental Pollution, 2013.02.031.
- Yang J., Chen T., Li L., Li R., Feng Y., Luo Y. (2023) The Fate of micro(nano)plastics in soil – plant systems: Current progress and future directions, Current Opinion in Environmental Science & Health, 100438.
- Zettler E., Mincer T., Amaral-Zettler L. (2013) Life in the “Plastisphere”: Microbial Communities on Plastic Marine Debris, Environ. Sci. Technol., 401288.
- Zhu H., Fu S., Zou H., Su Y., Zhang Y. (2021) Effects of nanoplastics on microalgae and their trophic transfer along the food chain: recent advances and perspectives, Environmental Science: Processes & Impacts, 00438g.



Ziajahromi S., Neale P., Rintoul L., Leusch F. (2017) Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: Development of a new approach to sample wastewater-based microplastics, Water Research, 2017.01.042.



11. ABSTRACT

The aim of this thesis was to provide a detailed description of the fate of plastic pollutants in the environment, specifically in aquatic receptors and their impact on aquatic organisms and public health, through an extensive literature review. Residues from hundreds of widely used plastic pollutants enter the environment through a complex network of sources and pathways and end up polluting all aquatic ecosystems. The global occurrence of plastic pollutants in freshwater ecosystems, estuarine ecosystems, marine environments, groundwater and drinking water is now well documented, with the highest levels of pollution being found in the effluent of wastewater treatment plants and in marine waters.

Alexander Parkes made the first plastic polymer in 1855. Wallace Carothers made synthetic plastic (nylon) in 1935 in the Du Pont laboratories. Mass production of plastics began in the 1940s and since then they have spread worldwide causing this huge pollution. They have been detected in the air, soil, and all aquatic environments. Knowing that they cause changes in the biological balance of the aquatic system, by their invasion they deprive the biocommunity of safe food and are largely responsible for the degradation of the aquatic environment, the disappearance of competitors and the mutation of organisms. Their effects on organisms through inhalation, respiration and ingestion are presented. The legislation and actions in Greece and on a global scale are described, ways of disposal are analysed and a strategies and appropriate measures are proposed, suggesting solutions and actions.

KEYWORDS

Microplastics, macroplastics, nanoplastics.

