



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ  
ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ  
ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**



**«Μέθοδοι ανίχνευσης και τεχνικές ταυτοποίησης μικροπλαστικών σε  
επιφανειακά ύδατα»**

**ΧΡΥΣΟΒΑΛΑΝΤΗ ΑΘΗΝΑΙΟΥ**

**ΒΟΛΟΣ 2025**

**UNIVERSITY OF THESSALY**  
**SCHOOL OF ARGICULTURAL SCHIENCES**  
**DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC**  
**ENVIRONMENT**

**POSTGRADUATE MASTER'S THESIS**

**«Methods for the detection and identification of Microplastics in  
surface Waters»**

**CHRYSOVALANTI ATHINAIΟΥ**

**VOLOS 2025**

**«Μέθοδοι ανίχνευσης και τεχνικές ταυτοποίησης μικροπλαστικών σε  
επιφανειακά ύδατα»**

### **Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:**

- 1) Γεώργιος Μιχαήλ**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Φαρμακολογία Αγροτικών Ζώων και Ζώων Εργαστηρίου με Έμφαση στην Μικροβιακή Αντοχή, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**,
- 2) Σεραφήμ Παπαδόπουλος**, Καθηγητής, Εκτροφή Παραγωγικών Ζώων με Έμφαση στην Αναπαραγωγή των Μηρυκαστικών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**,
- 3) Αθανάσιος Εξαδάκτυλος**, Καθηγητής, Γενετική Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**,

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα αυτής της εργασίας κύριο Μιχαήλ Γεώργιο για την θερμή υποστήριξη και καθοδήγηση .

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ. Παπαδόπουλο και κ. Εξαδάχτηλο, που αποτέλεσαν μέλη της τριμελούς επιτροπής

Τέλος δεν θα γινόταν να μην αναφερθώ αφενός στην οικογένεια μου, αφετέρου στους φίλους μου, που στάθηκαν δίπλα μου σε αυτό το όμορφο και απαιτητικό ταξίδι των σπουδών μου.

Σας ευχαριστώ πολύ όλους από καρδιάς.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται ένα από τα πιο σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα του 21ου αιώνα. Η αλόγιστη και αυξανόμενη χρήση του πλαστικού, σε συνδυασμό με τη μη ορθή διαχείριση και επεξεργασία των απορριμμάτων κατέληξε στην ύπαρξη μιας μορφής ρύπανσης εκείνης πλαστικής.

Η ρύπανση από πλαστικά επηρεάζει όλες τις μορφές των οικοσυστημάτων. Πιο συγκεκριμένα τα θαλάσσια, χερσαία και τέλος τα γλυκά- εσωτερικά οικοσυστήματα. Το παραπάνω πρόβλημα, αποτελεί έναν από τους βασικούς παράγοντες υποβάθμισης και απώλειας της βιοποικιλότητας των οικοσυστημάτων.

Το ζήτημα της πλαστικής ρύπανσης αποτελεί ένα διασυνοριακό ζήτημα που διέπει τόσο την κοινωνία μας όσο και το παγκόσμιο περιβάλλον. Δίνοντας έμφαση στην αλόγιστη χρήσης τους, με αποτέλεσμα την αποδόμηση τους μέσω διεργασιών και την δημιουργία των μικροπλαστικών σφαιριδίων και ινών. Τα μικροπλαστικά έχουν την ικανότητα να προσφορούν στην επιφάνεια τους μικροοργανισμούς και χημικούς ρύπου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να λειτουργούν ως φορείς βαρέων μετάλλων και οργανικών ρύπων (POPs).

Μέσω της διάχυσης της διεθνούς βιβλιογραφίας για την πλαστική ρύπανση και τα μικροπλαστικά, παρουσιάζετε ένα μεγάλο φάσμα μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τις μεθόδους δειγματοληψίας , ανάλυσης και ταυτοποίησης των μικροπλαστικών στα επιφανειακά ύδατα.

Στόχος της παρούσας εργασίας λοιπόν, είναι η αλλαγή της νοοτροπίας τόσο της κοινωνίας, όσο και του κοινού απέναντι στην αλόγιστη χρήση του πλαστικού.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ** : Πλαστική ρύπανση, μικροπλαστικά, επιπτώσεις, μέθοδοι ανίχνευσης , μέθοδοι ταυτοποίησης, κυκλική οικονομία,

## ABSTRACT

This thesis examines one of the most critical environmental issues of the 21<sup>st</sup> century : plastic pollution. The reckless and continuously increasing use of plastics, combined with inadequate waste management and processing, has led to a form of pollution stemming from plastic. This type of pollution affects all ecosystems – marine, terrestrial, and freshwater- and is a major factor in the degradation and loss of biodiversity.

The issue of plastic pollution is not confined to local contexts, as it has transboundary implications that impact both society and the global ecosystem. Special emphasis is placed on the careless use of plastic, which has resulted in its decomposition through natural processes and creation of microplastic beads and fibers.

These microplastics have the ability to adsorb microorganisms and chemical pollutants, acting as carriers of heavy metals and persistent organic pollutants (POPs).

## KEYWORDS

Plastic pollution, Microplastics, Impacts, Detection methods, Identification methods, Circular economy.

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

**IUCN** : Διεθνή Ένωση για τη Διατήρηση της Φύσης

**MP** : Μικροπλαστικά

**PE** : πολυαιθυλένιο

**PP**: Πολυπροπυλένιο

**PS** : Πολυστυρόλιο

**PVC**: Πολυβινυλοχλωρίδιο

**PA** : Πολυαμίδιο

**PET**:Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο

**PVA**: Πολυβινυλική αλκοόλη

## Περιεχόμενα

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| <b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....                                         | 6  |
| ABSTRACT .....                                                | 7  |
| KEYWORDS .....                                                | 7  |
| ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....                                           | 8  |
| <i>Σκοπός εργασίας</i> .....                                  | 11 |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....                                                | 12 |
| 1. Ορισμός και σημασία επιφανειακών υδάτων.....               | 12 |
| 1.1 Ιστορική αναδρομή δημιουργίας πλαστικού .....             | 13 |
| 1.2 Κατηγορίες πλαστικών και η χρήση τους. ....               | 15 |
| 1.3 Από το πλαστικό στην πλαστική ρύπανση .....               | 18 |
| <b>1.4 Στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης πλαστικών</b> ..... | 18 |
| 2. ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ .....                 | 20 |
| 2.1 Ορισμός Μικροπλαστικών και κατηγορίες ΜΡ .....            | 20 |
| 2.1.1 Πρωτογενή Μικροπλαστικά .....                           | 22 |
| 2.1.2 Δευτερογενή Μικροπλαστικά .....                         | 23 |
| <b>2.1.3 Νανοπλαστικά</b> .....                               | 23 |
| 3. ΠΗΓΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ..... | 24 |
| 3.1 Χερσαίες πηγές.....                                       | 24 |
| 3.2 Θαλάσσιες πηγές.....                                      | 26 |
| 4. ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΡΥΠΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ .....        | 27 |
| 4.1 Προσρόφηση ρύπων .....                                    | 27 |
| 4.1.1 Προσρόφηση Ρύπων .....                                  | 27 |
| 4.2 Τα μικροπλαστικά ως μέσω μεταφοράς μικροοργανισμών .....  | 28 |
| 5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ.....                             | 29 |
| 5.1 Ανθρώπινη Υγεία .....                                     | 29 |
| 5.1.1 Κατάποση .....                                          | 29 |
| 5.1.2. Εισπνοή .....                                          | 30 |
| 5.1.3 Δερματική επαφή .....                                   | 30 |
| 5.2 Θαλάσσιους οργανισμούς.....                               | 31 |
| 6. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΒΟΥΛΙΕΣ .....                  | 33 |
| 6.1 Το Νομικό πλαίσιο στα ελληνικά δεδομένα .....             | 33 |
| 6.2 Διεθνή Κανονισμοί .....                                   | 34 |
| 7. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΜΡ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ .....       | 38 |

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.1 Μέθοδοι συλλογής δειγμάτων.....                                                               | 38 |
| 7.1.1 Δίχτυα Manta.....                                                                           | 38 |
| 7.1.2 Δίχτυα Neuston .....                                                                        | 39 |
| 7.1.3 Δίχτυα bongo.....                                                                           | 40 |
| 8 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ & ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....                                                | 42 |
| 8.1 Διαχωρισμός με κόσκινα .....                                                                  | 42 |
| 8.2 Πέψη οργανικών στοιχείων.....                                                                 | 43 |
| 8.2.1 Όξινη πέψη – Υδροχλώριο (HCL) .....                                                         | 43 |
| 8.2.2 Αλκαλική πέψη – Υδροξείδιο του Νατρίου (NaOH) .....                                         | 44 |
| 8.2.3 Οξειδωτική πέψη - υπεροξείδιο του υδρογόνου (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ).....           | 44 |
| 8.2.4 Πέψη μέσω Πρωτεϊνάσης-K .....                                                               | 44 |
| 9. ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΡ. ....                                             | 45 |
| 9.1 Μέθοδος χρώσης - Βαφή με Nile Red .....                                                       | 45 |
| 9.2 Οπτικοί μέθοδοι προσδιορισμού .....                                                           | 45 |
| 9.2.1 Ανατομικό Μικροσκόπιο (Stereo) .....                                                        | 45 |
| 9.2.2 Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (electron microscope) .....                                         | 46 |
| 9.3 Φασματοσκοπικές Τεχνικές.....                                                                 | 46 |
| 9.3.1 Φασματογραφία Υπέρυθρου FTIR(Fourier-transform infrared spectroscopy) .....                 | 47 |
| 9.3.2 Φασματογραφία του Raman.....                                                                | 47 |
| 9.3.4 Αέρια χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας (GC-MS: Gas chromatography–mass spectrometry) ..... | 48 |
| 10. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....                                                    | 49 |
| 10.1 Προώθηση Κυκλικής Οικονομίας .....                                                           | 49 |
| 10.2 Εκπαίδευση και Ευαισθητοποίηση του κοινού .....                                              | 49 |
| 10.3 Ενίσχυση της επιστημονικής έρευνας και παρακολούθησης .....                                  | 50 |
| 10.4 Τεχνολογικές λύσεις και καινοτομία.....                                                      | 50 |
| 10.4.1 Ρομποτικό ψάρι.....                                                                        | 51 |
| 10.4.2 Waste Shark ( Απόβλητα Καρχαρίας) .....                                                    | 52 |
| 10.5 Βιοπλαστικά ως εναλλακτική λύση .....                                                        | 53 |
| 11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....                                                                            | 56 |
| 12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....                                                                             | 57 |
| 12.1 ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....                                                                   | 57 |
| 12.2 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....                                                                   | 62 |
| 12.3. ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ.....                                                                            | 62 |

## Σκοπός εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, να αναδείξει εξονυχιστικά το μέγεθος του προβλήματος της πλαστικής ρύπανσης και της παρουσίας των μικροπλαστικών στα επιφανειακά ύδατα. Ενώ στόχος είναι να επιχειρήσει να προβάλει τις διεργασίες προσρόφησης και προσκόλλησης χημικών ενώσεων και ρύπων πάνω στην επιφάνεια των μικροπλαστικών. Επιπρόσθετα θα επισημανθούν οι επιπτώσεις τόσο στον ανθρώπινο οργανισμό όσο και στα θαλάσσια είδη από την έκθεση και κατάποση των ΜΡ. Εκ παραλλήλου, για την καλύτερη κατανόηση του προβλήματος θα παρουσιαστούν οι μέθοδοι ανίχνευσης και ταυτοποίησης μικροπλαστικών με απώτερο σκοπό να προσδιοριστούν οι πηγές προέλευσης. Εν κατακλείδι, θα γίνει προσπάθεια να δοθούν απαντήσεις σε κρίσιμα ερωτήματα όπως αν μέσω των νέων προϊόντων (βιοπλαστικά) και των νέων στρατηγικών της κυκλικής οικονομίας, μπορέσουμε να μετριάσουμε το πρόβλημα.

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1. Ορισμός και σημασία επιφανειακών υδάτων

Ως επιφανειακά ύδατα ορίζεται το σύνολο όλων των εσωτερικών υδάτων καθώς και τα μεταβατικά και τα παράκτια ύδατα, με εξαίρεση τα ύδατα που είναι σε άμεση σχέση με τα υπόγεια ύδατα. Οι υπό ομάδες των επιφανειακών υδάτων διαχωρίζονται σε ποτάμια, λίμνες, υγρότοπους και παράκτιες θαλάσσιες περιοχές. Η σπουδαιότητα των επιφανειακών υδάτων είναι πρωταρχική αφενός για τα φυσικά οικοσυστήματα, αφετέρου για την ανθρώπινη ύπαρξη και δραστηριότητα.

Πιο συγκεκριμένα αποτελούν βασική πηγή ύδατος για την κατανάλωση από τον άνθρωπο. Επιπρόσθετα αποτελούν κύρια πηγή για την χρήση στον τομέα της γεωργίας, της βιομηχανίας, της παραγωγής ενέργειας μέσω της υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων και αναψυχή. Παράλληλα φιλοξενούν ένα μεγάλο αριθμό οργανισμών. (UNESCO, 2021).

Ωστόσο τα τελευταία χρόνια, τα επιφανειακά ύδατα έχουν υποστεί σοβαρή ρύπανση με την παρουσία των μικροπλαστικών που αποτελεί μια νέα ανερχόμενη και ανησυχητική μορφή ρύπανσης. Τα μικροπλαστικά χαρακτηρίζονται τα πλαστικά σωματίδια μεθέτους μικρότερου των 5mm και διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες, εκείνες των πρωτογενών (βιοχημικά σφαιρίδια σε προϊόντα) και των δευτερογενών, τα οποία προκύπτουν από την φθορά καθώς και την διάσπαση των μεγαλύτερων πλαστικών αντικειμένων (GESAMP, 2015). Η αντίχνευση τους τόσο σε γλυκά, όσο και σε θαλάσσια ύδατα έχει επιβεβαιωθεί σε ολόκληρο τον κόσμο, εγείροντας ανησυχίες για τις επιπτώσεις τους τόσο στην οικολογική ισορροπία και την ανθρώπινη υγεία (Li *et al.*, 2018).

Η συστηματική αντίχνευση και η μακροχρόνια παρακολούθηση της παρουσίας μικροπλαστικών στα επιφανειακά υδάτινα σώματα συνιστούν κρίσιμα εργαλεία για την αξιόπιστη αποτίμηση της χωρικής και χρονικής εξέλιξης της πλαστικής ρύπανσης. Παράλληλα, αποτελούν θεμέλιο για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση στοχευμένων δράσεων πρόληψης και περιβαλλοντικής αποκατάστασης. Η τρέχουσα επιστημονική δραστηριότητα επικεντρώνεται στην καινοτόμο ανάπτυξη και εφαρμογή εξειδικευμένων τεχνικών, περιλαμβανομένων μεθόδων υψηλής ευαισθησίας για τη δειγματοληψία, προχωρημένων φασματοσκοπικών και χρωματογραφικών αναλύσεων, καθώς και γεωχωρικής χαρτογράφησης των πηγών ρύπανσης. Οι τεχνολογικές και μεθοδολογικές αυτές προσεγγίσεις ενισχύουν τη γνώση σχετικά με τις επιπτώσεις των

μικροπλαστικών στους υδάτινους οικοσυστημικούς πόρους και αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της ανάπτυξης τεκμηριωμένων και βιώσιμων στρατηγικών διαχείρισης.

### 1.1 Ιστορική αναδρομή δημιουργίας πλαστικού

Το πλαστικό αποτελεί ένα από τα πιο φημισμένα υλικά παγκοσμίως. Παρασκευάζεται από μια ομάδα συνθετικών υλικών και αυτό συγκροτείται από υδρογονάνθρακες. Οι τελευταίοι σχηματίζονται με πολυμερισμό, δηλαδή μια σειρά χημικών αντιδράσεων. Οι χημικές αυτές, αντιδράσεις μετατρέπονται σε οργανικές πρώτες ύλες (που περιέχουν άνθρακα), αργό πετρέλαιο και φυσικό (ορυκτό) αέριο. (plastics Europe).

Χάρη των φυσικοχημικών του ιδιοτήτων, το πλαστικό αποτελεί το κυρίαρχο υλικό στην παραγωγή οικιακών αγαθών, στην βιομηχανία και την κατασκευή. Έχει υψηλές ηλεκτρικές και θερμομονωτικές ιδιότητες, υψηλή ανθεκτικότητα- αντοχή, χαμηλό βάρος και ταυτόχρονα αξιοσημείωτα χαμηλό κόστος παραγωγής.

Επιπρόσθετα όμως εμπεριέχουν αρκετά χημικά πρόσθετα. Τα χημικά πρόσθετα που εισάγονται στα πολυμερή κατά την παραγωγή τους, αντιπροσωπεύουν συχνά μεγάλο ποσοστό του συνολικού βάρους τους. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται φθαλικές ενώσεις, με σκοπό την τροποποίηση των ιδιοτήτων των πλαστικών.

Αξιοσημείωτο γεγονός είναι ότι το 4% της παγκόσμιας παραγωγής φυσικού αερίου και πετρελαίου προορίζεται για την δημιουργία πλαστικών. (Καραπαναγιώτη, Χ. , 2020).

Έχοντας όλα τα παραπάνω κατά νού, ας δούμε μερικά ιστορικά στοιχεία για την δημιουργία των πλαστικών στο πέρασμα των ετών.

Η θεμελιώδης αρχή γίνεται στην Αγγλία το 1862 από τον εφευρέτη Alexander Parkers. Ο οποίος χρησιμοποίησε ένα φυσικό πολυμερές που βρίσκεται στα φυτά το κυτταροειδές. Αποτέλεσε το πρώτο συνθετικό πλαστικό που κατασκευάστηκε από κυτταρίνη. Οι ιδιότητες που κατείχε το τότε υλικό, ήταν ότι μπορούσαν να τροποποιήσουν το σχήμα όταν το ζέσταιναν, ενώ όταν το υλικό κρύωνε διατηρούσε το σχήμα που το είχαν δώσει. (Thompson *et al.*, 2009).

Λίγα χρόνια αργότερα το 1869, ο John Wesley Hyatt ανέπτυξε τον κελλουλοΐτη, ο οποίος μετέτρεψε τη νιτροκυτταρίνη σε ένα παραμορφωμένο πλαστικό. Η επίτευξη του κελλουλοΐτη έγινε μέσω της προσθήκης αλκοόλης και καμφοράς μέσω επεξεργασίας της πίεσης και της θερμότητας. Το νέο υλικό αυτό χρησιμοποιήθηκε στις χτένες και στις μπάλες του μπιλιάρδου και αντικατέστησε τα υλικά που χρησιμοποιούσαν για την παρασκευή τους μέχρι τότε που ήταν το κέλυφος της χελώνας και το ελεφαντόδοντο. (Thompson *et al.*, 2009).

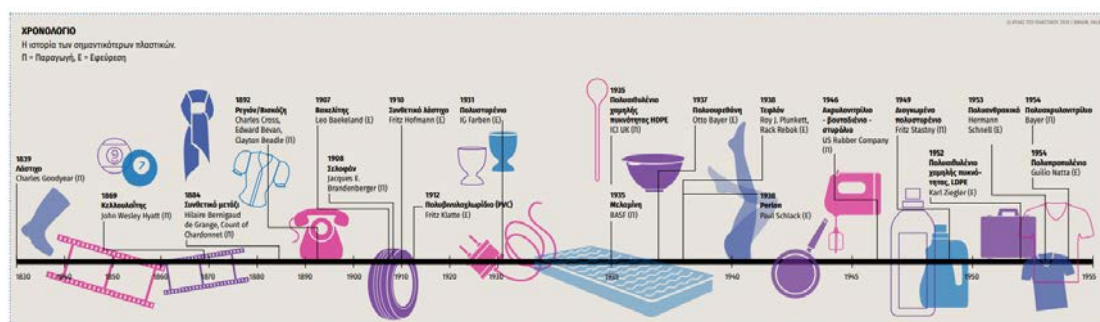
Στη συνέχεια των ετών και φτάνοντας στο 1907, ο Βέλγος χημικός Baekeland δημιούργησε τον βακελίτη. Το εν λόγω θεωρήθηκε το πρώτο πολύμερες και ο

βακελίτης αποτέλεσε την έναρξη της ανάπτυξης της βιομηχανίας βασιζόμενη στο πλαστικό υλικό. (Thompson. *et al*, 2009).

Το 1910 ο χημικός Klatte Fritz κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας ένα πλαστικό που ονομάζεται πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC). Το PVC είναι ένα συνθετικό πολυμερές που προκύπτει από τη χημική αντίδραση του βινυλοχλωριδίου. Ο Klatte δημιούργησε μια μέθοδο- τεχνική πολυμερισμού του βινυλοχλωριδίου με τη βοήθεια ηλιακού φωτός.

Παρόλο που η ανακάλυψη του PVC υπήρξε από τις πιο σημαντικές ανακαλύψεις της εποχής, δεν κατάφερε να έχει άμεση πρακτική εφαρμογή. Η αιτία της μη άμεσης εφαρμογής ήταν οι φυσικοχημικές ιδιότητες του προϊόντος, δεδομένου ότι ήταν αρκετά εύθραυστο και σκληρό.

Λίγες δεκαετίες αργότερα, όμως το 1920 και 1930, κατάφερε να ανάπτυξει την ανακάλυψη του. Πρόσθεσε στο προϊόν νέες τεχνικές. Οι τεχνικές αυτές ήταν η προσθήκη πλαστικοποιητών. Όστε να μπορέσει να το κάνει πιο εύκαμπτο. Το PVC έγινε το πιο χρήσιμο και διαδεδομένο πλαστικό υλικό στον κόσμο.



Εικόνα 1ΑΤΛΑΣ ΤΟΥ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ 2019 / BRAUN, FALBE

Μετάπειτα, στις αρχές του 1940 με 1950 ξεκίνησε η μαζική βιομηχανική παραγωγή του.

Στις δεκαετίες που ακολούθησαν, μεταξύ 1970 έως και 2002 σημειώνεται στην βιομηχανική παραγωγή η πιο ραγδαία και εκθετική αύξηση τους τόσο στην παραγωγή όσο και στην κατανάλωση των πλαστικών.

Συμπερασματικά, είναι πέραν κάθε αμφισβήτησης ότι κάθε χρόνο αναπτύσσονται νέες εφαρμογές και η αντικατάσταση άλλων υλικών με πλαστικό εξακολουθεί να επεκτείνεται σε αρκετούς τομείς (Worm *et al.*, 2017).

## 1.2 Κατηγορίες πλαστικών και η χρήση τους.

Η δημιουργία του πλαστικού έχει αλλάξει ριζικά την ζωή του ανθρώπου . Τα πλαστικά αποτελούν μέσω βελτιστοποίησης της ποιότητας ζωής, με χρήση σε κάθε τομέα της καθημερινότητας. Τα παραπάνω, έχουν ένα πολύ μεγάλο σε πλήθος εφαρμογών , που ποικίλει από φθηνές εφαρμογές μιας χρήσης μέχρι εφαρμογές όπως η βιομηχανία , είδη οικιακής χρήσης, κλωστοϋφαντουργία, είδη συσκευασίας κλπ.

Τα πλαστικά λοιπόν, διαχωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες, στα Θερμοπλαστικά (thermoplastics) και τα Θερμοσκληρυνόμενα (thermosets) και μια δευτερεύουσα κατηγορία τα Ελαστομερή. Ο διαχωρισμός πραγματοποιείται με βάση την διαφορετική ιδιότητα της πρώτης τους ύλης, τον τρόπο παρασκευής τους, των διαφορετικών ιδιοτήτων υπό την επίδραση της θερμότητας και της ανακύκλωσης τους.

Ως θερμοπλαστικά ορίζονται ο τύπος πλαστικού που είναι κατασκευασμένο από πολυμερείς ρητίνες. Τα αναφερόμενα πλαστικά έχουν την ιδιότητα όταν θερμαίνονται να μαλακώνουν και να γίνονται εύπλαστα. στη συνέχεια όταν ψύχονται στερεοποιούνται χωρίς να αλλάζουν ή να αλλοιώνεται η χημική τους δομή.

Τα πιο συνηθισμένα θερμοπλαστικά είναι τα ακόλουθα:

### ➤ Το Πολυαιθυλένιο **PE(29,4%)**,

Το πολυαιθυλένιο (PE) είναι τα πιο κοινά συνθετικά πολυμερή. Είναι κατασκευασμένο από την πολυμεροποίηση του αιθυλενίου ( $C_2H_4$ ). Το πολυαιθυλένιο έχει πολλές χρήσεις και κατηγορίες, με βάση την πυκνότητα και τις ιδιότητές του. Ανάλογα με τις συνθήκες παραγωγής και τις συνθέσεις, υπάρχουν διαφορετικοί τύποι πολυαιθυλενίου. Μερικά προϊόντα στο οποίο το συναντούμε είναι τα πλαστικά καλαμάκια, τα δοχεία τροφίμων ή τα παιχνίδια. Καθώς και σε προϊόντα μιας χρήσης, όπως ποτήρια- πιατάκια.

### ➤ Το Πολυπροπυλένιο **PP (19,1%)**,

Το Πολυπροπυλένιο(PP) είναι ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα θερμοπλαστικά πολυμερή. Παρασκευάζεται από τη μονομερή προπυλένιο μέσω πολυμερισμού ( $C_3H_6$ )<sub>n</sub> .Ανήκει στην οικογένεια των πολυολεφινών.Το συναντάμε στην αυτοκινητοβιομηχανία, στις συσκευασίες των φαρμάκων και των εξωτερικών συσκευασιών καλλυντικών. Στα δοχεία τροφίμων, στα καπάκια πλαστικών μπουκαλιών και σε έπιπλα κήπου.

### ➤ Το Πολυβινυλοχλωρίδιο **PVC( 10,1%)**

Είναι ένα πολυμερές με αρκετά χαμηλό κόστος, εύκαμπτο, ενώ έχει εξαιρετική αντοχή στις καιρικές συνθήκες και τα χημικά. Χρησιμοποιείται κυρίως σε σωληνώσεις, ηλεκτρικά μονωτικά καλώδια, κουφώματα, επενδύσεις δαπέδων (πολυστρωματικά υλικά), κάρτες τραπεζών και σε μερικές συσκευασίες. (Titow., 1984).

➤ Η πολυουρεθάνη **PU (7,5%)**

Η πολυουρεθάνη είναι μια χημική αντίδραση πολυολών (αλκοολών με πολλές υδροξύλιες ομάδες) και ισοκυανικών ενώσεων. Λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων της όπως η αρκετή αντοχή, ελαστικότητα, το ελαφρύ βάρος, οι θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες έχει μια ευρεία εφαρμογή στην βιομηχανία της ένδυσης και υπόδησης. Στον τομέα της ιατρικής (προσθετικά μέλη) και στη βιομηχανία αυτοκινήτων.

➤ Το Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο **PET (7,1%)**

Το πολυαιθυλενο-τερεφθαλικό PET, είναι ένας εστέρας. παρασκευάζεται από αιθυλική γλυκόλη και τερεφθαλικό οξύ. Είναι ένα αρκετά ανθεκτικό και ελαφρύ υλικό. Συνήθως η χρήση του είναι για την παρασκευή διάφορων μπουκαλιών όπως νερού, αναψυκτικού.

➤ Το πολυστυρόλιο **PS (6,9%)**

Πρόκειται για ένα πολυμερές που παρασκευάζεται από το στυρόλιο. Το στυρόλιο είναι ένα υγρό παράγωγο του πετρελαίου. Με πολύ μεγάλο εύρος ιδιοτήτων. επιπλέον έχει χαμηλή αντοχή στη θερμοκρασία, γεγονός που του δίνει την ιδιότητα να μαλακώνει εύκολα. Το συναντάμε σε προϊόντα μιας χρήσης (ποτήρια, μαχαιροπήρουνα, πιάτα), σε προστατευτικά συσκευασίας, ή σε υλικά μονώσεων κτηρίων και ψυγείων.

Από την άλλη πλευρά έχουμε τα θερμοσκληρυνόμενα πλαστικά τα οποία χαρακτηρίζονται ως, τα πολυμερές. Είναι δηλαδή, εκείνα τα οποία όταν πραγματοποιείται η διαδικασία της θέρμανσης υποβάλλονται σε χημικές διεργασίες με αποτέλεσμα την οριστική μορφή – σχήμα του πλαστικού.

Τα πιο συνηθισμένα θερμοσκληρυνόμενα είναι τα ακόλουθα:

Σιλικόνη, Φαινολικές ρητίνες, Πολυουρεθάνη (PUR), Εποξειδικές ρητίνες, Βινυλεστέρας (ρητίνη), Ακρυλικές ρητίνες και οι Ρητίνες Ουρεαφορμαλδεΐδης (UF).

Μία ακόμη τελευταία ξεχωριστή κατηγορία πλαστικών στα οποία θα μπορούσαμε να αναφερθούμε, είναι τα ελαστομερή. Πιο συγκεκριμένα, ελατομερή ονομάζονται τα πολυμερή υλικά που έχουν την ικανότητα να επιστρέφουν στην αρχική τους μορφή. Τα αναφερόμενα υλικά ενώ δέχονται πίεση και μπορεί να πραγματοποιηθεί παραμόρφωση (τέντωμα ή συμπίεση) έχουν μια μοναδική ικανότητα να επανέρχονται στην αρχική τους θέση. Όταν η τάση αφαιρείται. Τα ελαστομερή έχουν πλήθος εφαρμογών, εξαιτίας της ικανότητάς τους να αντέχουν σε παραμορφώσεις χωρίς να καταστρέψουν την ελαστικότητα τους.

Τα ελαστομερή συνήθως συνδέονται με το καουτσούκ και άλλα ελαστικά υλικά. Μερικά παραδείγματα προϊόντων είναι η σιλικόνη, το νιτρίλιο και το πολυουρεθάνιο.

### 1.3 Από το πλαστικό στην πλαστική ρύπανση

Το πλαστικό ερχόμενο στην ζωή μας, αποτέλεσε μια από της πιο σημαντικές τεχνολογικές καινοτομίες του 20ού αιώνα, προσφέροντας καλυτέρευση της καθημερινότητας μας και ευελιξία σε διάφορους τομείς παραγωγής . Ωστόσο, η συνεχιζόμενη αυξανόμενη παραγωγή και χρήση πλαστικού και ταυτόχρονα η ανεπαρκής διαχείριση των αποβλήτων, οδήγησαν σταδιακά σε σοβαρή περιβαλλοντική ρύπανση. Τα τελευταία χρόνια η παρουσία των πλαστικών στο περιβάλλον, έχει συνοδευθεί με αρκετές περιβαλλοντικές ανησυχίες για τις σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούν τα πλαστικά . Σύμφωνα με την ετήσια έκθεση της Plastics Europe που πραγματοποιήθηκε το 2024, τα ποσοστά πλαστικού που παρήχθησαν το 2024 σε παγκόσμιο επίπεδο έφτασαν τα 460 εκατομμύρια μετρικών τόνων πλαστικού, γεγονός που αυξάνει ταυτόχρονα και τα ποσοστά των παραγόμενων αποβλήτων. Τελευταία εισέρχονται τόσο στα θαλάσσια ως και στα χερσαία οικοσυστήματα, ενώ αποσυντίθενται σε μικροπλαστικά τα οποία ρυπαίνουν ακόμα και απομακρυσμένα οικοσυστήματα, απειλώντας όλα τα έμβια όντα και τον ίδιο τον άνθρωπο. (European Plastics., 2024).

### 1.4 Στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης πλαστικών

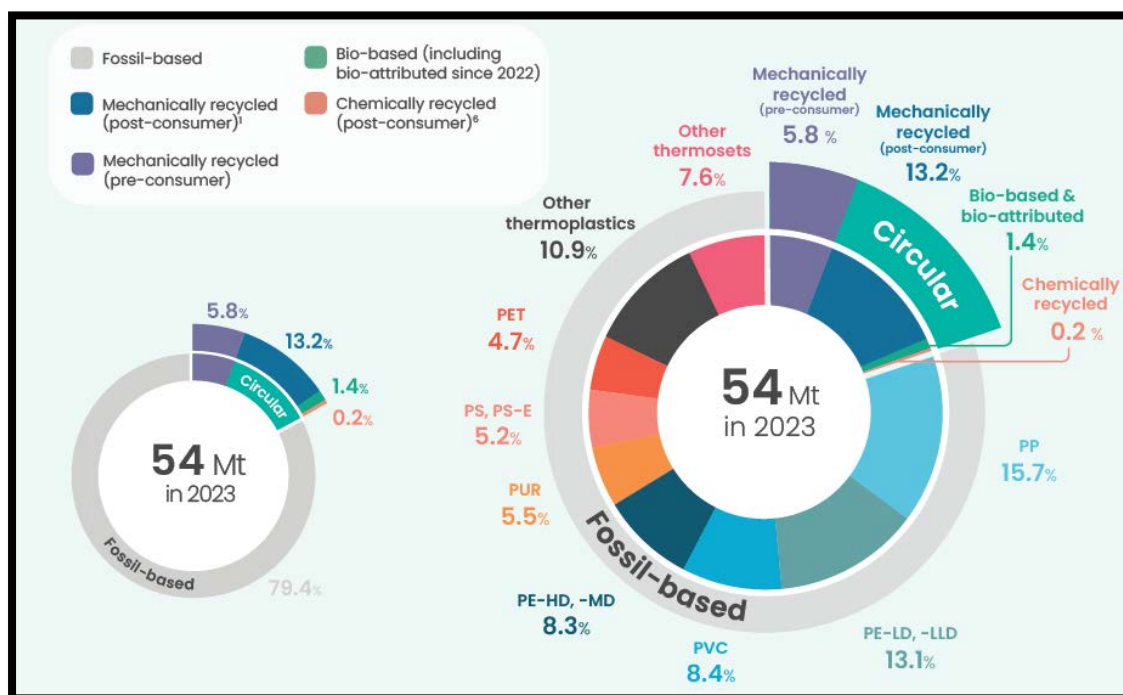
Σύμφωνα με την έκθεση που παρουσίασε η Διεθνής ένωση για τη διατήρηση της φύσης (IUCN) το 2024, παράγονται παγκοσμίως περισσότεροι από 460 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι πλαστικού. Υπολογίζεται ότι παραπάνω από 20 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι καταλήγουν απευθείας στο περιβάλλον, ενώ η ποσότητα αυτή αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά έως το 2050. (IUCN)

Η Κίνα αποτελεί την μεγαλύτερη χώρα παραγωγής και κατανάλωσης πλαστικού παγκοσμίως. Πιο συγκεκριμένα για το έτος 2024, η Κίνα παρήγαγε το 33% το οποίο υπολογίζεται σε 137 εκατομμύρια μετρικούς τόνους.

Την δεύτερη θέση κατέχει η NAFTA με ποσοστό 18% (NORTH AMERICAN FREE TRADE AGREEMENT : Βορειοαμερικανική Συμφωνία Ελευθέρων Συναλλαγών) που αποτελείται από τις χώρες των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, του Καναδά και του Μεξικού.

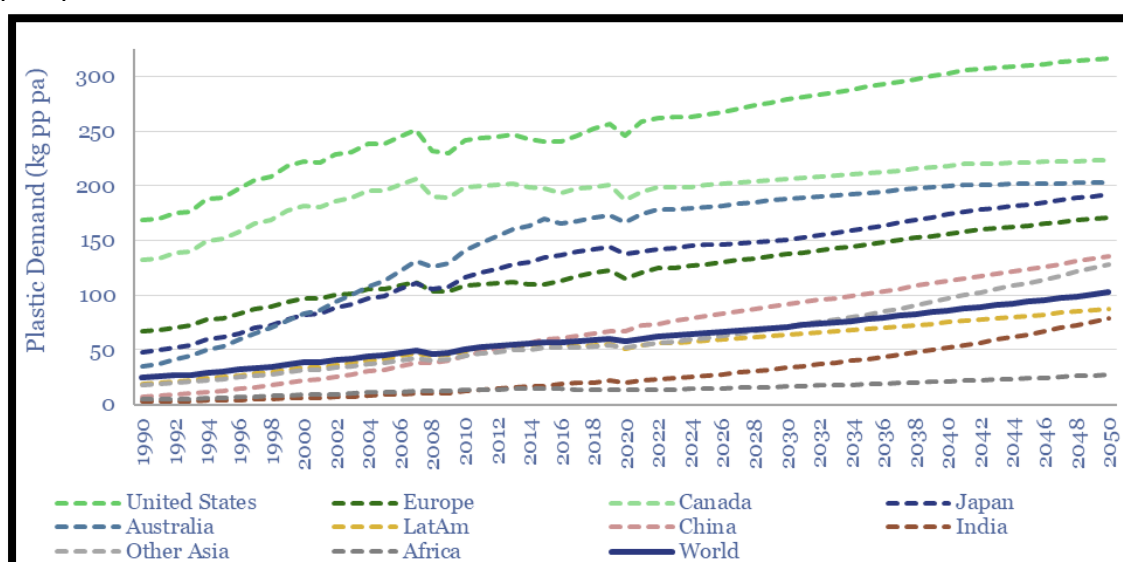
Αξιοσημείωτο γεγονός αποτελεί η συμμετοχή της Ευρώπης στην παγκόσμια παραγωγή πλαστικού. Η Ευρώπη παράγει περίπου το 10,4% της παγκόσμιας παραγωγής. Το οποίο ποσοστό μεταφράζεται, σε 54 εκατομμύρια τόνους παραγωγής πλαστικών ετησίως. Οι κυρίαρχες χώρες παραγωγής στην γεραιά ήπειρο είναι οι εξής. Γερμανία, Ολλανδία, Γαλλία, Ηνωμένο Βασίλειο, Βέλγιο, Ιταλία, Ισπανία και Πολωνία.

Παρακάτω παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα που αφορά τη συμμετοχή της Ευρώπης στην παγκόσμια παραγωγή πλαστικών.



Εικόνα 2 Συμμετοχή της Ευρώπης στην παγκόσμια παραγωγή πλαστικού

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται το ποσοστό της παγκόσμιας κατανάλωσης πλαστικών κατά κεφαλήν ανά περιοχή. Όπως θα παρατηρήσετε, στις αναπτυσσόμενες περιοχές η κατανάλωση των πλαστικών ανά άτομο ανέρχεται στα 170 kg σε ετήσια βάση.



Εικόνα 3το ποσοστό της παγκόσμιας κατανάλωσης πλαστικών κατά κεφαλήν ανά περιοχή

## 2.ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

### 2.1 Ορισμός Μικροπλαστικών και κατηγορίες MP

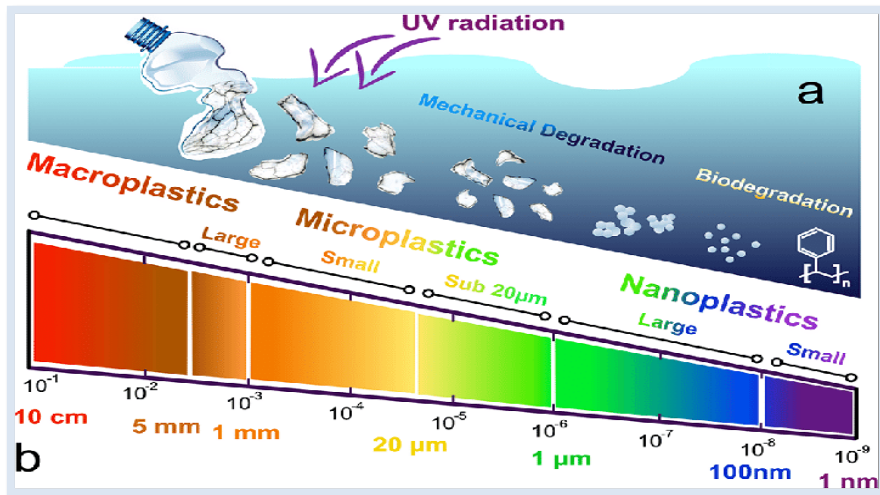
Τα πλαστικά και κυρίως τα μικροπλαστικά αποτελούν ένα σύγχρονο πρόβλημα για όλο τον πλανήτη. Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί τα τελευταία 20 χρόνια από ερευνητές, έχουν εντοπίσει την ύπαρξη τους ακόμη και στα πιο απομακρυσμένα μέρη του κόσμου. Μερικά παραδείγματα εκείνων των περιοχών είναι, η Τάφρος των Μαριανών (Ειρηνικό ωκεανό), αλλά και ορεινές περιοχές όπως τα Ιμαλάια και Γαλλικές Άλπεις, καθώς και στην Ανταρκτική και την Αρκτική σε τμήματα πάγου.

Η ανακάλυψη της παρουσίας των μικροπλαστικών σε αυτές τις απόμακρες και δυσπροσβάτες περιοχές, αποδεικνύουν την παγκόσμια διάσταση του προβλήματος. Ακόμη και σε περιοχές που θεωρούνται μη προσβάσιμες από τον άνθρωπο. Δυστυχώς, όμως μολονότι ένα τόσο σημαντικό και μείζον πρόβλημα διέπει ολόκληρο τον πλανήτη, δεν έχει γίνει εφικτή ακόμη η λύση στο να δοθεί ένας επίσημος ορισμός για τα μικροπλαστικά. (Gigault *et al.*,2019).

Οι περισσότερες αναφορές που πραγματοποιούνται εστιάζουν κυρίως στην ταξινόμηση των πλαστικών ανάλογα με το μέγεθός τους. Έχει επικρατήσει ο διαχωρισμός σε 5 κατηγορίες . (Gigault *et al.*,2019).

- ❖ Μακροπλαστικά (σωματίδια >2,5 CM). Είναι ορατά με γυμνό οφθαλμό και μπορούν να συλλεχθούν με κόσκινα ή δίκτυα στην παράκτια ζώνη. Στην αναφερόμενη κατηγορία ανήκουν τα πλαστικά μπουκάλια, οι σακούλες και κυρίως προϊόντα συσκευασίας. Επιπλέον συμπεριλαμβάνονται και τα αλιευτικά εργαλεία(πετονία,δίκτυα,φελιζολ). Καθώς αποτελούν κομμάτια μεγαπλαστικών που διασπάστηκαν σε μικρότερα μέρη.
- ❖ Μεσοπλαστικά (σωματίδια 2,5cm-5mm):
- ❖ Μικροπλαστικά (σωματίδια μεταξύ micron- 5mm).Μικροπλαστικά είναι κάθε συνθετικό στερεό σωματίδιο ή πολυμερική τμήμα, με κανονικό ή ακανόνιστο σχήμα και με μέγεθος που κυμαίνεται από 1 μm έως 5 mm. Είναι ορατά με γυμνό οφθαλμό και συνήθως έχουν πολύχρωμα χρώματα.

- ❖ Νανοπλαστικά (σωματίδια μεταξύ 1-100nm). Δεν είναι ορατά με γυμνό οφθαλμό. έχουν την ικανότητα να διεισδύσουν στα κύτταρα και στους ιστούς των οργανισμών. Δεσμεύουν τοξικές ουσίες ή βαρέα μέταλλα.



Εικόνα 4 κατανομή μικροπλαστικών

Στην παρούσα εργασία θα εμβαθύνουμε στην ύπαρξη των μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον. Άξιο λόγου είναι να τεθούν, αρχικά ορισμένοι πυλώνες, που θα βοηθήσουν στη βαθύτερη και απρόσκοπτη κατανόηση του θέματος. Ως μικροπλαστικά λοιπόν ορίζεται η παρουσία μικρών στερεών τμημάτων πλαστικού, διαμέτρου μικρότερης των 5 mm τα οποία αποτελούν ένα μείγμα πολυμερών και λειτουργικών πρόσθετων. Επιπλέον, αναφορές έχουν γίνει και στο σχήμα τους, καθώς ερευνητές προσπαθούν να διαχωρίσουν τα μικροπλαστικά σε ίνες, σφαιρίδια και θραύσματα. (Wu *et al.*, 2019).

Ένα ακόμη στοιχείο το οποίο μπορούμε να αντλήσουμε από την βιβλιογραφία με βάση το σχήμα του μικροπλαστικού είναι ο καθορισμός των υδροδυναμικών χαρακτηριστικών τους. Δεδομένου του πάρα πάνω αποδεικνύεται πώς μικροπλαστικά υπό μορφή ίνας έχουν μεγαλύτερη πλευστότητα. Και ταυτόχρονα η ταχύτητα καθίζησης τους είναι μικρότερη συγκριτικά με εκείνη των σφαιρίων που διαθέτουν τον ίδιο όγκο και πυκνότητα. (Fillela., 2015).

Διαχωρίζονται λοιπόν, σε δύο κατηγορίες αυτή των πρωτογενών και εκείνη των δευτερογενών. Ο διαχωρισμός πραγματοποιείται με βάση τον τρόπο παραγωγής τους, τον σχηματισμό και την προέλευση τους. Διακρίνονται σε πρωτογενή και των δευτερογενών.

Άξιο μνείας είναι το γεγονός ότι τα μικροπλαστικά προστίθενται σκόπιμα στα προϊόντα είτε είναι τμήματα μεγαλύτερων πλαστικών τμημάτων, είτε ως υποπροϊόντα. (Fillela., 2015).

### 2.1.1 Πρωτογενή Μικροπλαστικά

Ως πρωτογενή μικροπλαστικά ορίζονται τα μικρά τμήματα πλαστικών που απελευθερώνονται απευθείας στο περιβάλλον.

Αποτελούν βασικά τμήματα των προϊόντων σε μορφή μικρό σφαιριδίων ή προπαρασκευασμένης σκόνη. Οι διαστάσεις των σφαιριδίων είναι ποικίλες ανάλογα με το προϊόν με ποιο συνηθισμένες διαστάσεις τα 4 mm έως 8 mm. Η εκούσια προσθήκη των MP στα προϊόντα έχει σαν σκοπό την καλύτερη σύνθεση και αντοχή του προϊόντος. (Guin *et al.*, 2015; Castaneda *et al.*, 2014; Cole *et al.*, 2011; Cole *et al.*, 2010; Fendall and Sewell.,2009).

Τα πρωτόγεννη μικροπλαστικά τα συναντάμε σε μια ευρεία γκάμα καταναλωτικών αγαθών καθημερινής χρήσης. Κυρίαρχη κατηγορία που περιέχει μικροπλαστικά σε μορφή σφαιριδίων είναι εκείνα της προσωπικής φροντίδας. Μερικά από αυτά τα αγαθά, είναι τα προϊόντα απολέπισης, καλλυντικών και μακιγιάζ και οδοντόκρεμες. Πιο συγκεκριμένα τα προϊόντα απολέπισης περιέχουν μικροπλαστικά με σκοπό την επίτευξη της απομάκρυνσης των νεκρών κυττάρων. (Guin *et al.*, 2015; Castaneda *et al.*, 2014; Cole *et al.*, 2011; Cole *et al.*, 2010; Fendall and Sewell.,2009).

Από την άλλη πλευρά προϊόντα όπως οι οδοντόκρεμες περιέχουν μικροσκοπικά πλαστικά σωματίδια με στόχο τον καλύτερο καθαρισμό των δοντιών και της απομάκρυνσης των λεκέδων από τα δόντια. (Guin *et al.*, 2015; Castaneda *et al.*, 2014; Cole *et al.*, 2011; Cole *et al.*, 2010; Fendall and Sewell.,2009).

Επιπρόσθετα, τα συναντάμε σε καθαριστικά, απορρυπαντικά και διορθωτικά εδάφους, είτε σε υγρή μορφή είτε σε σκόνη. Ορισμένα καθαριστικά περιέχουν σκόπιμα μικροπλαστικά κατά την παρασκευή τους. Δηλαδή περιέχουν μικρά σωματίδια-σφαιρίδια προκειμένου να προσφέρουν στο προϊόν καλύτερες ιδιότητες οι οποίες βοηθούν στην απομάκρυνση λεκέδων ή ρύπων.

Καθώς και σε προϊόντα που βρίσκονται στην κλοστουφαντουργία όπως σε κλωστές, υφάσματα και ρούχα. Μέσω της διαδικασίας του πλυσίματος, απελευθερώνονται μικροπλαστικά και ίνες από τα υφάσματα και ρούχα που είναι κατασκευασμένα από , συνθετικά υλικά ( πολυεστέρα & νάιλον), τα οποία οδηγούνται στους τελικούς υδάτινους αποδέκτες.

Τέλος αναφορές γίνονται και στην φαρμακευτική βιομηχανία. Αρκετά φαρμακευτικά σκευάσματα χρησιμοποιούν μικροπλαστικά ως μέρος της χημικής τους σύνθεσης κυρίως για την βελτισποίηση της υφής και σταθεροποίησης του προϊόντος.

### 2.1.2 Δευτερογενή Μικροπλαστικά

Η δημιουργία των δευτερογενών μικροπλαστικών δημιουργούνται από διαμελισμό μεγαλύτερων τμημάτων πλαστικού χωρίς να έχουν υποστεί κάποια χημική επεξεργασία. Ενώ αρκετές φορές είναι αποτέλεσμα κακής διαχείρισης αποβλήτων που εναποτίθενται απευθείας, πλαστικά μια χρήσης και υπολείμματα αλιευτικού εξοπλισμού (δίχτυα ψαρέματος, πετονιές). (Thompson *et al.*, 2004).

Αν και τα πλαστικά αποτελούν ανθεκτικό υλικό με την πάροδο του χρόνου και την βοήθεια των αβιοτικών παραμέτρων επιτυγχάνετε ο διαμελισμός. Η επίδρασή της ηλιακής ακτινοβολία UV, η διάβρωση τους από το θαλασσινό και τον κυματισμό της θάλασσας καθώς και από την τριβή που πραγματοποιείτε από τις ριπές του ανέμου ,έχουν σαν αποτέλεσμα την κονυτροποίηση των πλαστικών σε μικρότερα τμήματα. (Singh & Sharma, 2008).

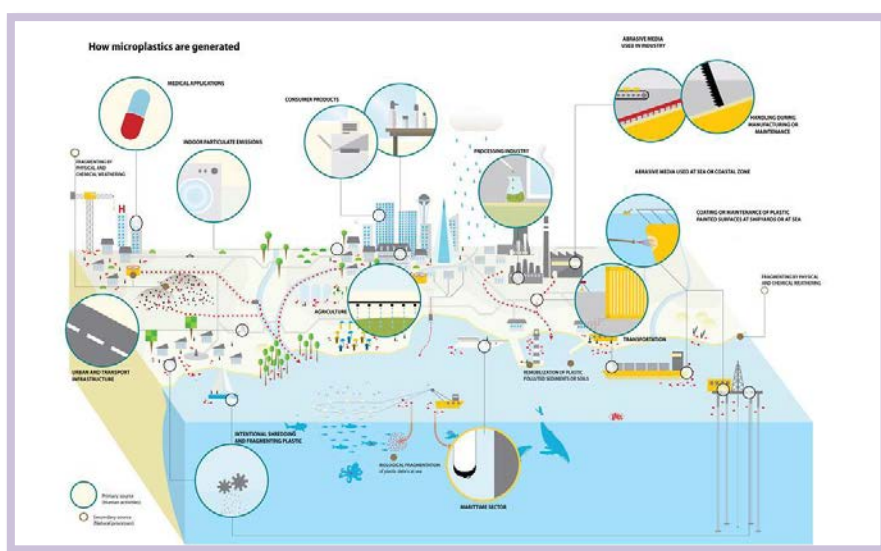
### 2.1.3 Νανοπλαστικά

Μια ακόμη κατηγορία που θα μπορούσαμε να διαχωρίσουμε τα μικροπλαστικά είναι εκείνη των Νανοπλαστικών. Ορίζονται τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη του 1μm. Πολλοί ερευνητές θεωρούν ότι Νανοπλαστικά είναι αποτέλεσμα της υποβάθμισης και αποσύνθεσης των μικροπλαστικών σε μικρότερα τμήματα . Εξαιτίας της μικρής διατομής τους , τα καθιστά άκρως επικίνδυνα τόσο για το θαλάσσιο , όσο και για το χερσαίο περιβάλλον. (Cole *et al.*, 2011).

### 3. ΠΗΓΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ

#### 3.1 Χερσαίες πηγές

Η προέλευση των μικροπλαστικών στο περιβάλλον αποτελεί ένα από τα πιο περίπλοκα ζητήματα. Διότι η προέλευση τους είναι ποικίλη και κυρίως σχετίζεται με τον τομέα παραγωγής. Με βάση τα αποτελέσματα μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί εδώ και αρκετές δεκαετίες, υπολογίζεται ότι το 80 % των μικροπλαστικών που βρίσκονται στην υδάτινη στήλη πηγάζουν από τις χερσαίες δραστηριότητες. (Gundogdu *et al.*, 2018; Tsang *et al.*, 2017).



Εικόνα 5 Πηγές ρύπανσης από πλαστικά απορρίμματα (<https://www.grida.no/resources/6921>)

#### Μη ορθή Διαχείριση στερεών αποβλήτων

Δυστυχώς έως και σήμερα ένα αρκετά μεγάλο μέρος των απορριμμάτων καταλήγουν απευθείας σε υγειονομική ταφή χωρίς να πραγματοποιούνται οι διαδικασίες ανακύκλωσης τους. Η κατάληξη των πλαστικών απορριμμάτων σε ανεξέλεγκτες παράνομες χωματερές ή σε χώρους υγειονομικής ταφής Οι οποίες είναι χωρομετρημένες σε κοντινή απόσταση με την θάλασσά( παράκτιες περιοχές) έχει σαν αποτέλεσμα τα στερεά πλαστικά απόβλητα να διασπώνται σταδιακά μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, μηχανικής φθοράς και των καιρικών συνθηκών σε μικροπλαστικά.

#### Πλύση- Αποχετευτικό σύστημα και βιολογικοί καθαρισμοί

Ένας από τους παράγοντες που συνδράμει στην απελευθέρωση συνθετικών μικροϋνών και μικροπλαστικών έκπλυσης ρούχων. Οι ίνες και τα μικροπλαστικά επειδή έχουν αρκετά μικρό μέγεθος καταφέρνουν να διαφεύγουν από τα φίλτρα των πλυντηρίων βρίσκοντας δίοδο στο κεντρικό αποχετευτικό δίκτυο με τελικό αποδέκτη τις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ). Επιπρόσθετα στο υδάτινο περιβάλλον εισέρχονται οι συνθετικές ίνες και οι ουσίες των ρούχων δεν απελευθερώνονται μόνο κατά το πλύσιμο και τη χρήση τους, αλλά ήδη από τα στάδια της παραγωγής, της επεξεργασίας και της μεταφοράς. (Minteng S. *et al.* , 2017).

### Αγροτική δραστηριότητα

Έχει παρατηρηθεί ότι στις περιοχές που δραστηριοποιούνται στην καλλιέργεια του εδάφους, πολύ συχνά διαφεύγουν προς το περιβάλλον είτε θελημένα είτε όχι πλαστικά απορρίμματα. Επιπρόσθετα υπάρχει απελευθέρωση μικροπλαστικών μέσω των γεωυφασμάτων. Τα τελευταία, χρησιμοποιούνται για τη ενίσχυση και την συγκράτηση των στρωμάτων εδάφους καθώς και ως αγροτικά καλύμματα (mulch). Τα μικροπλαστικά απελευθερώνουν στο φυσικό περιβάλλον εξαιτίας της έκθεσης τους στην υπεριώδη ακτινοβολία, τις φυσικές φθορές που παθαίνουν τα υλικά.

### 3.2 Θαλάσσιες πηγές

Τα μικροπλαστικά καταφέρνουν να εισέλθουν στο θαλάσσιο περιβάλλον μέσω της μεταφοράς των υδατορευμάτων ή εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, γεγονός που σχετίζεται άμεσα με το ότι άνω του 50% του παγκόσμιου πληθυσμού διαμένει σε περιοχές εντός 50 μιλίων από την ακτογραμμή. Επιπρόσθετα μέσω της δραστηριότητας στο θαλάσσιο περιβάλλον, όπως η αλιεία, η ναυσιπλοΐα, οι θαλάσσιες βιομηχανίες (συμπεριλαμβανομένων των ιχθυοκαλλιεργειών), καθώς και οι ψυχαγωγικές δραστηριότητες στη θάλασσα, συνιστούν άμεσες πηγές εισροής μικροπλαστικών στο θαλάσσιο οικοσύστημα. Παράλληλα, λειτουργούν και ως έμμεσες πηγές μέσω της απόθεσης μακροπλαστικών, τα οποία, ως αποτέλεσμα μακροχρόνιας υποβάθμισης, κατακερματίζονται σχηματίζοντας δευτερογενή μικροπλαστικά (Coyle *et al.*, 2020; Tsang *et al.*, 2017; Cole *et al.*, 2011).

Η ποικιλομορφία των πηγών αυτών είναι αξιοσημείωτη, καθώς τα μικροπλαστικά προέρχονται από εγκαταλελειμμένα ή απολεσθέντα αλιευτικά εργαλεία, πλωτές κατασκευές, τη φθορά χρωμάτων και επιχρισμάτων στα σκάφη, ή από μεγάλα πλαστικά τεμάχια που απορρίπτονται άμεσα στη θαλάσσια περιοχή (Oladejo, 2017). Εξίσου σημαντική είναι η συνεισφορά του τουρισμού και των δραστηριοτήτων αναψυχής, οι οποίες ευθύνονται για τη συσσώρευση πλαστικών αποβλήτων κατά μήκος ακτών και παραθαλάσσιων τουριστικών προορισμών (Magnusson *et al.*, 2016) ; Cole *et al.*, 2011).

## 4. ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΡΥΠΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ

Μια από τις πιο ανησυχητικές και σημαντικές ιδιότητες που έχουν τα μικροπλαστικά, είναι η ικανότητα τους να προσροφούν χημικές ενώσεις στην επιφάνειά τους. Οι οποίες είναι άκρως επικίνδυνες τόσο για τους οργανισμούς όσο και για τον άνθρωπο. δυστυχώς όμως μόλις το 2000 άρχισαν να πραγματοποιούνται μελέτες για την διερεύνηση των χημικών ενώσεων όπως μονομερή, ολιγομερή και πρόσθετα τα οποία απελευθερώνονται στο φυσικό περιβάλλον από τα πλαστικά (Chen *et al.*, 2019).

### 4.1 Προσρόφηση ρύπων

Τα μικροπλαστικά χάρις της υδροφοβίας που έχουν και της μεγάλης αναλογίας επιφάνειας προς όγκο δύναται να λειτουργούν ως φορείς ανόργανων ρύπων( βαρέων μετάλλων ) και οργανικών ρύπων (DDT, PCBs, BPA,(POPs)), αλλά και να αλληλοεπιδρούν με τους ήδη υπάρχοντες ρύπους στο περιβάλλον.( Neto *et al.*, 2019; Rodrigues *et al.* , 2018; Turner 2018; Massos and Turner ., 2017; Besseling *et al* 2017).

#### 4.1.1 Προσρόφηση Ρύπων

Η προσρόφηση ρύπων στα μικροπλαστικά επηρεάζεται από ένα σύνολο παραμέτρων, συμπεριλαμβανομένης της χημικής σύστασης του πολυμερούς, των χαρακτηριστικών της επιφάνειας και του μεγέθους των σωματιδίων, καθώς και των περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως η θερμοκρασία, το pH και η αλατότητα. Ειδικότερα, πολυμερή όπως το πολυαιθυλένιο (PE), το πολυπροπυλένιο (PP) και το πολυστυρένιο (PS) παρουσιάζουν αυξημένη υδροφοβικότητα, διευκολύνοντας έτσι την προσρόφηση υδρόφοβων οργανικών ρύπων, όπως οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs), τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs) και οι φθαλικοί εστέρες. Παράλληλα, ανόργανα στοιχεία, όπως τα βαρέα μέταλλα που έχουν βρεθεί πάνω στην επιφάνεια των μικροπλαστικών είναι ο μόλυβδος (Pb), ο χαλκός (Cu), το αργίλιο (Al), ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο(Mn) και ο ψευδάργυρος (Zn).

Δύνανται να προσροφώνται στα μικροπλαστικά μέσω χημικών αλληλεπιδράσεων είτε με τις πολικές ή φορτισμένες λειτουργικές ομάδες της επιφάνειάς τους είτε με τα επιφανειακά βιοφίλμ που αναπτύσσονται πάνω τους. ( Brennecke *et al.*, 2016; Rochman *et al.*, 2013 ; Holmes *et al.*, 2016).

## 4.2 Τα μικροπλαστικά ως μέσω μεταφοράς μικροοργανισμών

Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί τα τελευταία έτη, έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα, ότι τα μικροπλαστικά έχουν την ιδιότητα να κουβαλάνε μαζί τους ‘λαθρεπιβάτες’. Οι μικροοργανισμοί προσκαλούνται στην επιφάνεια των μικροπλαστικών και με αυτό τον τρόπο καταφέρνουν να ταξιδέψουν σε όλο το θαλάσσιο περιβάλλον. (Καραπαναγιώτη 2020).

Τα μικροπλαστικά λειτουργούν ως μεταφορείς μικροοργανισμών, βακτηρίων, μυκήτων και διάτομα των οποίων στις επιφάνειές τους αρκετά συχνά, εποίκίζουν οργανισμοί. όλοι οι προσκολλημένοι οργανισμοί σχηματίζουν βιομεμβράνες στις επιφάνειες των πλαστικών. Η αναφερόμενη διαδικασία ονομάζεται πλαστικόσφαιρά (plastisphere).

Τα μικροπλαστικά μαζί με τους οργανισμούς ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις με την βοήθεια των θαλάσσιων επιφανειακών ρευμάτων, του αέρα και του κυματισμού. Το παραπάνω γεγονός έχει σαν αποτέλεσμα τη συμβολή στη διασπορά των ειδών. Τα οποία μπορεί να είναι επεμβατικά ή να προκαλούν φαινόμενα ευτροφισμού. (Duis, 2016).

## 5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ

### 5.1 Ανθρώπινη Υγεία

Δυστυχώς αρκετές μελέτες έχουν καταδείξει τις αρνητικές επιπτώσεις των μικροπλαστικών. Η παρουσία μικροπλαστικών σε θαλάσσια είδη που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση, δημιουργεί ανησυχίες σχετικά με τις δυνητικές επιπτώσεις των μικροπλαστικών στην ανθρώπινη υγεία. (Barboza L. *et al.*, 2008).

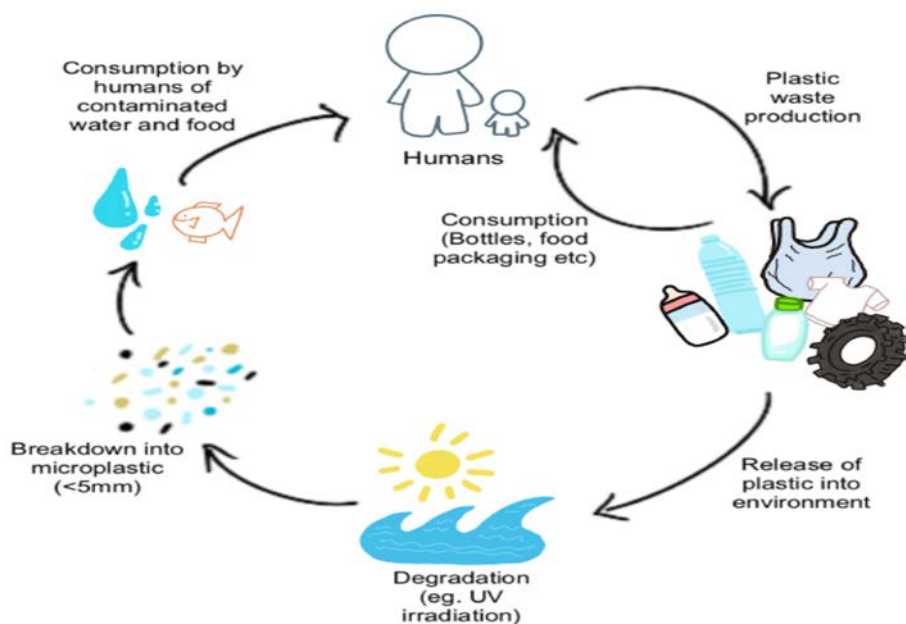
Ήδη αρκετές μελέτες έχουν δείξει πολλές επιβλαβείς επιδράσεις των μικροπλαστικών στον ανθρώπινο οργανισμό. Γεγονός που οφείλετε στην αυξανόμενη παρουσία τους τόσο στο θαλάσσιο, και χερσαίο περιβάλλον, όσο και στον αέρα που καθιστά αναπόφευκτη την ανθρώπινη έκθεση. (Barboza L. *et al.*, 2008).

Οι βασικοί δίοδοι εισόδου μικροπλαστικών στον ανθρώπινο οργανισμό, είναι αυτές της κατάποσης, της εισπνοής του αέρα, αλλά και της δερματικής επαφής. Παρακάτω θα πραγματοποιηθεί λεπτομερώς αναφορά των επιπτώσεων στον ανθρώπινο οργανισμό. (Barboza L. *et al.*, 2008).

#### 5.1.1 Κατάποση

Ένας από τους βασικούς τρόπους με τους οποίους τα μικροπλαστικά εισέρχονται στους ανθρώπινους οργανισμούς είναι μέσω της κατάποσής. Τα μικροπλαστικά σωματίδια, διεισδύουν στους οργανισμούς μέσω τροφής τα οποία, δυνητικά μπορεί να οδηγήσουν σε φλεγμονές, αλλαγή στη σύνθεση, αλλά και στο μεταβολισμό του μικροβιώματος του εντέρου (Khalid N.,2021; Prata J.,2020).

Καθώς συσσωρεύεται κυρίως στο πεπτικό σύστημα. Έτσι, η μόλυνση ψαριών και θαλασσινών που καταναλώνονται από τον άνθρωπο ολόκληρα, όπως τα μύδια ή τα μικρά ψάρια (γαύρος, σαρδέλες), θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική δεδομένου ότι τα υψηλότερα επίπεδα μικροπλαστικής μόλυνσης παρατηρούνται σε είδη δίθυρα, όπως τα στρείδια και τα μύδια, που φιλτράρουν μεγάλες ποσότητες νερού χωρίς να μπορούν να διαχωρίσουν το πλαγκτόν από τα μικροπλαστικά. (Khalid N.,2021; Prata J.,2020).



Εικόνα 6 Ροή κυκλοφορίας μικροπλαστικών

### 5.1.2.Εισπνοή

Ένας ακόμη τρόπος με τον οποίο μπορούν τα μικροπλαστικά να εισέλθουν στον οργανισμό μας είναι μέσω της εισπνοής. Τα μικροπλαστικά απελευθερώνονται στον αέρα από διάφορες πηγές, μια χαρακτηριστική εξ αυτών τα συνθετικά υφάσματα. Κατά το παραπάνω παράδειγμα. Μόλις τα μικροπλαστικά εισπνευθούν καταλήγουν στο γαστρεντερικό σύστημα μέσω των βλεννογόνων μεταφοράς. Η συγκέντρωση και η κατανομή τους εξαρτάται κυρίως από τις φυσικοχημικές ιδιότητες των μικροπλαστικών, την υγεία του εκάστοτε οργανισμού και από την ανατομία του πνεύμονα (Prata, 2018).

Τέλος μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί έχουν δείξει, ότι ανάλογα με το μέγεθος των ινών, κάποιες καταφέρνουν να διαπεράσουν το αναπνευστικό σύστημα και δυστυχώς να φτάσουν στους πνεύμονες (Gasperi *et al.*, 2018).

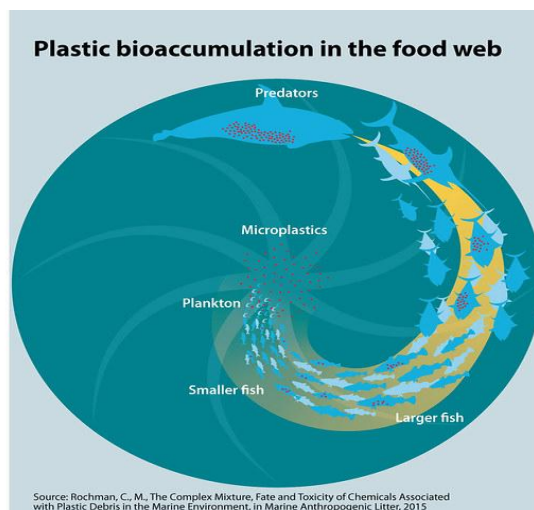
### 5.1.3 Δερματική επαφή

Ο τελευταίος τρόπος με τον οποίο έρχεται σε επαφή ο άνθρωπος είναι η δερματική επαφή. Ωστόσο θεωρείται δευτερεύων μηχανισμός του οποίου οι άνθρωποι ενδέχεται να εκτεθούν σε μικροπλαστικά. Τα εν λόγω μικροσκοπικά σωματίδια δύνανται να εισέλθουν στον οργανισμό μέσω του δέρματος από ποικίλες πηγές, όπως καλλυντικά και προϊόντα προσωπικής φροντίδας ή μέσω ύδατος επιμολυσμένου με πλαστικά σωματίδια. Παρά ταύτα, η πιθανότητα απορρόφησης μικροπλαστικών –

συμπεριλαμβανομένων των νανοπλαστικών– από την εξωτερική στοιβάδα της επιδερμίδας, γνωστή ως κεράτινη στιβάδα, θεωρείται περιορισμένη λόγω της υδρόφοβης φύσης των εν λόγω σωματιδίων. Ωστόσο, δεν μπορεί να αποκλειστεί το ενδεχόμενο διείσδυσης μέσω των ιδρωτοποιών αδένων, των θυλάκων των τριχών ή μέσω δερματικών αλλοιώσεων. (Norwegian Institute for Water Research, 2014).

## 5.2 Θαλάσσιους οργανισμούς

Τα μικροπλαστικά έχουν αναγνωριστεί ως απειλή για τη θαλάσσια βιοποικιλότητα. Ο μεγάλος όγκος πλαστικών που έχουν εισέλθει στο θαλάσσιο περιβάλλον έχει εγείρει ανησυχίες για τις πιθανές εκτεταμένες επιπτώσεις στους θαλάσσιους οργανισμούς. Παγκοσμίως, η κατάποση πλαστικού έχει αναφερθεί στα γαστρεντερικά συστήματα θαλάσσιων οργανισμών, από βαθιές θαλάσσιους ασπόνδυλους οργανισμούς έως και σε μεγάλα θηλαστικά. Τα οποία μετοικούν σε διαφορετικά ενδιαιτήματα, π.χ πελαγικά ή βενθικά. (Avio et al., 2017)



Εικόνα 7 Βιοσυσσώρευση πλαστικών στην τροφική αλυσίδα <https://www.grida.no/resources/6917>

Παράλληλα αρκετοί θαλάσσιοι οργανισμοί μπερδεύονται βλέποντας τα αιωρούμενα σωματίδια πλαστικών και τα καταπίνουν, διότι τα συγχέουν με τα θηράματά τους. Ενώ έχει παρατηρηθεί ότι οι θαλάσσιοι οργανισμοί εκτίθενται στα μικροπλαστικά μέσω της παθητικής διήθησης του νερού ή μέσω της επιφανειακής βοσκήσεως (Naji et al., 2018 ; Luis et al 2015; De Sa et al., 2015).

Τα προαναφερθέντα έχουν ως αποτέλεσμα την πρόσκληση ποικίλων δυσμενών επιπτώσεων, όπως η μεταφορά των νανοπλαστικών και μικροπλαστικών σε διάφορους ιστούς και κύτταρα.

Λόγω των υδρόφοβων ιδιοτήτων τους, τα μικροπλαστικά μπορούν να προσροφούν διάφορους οργανικούς ρύπους. Ενώ ορισμένες τοξικές ουσίες που περιέχονται στα πλαστικά (πλαστικοποιητές, υπολείμματα μονομερών, χρωστικοί παράγοντες,) απελευθερώνονται στους οργανισμούς μετά την κατάποση με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται στους λιπώδεις ιστούς μέσω του κυκλοφορικού συστήματος (Foley *et al.*, 2018 ; Avio *et al.*, 2017; Lithner *et al.*, 2011).

Κάνοντας λόγο για την οικοτοξικότητα των μικροπλαστικών, αυτή εξαρτάται από το σχήμα, το μέγεθος και την πυκνότητά τους. Τα πιο πυκνά μικροπλαστικά κατακάθονται στον πυθμένα των υδάτινων σωμάτων. Από την άλλη πλευρά τα σωματίδια με μικρότερη πυκνότητα επιπλέουν στην επιφάνεια. Ωστόσο από οικοτοξικολογικής απόψεως υπάρχουν και άλλες έμμεσες επιδράσεις στους οργανισμούς μερικές από αυτές είναι οι αλλαγές στη συμπεριφορά των οργανισμών. (Avio *et al.*, 2017; Lithner *et al.*, 2011).

Επιπρόσθετα οι τρέχουσες μελέτες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα, ότι τα μικροπλαστικά επηρεάζουν την φωτοσύνθεση του φυτοπλαγκτόν και ταυτόχρονα επιβραδύνουν το κολύμπι του ζωοπλαγκτού.

Ενώ η κατάποση αυτών των σωματιδίων στους περισσότερους θαλάσσιου οργανισμούς προκαλεί φλεγμονώδεις αντιδράσεις (Lu *et al.*, 2016). Απόφραξη σε όλο το πεπτικό σύστημα (Lusher *et al.*, 2013), διατροφικά προβλήματα (απώλεια βάρους και ενεργειακή απορρύθμιση). Αναπτυξιακά προβλήματα (Peda *et al.*, 2016) και μειωμένη αναπαραγωγική απόδοση (Wang *et al.*, 2019).

## 6.ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΒΟΥΛΙΕΣ

### 6.1 Το Νομικό πλαίσιο στα ελληνικά δεδομένα

Αναφορικά με το νομικό πλαίσιο, η επίσημη η στάση της Ελλάδας είναι η προσαρμογή και έπειτα η εφαρμογή του Διεθνούς Κανονισμού αναφορικά με τα πλαστικά στα ελληνικά δεδομένα. Ξεκινώντας το εγχείρημα αυτό, ο Νόμος 2939/2001 που αφορά στην εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και λοιπών προϊόντων ελαστικών αυτοκινήτων, οχημάτων, αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, αποβλήτων εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων, κ.α.) είναι το εναρκτήριο λάκτισμα για την υπογράμμιση των ευθυνών που έχουν οι παραγωγοί προϊόντων ενώ καθιστά απαραίτητη τη συμμετοχή των παραγωγών/ διαχειριστών στα Συστήματα Εναλλακτικής Διαχείρισης ( ΣΕΔ). Ειδικότερα, ο σκοπός των Συστημάτων είναι η οργάνωση των εργασιών συλλογής μετά από διαλογή, μεταφοράς, μεταφόρτωσης, προσωρινής αποθήκευσης και αξιοποίησης. Παράλληλα με τις παραπάνω διαδικασίες τίθενται ποσοτικοί στόχοι για τη χωριστή συλλογή των εν λόγω αποβλήτων και για την ανάκτησή τους. Σε αυτό το σημείο είναι δέον να σημειωθεί ότι, η λειτουργία των ΣΕΔ εποπτεύεται από τον Ελληνικό Οργανισμό Ανακύκλωσης (ΕΟΑΝ). (Eu.europa.eu).

Σε επόμενο στάδιο της εφαρμογής της Διεθνούς Νομοθεσίας στην Ελλάδα, η εφαρμογή του Νόμου 4042/2012 είναι ένα βήμα προς τα διεθνή δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, μέσω αυτού σχεδιάζεται μια νέα στρατηγική στη διαχείριση των αποβλήτων, με κύριο στόχο τη μετάβαση σε μια «Ευρωπαϊκή Κοινωνία Ανακύκλωσης» . Αυτό σηματοδοτεί την έναρξη λήψης μέτρων για την προώθηση της επαναχρησιμοποίησης προϊόντων και των δραστηριοτήτων προετοιμασίας προς επαναχρησιμοποίηση. Έτσι, ενθαρρύνεται σημαντικά η δημιουργία και η στήριξη δικτύων επαναχρησιμοποίησης και επισκευής, η χρήση οικονομικών μέσων, κριτηρίων προμηθειών και ποσοτικών στόχων, ενώ σύμφωνα με το άρθρο 84 του Ν. 4819/21ορίζονται συγκεκριμένα πρόσωπα ως υπόχρεοι οργάνωσης και λειτουργίας των ΣΕΔ ειδικά για τις συσκευασίες (Eu.europa.eu).

Εν συνεχεία, ο Νόμος 4736/2020 ενσωματώνει τη Οδηγία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής 2019/904/ΕΕ, για την απαγόρευση της διάθεσης συγκεκριμένων πλαστικών προϊόντων μιας χρήσης στην αγορά και περιλαμβάνονται μέτρα για τη μείωση της χρήσης πλαστικών ποτηριών και δοχείων τροφίμων. Συνεπικουρούμενο στο παραπάνω είναι το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική Οικονομία (2021) μέσω του οποίου σκιαγραφούνται οι στρατηγικές και τα μέτρα για τη μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία, αποτελώντας έναν οδικό χάρτη για το διάστημα 2021-2025, ενώ περιλαμβάνει δράσεις προώθησης της κυκλικότητας στην παραγωγή και την κατανάλωση. (Eu.europa.eu).

Κλείνοντας αυτή την ενότητα της εν λόγω εργασίας, είναι ηλίου φαινότερο ότι καίριας σημασίας αποτελεί το ζήτημα της μετάβασης στη κυκλική οικονομία τόσο για την Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και για τα Κράτη Μέλη της. Για τον σκοπό αυτό, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει υλοποιήσει ένα πυκνό σύμπλεγμα πολιτικών και νομοθετικών

πρωτοβουλιών που φιλοδοξούν να συμβάλλουν προς τη συστημική αλλαγή των υφιστάμενων «γραμμικών» μοντέλων και τη δραστική μείωση των αποβλήτων. Η διαδικασία είναι δυναμική και πολύπλοκη, ενώ οι νομικές πτυχές της καθώς και η αλληλεπίδρασή της με τους κλιματικούς στόχους της ΕΕ και το εθνικό νομικό πλαίσιο των Κρατών – Μελών θα βρεθούν στο επίκεντρο της ευρωπαϊκής πολιτικής της ΕΕ τα επόμενα χρόνια. (Eu.europa.eu).

## 6.2 Διεθνή Κανονισμοί

### Σύμβαση της Βαρκελώνης

Η Σύμβαση της Βαρκελώνης για την Προστασία της Μεσογείου από τη Ρύπανση, η οποία υιοθετήθηκε το 1976 υπό την αιγίδα του Προγράμματος Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών (UNEP), λειτουργεί ως ο βασικός θεσμικός μηχανισμός για την περιβαλλοντική διακυβέρνηση της περιοχής. Η αρχική της εστίαση στην πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης που προέρχεται από πετρέλαιο, επικίνδυνες ουσίες και απόβλητα έχει εξελιχθεί σταδιακά ώστε να ανταποκρίνεται στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές προκλήσεις, με ιδιαίτερη έμφαση πλέον στη ρύπανση από πλαστικά και μικροπλαστικά, τα οποία αποτελούν πλέον σημαντικότερο περιβαλλοντικό ζήτημα.

Στο πλαίσιο της αναθεωρημένης Σύμβασης της Βαρκελώνης του 1995 και των σχετικών πρωτοκόλλων που τη συνοδεύουν, έχουν θεσπιστεί συγκεκριμένοι στόχοι για τη μείωση της ρύπανσης των θαλάσσιων υδάτων από πλαστικά. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο Πρωτόκολλο για τις Πηγές Ρύπανσης από την Ξηρά (LBS Protocol), καθώς και στο Στρατηγικό Πλαίσιο για τη Διαχείριση Θαλάσσιων Απορριμμάτων (Regional Plan on Marine Litter Management), το οποίο υιοθετήθηκε το 2013.

Το συγκεκριμένο περιφερειακό σχέδιο προβλέπει τη λήψη μέτρων πρόληψης, όπως η προώθηση της κυκλικής οικονομίας, η απαγόρευση ορισμένων πλαστικών προϊόντων μιας χρήσης και η ενίσχυση της περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης και εκπαίδευσης. Επιπλέον, ενθαρρύνει την υλοποίηση δράσεων καθαρισμού ακτών και βυθών. Παράλληλα, καθιστά υποχρεωτική για τα συμβαλλόμενα μέρη την παρακολούθηση και καταγραφή των θαλάσσιων απορριμμάτων, βασιζόμενη σε ενιαίες και επιστημονικά τεκμηριωμένες μεθοδολογίες.

Σημαντικό είναι ότι κατά την 22η Σύνοδο των Συμβαλλόμενων Μερών της Σύμβασης (COP22) το 2021, επιτεύχθηκε συμφωνία για την υποχρεωτική εφαρμογή συγκεκριμένων μέτρων σχετικά με τα πλαστικά μιας χρήσης, ακολουθώντας τη

στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη μείωση των πλαστικών αποβλήτων, ενισχύοντας με τον τρόπο αυτό τη σύγκλιση με άλλες περιφερειακές και παγκόσμιες πολιτικές, όπως η Συμφωνία του ΟΗΕ για τα Πλαστικά.

Η συμβολή της Σύμβασης της Βαρκελώνης στη διαχείριση της πλαστικής ρύπανσης στη Μεσόγειο είναι πολυδιάστατη, καθώς συνδυάζει νομικά δεσμευτικά κείμενα με τεχνικά εργαλεία, συστήματα περιβαλλοντικής παρακολούθησης, χρηματοδότηση προγραμμάτων, και ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ κρατικών φορέων, τοπικών αρχών και της κοινωνίας των πολιτών. Παρά τις σημαντικές προόδους, παραμένουν προκλήσεις, όπως η ανομοιογενής εφαρμογή των μέτρων, οι περιορισμένοι διαθέσιμοι πόροι, καθώς και η ανάγκη για βαθύτερη ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής διάστασης στις τομεακές πολιτικές, συμπεριλαμβανομένων του τουρισμού, των λιμένων και της βιομηχανίας.

Επομένως, η Σύμβαση της Βαρκελώνης μπορεί να θεωρηθεί ως ένα πρότυπο περιφερειακής συνεργασίας για την αντιμετώπιση της ρύπανσης από πλαστικά σε θαλάσσια οικοσυστήματα, με δυνατότητες εφαρμογής και σε άλλες ημίκλειστες ή ευαίσθητες περιοχές παγκοσμίως.

### **Σύμβαση της Βασιλείας**

Η Σύμβαση της Βασιλείας αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα διεθνή νομικά πλαίσια που στοχεύουν στη ρύθμιση και τον περιορισμό της διασυνοριακής μεταφοράς επικίνδυνων αποβλήτων, καθώς και στην πρόληψη της παράνομης διαχείρισής τους. Υιοθετήθηκε το 1989 και τέθηκε σε ισχύ το 1992, αντανakλώντας την αυξανόμενη ανησυχία της παγκόσμιας κοινότητας για τις περιβαλλοντικές και υγειονομικές συνέπειες που απορρέουν από την ακατάλληλη διαχείριση και απόρριψη τοξικών και επικίνδυνων αποβλήτων.

Κύριο αντικείμενο της Σύμβασης αποτελεί η προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος μέσω της καθιέρωσης ρυθμιστικών πλαισίων για τη μεταφορά, τη διαχείριση και την απόρριψη αποβλήτων, ειδικότερα μεταξύ χωρών με διαφοροποιημένα επίπεδα ανάπτυξης και υποδομών διαχείρισης. Η Σύμβαση προβλέπει την καθιέρωση διαδικασιών ενημέρωσης, συγκατάθεσης και συνεργασίας μεταξύ των συμβαλλόμενων μερών, με σκοπό την εξασφάλιση ότι οι διασυνοριακές μεταφορές επικίνδυνων αποβλήτων πραγματοποιούνται με διαφάνεια, ασφάλεια και σύμφωνα με τα ισχύοντα διεθνή πρότυπα. Η αξιολόγηση της εφαρμογής της Σύμβασης της Βασιλείας αναδεικνύει τόσο επιτεύγματα όσο και προκλήσεις. Παρά την θετική συμβολή στην ενίσχυση της διεθνούς συνεργασίας και στην ανάπτυξη εθνικών πολιτικών περιβαλλοντικής διαχείρισης, εξακολουθούν να υφίστανται προβλήματα σχετικά με την αποτελεσματική εφαρμογή των διατάξεων και την αντιμετώπιση παράνομων δραστηριοτήτων. Επιπλέον, η δυναμική εξέλιξη της παγκόσμιας

βιομηχανίας και η εμφάνιση νέων κατηγοριών αποβλήτων επιβάλλουν συνεχή προσαρμογή και ενδυνάμωση του υφιστάμενου νομικού πλαισίου.

Συνολικά, η Σύμβαση της Βασιλείας αποτελεί θεμέλιο λίθο της διεθνούς περιβαλλοντικής νομοθεσίας, προωθώντας την αειφόρο διαχείριση των αποβλήτων και υπογραμμίζοντας την αναγκαιότητα της παγκόσμιας συνεργασίας για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προκλήσεων.

### **Global Partnership on Marine Litter (GPML)**

Η Παγκόσμια Συμμαχία για τη Ρύπανση από Πλαστικά και Θαλάσσια Απορρίμματα (Global Partnership on Plastic Pollution and Marine Litter – GPML) ιδρύθηκε το 2012 στο πλαίσιο της Διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη (Rio+20), ως απάντηση στην αναγκαιότητα συντονισμένων παγκόσμιων δράσεων για την προστασία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων από τη ρύπανση που προκαλείται από πλαστικά και θαλάσσια απορρίμματα. Η εν λόγω πρωτοβουλία συντονίζεται από το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών (UNEP), το οποίο παρέχει και τις υπηρεσίες γραμματείας.

Η αποστολή του GPML είναι να διαφυλάξει το παγκόσμιο θαλάσσιο περιβάλλον, καθώς και την ευημερία των ανθρώπων και των ζώων, αντιμετωπίζοντας το παγκόσμιο ζήτημα των θαλάσσιων απορριμμάτων και της ρύπανσης από πλαστικά. Για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός, η συμμαχία προσφέρει μια πλατφόρμα συνεργασίας και συντονισμού, όπου μπορούν να ανταλλάσσονται ιδέες, γνώσεις και εμπειρίες, αλλά και να εντοπίζονται κενά και νέα ζητήματα που προκύπτουν. Επιπλέον, αξιοποιεί την εξειδίκευση, τους διαθέσιμους πόρους και το πάθος όλων των εμπλεκόμενων φορέων. Το GPML παίζει σημαντικό ρόλο στην υλοποίηση της Στρατηγικής 2030, ιδιαίτερα στον Στόχο Βιώσιμης Ανάπτυξης 14.1, που έχει ως στόχο τη μείωση της ρύπανσης των θαλασσών από παράγοντες που προέρχονται από τη στεριά. Η GPML λειτουργεί ως μια συνεργασία πολλών μετόχων που φέρνει κοντά κυβερνήσεις, διεθνείς οργανισμούς, περιφερειακές αρχές, τον ιδιωτικό τομέα, οργανώσεις της κοινωνίας των πολιτών και ακαδημαϊκά ιδρύματα. Αυτή η πλατφόρμα δίνει τη δυνατότητα στους συνεργάτες να ενώσουν δυνάμεις για να αναπτύξουν και να προωθήσουν λύσεις σε αυτό το επείγον παγκόσμιο πρόβλημα.

### **Κανονισμός REACH**

Το 2006 η ΕΕ νομοθέτησε τον κανονισμό 1907/2006, που αποτέλεσε το βασικό της εργαλείο για τις χημικές ουσίες και τα μείγματα. Ο κανονισμός REACH Registration

(καταχώριση), Evaluation (αξιολόγηση), Authorisation (δανειοδότηση) και Chemicals (περιορισμός των χημικών ουσιών),

Το 2019, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Χημικών (ECHA) υπέβαλε πρόταση για απαγόρευση της προσθήκης μικροπλαστικών σε προϊόντα που απελευθερώνουν τα σωματίδια στο περιβάλλον. Ενώ αξιοσημείωτο γεγονός αποτελεί η έγκριση του περιορισμού το 2023 που αφορά τα σκόπιμα προστιθέμενα μικροπλαστικά, με σταδιακή εφαρμογή από το 2025 έως το 2031, ανάλογα με τον τύπο του προϊόντος (π.χ. καλλυντικά, διορθωτικά εδάφους παιδικά παιχνίδια). (eur-lex.europa.eu, 2006).

### **Θαλάσσια Στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης (MSFD)**

Το 2008, Ευρωπαϊκή Ένωση θέσπισε την Οδηγία Πλαίσιο για τη Θαλάσσια Στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης (MSFD), η οποία αφορούσε στην προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος για την Ευρωπαϊκή κοινότητα. Ενώ ταυτόχρονα επικεντρώθηκε στη μείωση των θαλάσσιων αποβλήτων σε περιφερειακό επίπεδο. Έχοντας σαν στόχο τη βιώσιμη χρήση των φυσικών πόρων σε κάθε οικοσύστημα αλλά και τη διατήρηση των οικοσυστημάτων. (Chen CL, 2015).

Με την αναφερόμενη Οδηγία όλες οι ευρωπαϊκές χώρες οφείλουν να πραγματοποιούν όλες τις απαραίτητες ενέργειες για τη βελτίωση ή τη διατήρηση ενός καλού-Ιδανικού περιβαλλοντικού επίπεδο (GES) όσων αφορά το θαλάσσιο περιβάλλον. Επιπλέον θα πρέπει να παρακολουθούν τις θαλάσσιες ζώνες για υποψίες επιπλέον ρύπανσης και να θέτουν επιτεύξιμους στόχους οι οποίοι θα πραγματοποιηθούν εντός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος (Thushari and Senevirathna, 2020). Επομένως, τα θαλάσσια απορρίμματα στα οποία περιλαμβάνονται τα πλαστικά επομένως και τα μικροπλαστικά είναι ένας από τους 11 ποιοτικούς παράγοντες που καθορίζουν το περιβαλλοντικό στάτους της κάθε χώρας (Chen CL, 2015).

Καθώς οι ανησυχίες για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία είναι πολλές, αρκετά κράτη μέλη της Ε.Ε. εφαρμόζουν ή προτείνουν σε εθνικό επίπεδο την απαγόρευση μικροπλαστικών σε αρκετά προϊόντα, τα οποία περιέχουν μικροσφαιρίδια.

## 7.ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΜΡ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ

### ΥΔΑΤΑ

Δυστυχώς προς το παρόν δεν υπάρχουν τυποποιημένες διαδικασίες συλλογής δειγμάτων για την διερεύνηση των μικροπλαστικών. Ωστόσο αποτελεί ένα συνεχόμενα αναπτυσσόμενο τομέα στο κομμάτι των ερευνών. ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιούνται προσπάθειες για την εκπόνηση νέων ερευνών και υιοθέτησης κοινών μεθόδων συλλογής γεγονός που είναι πολύ σημαντικό για την επιστήμη της θαλάσσιας ρύπανσης ( Galgani *et al.*, 2011).

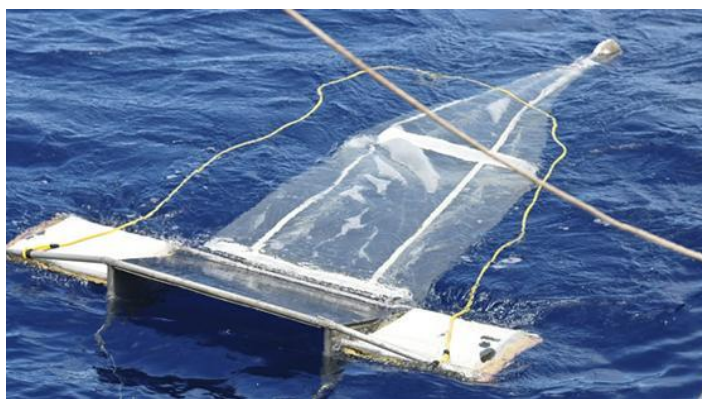
Για τη προσπάθεια αυτών των ερευνών, οι μελετητές έχουν εφαρμόσει τρία βασικά βήματα που αποτελούν τις ερευνητικές διαδικασίες. Αρχικά πραγματοποιείτε η δειγματοληψία( μέθοδοι συλλογής δειγμάτων). Έπειτα γίνεται η προ επεξεργασία δείγματος ( διαχωρισμός οργανικών με μικροπλαστικά) και ολοκληρώνετε με τη ταυτοποίηση ( προσδιορισμός της χημικής σύνθεσης των μικροπλαστικών). (Silva *et al.*, 2018).

### 7.1 Μέθοδοι συλλογής δειγμάτων

Τα πιο κοινά εργαλεία για την συγκέντρωση δειγμάτων σε επιφανειακά νερά είναι η χρήση διχτύων, κοσκίνων και αντλιών. Συνήθως χρησιμοποιούνται τρεις κατηγορίες διχτύων: τα manta nets, τα neuston nets και τα δίχτυα για πλαγκτόν. Τα δίχτυα ρυμουλκούνται από καράβια με ταχύτητες μεταξύ 1 έως 5 κόμβων. Ενώ ο χρόνος ρυμούλκησης εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις των μικροπλαστικών και μπορεί να διαρκέσει από μερικά λεπτά έως και αρκετές ώρες (Thompson *et al.*, 2015;Boerger *et al.*, 2010).

#### 7.1.1 Δίχτυα Manta

Για την επίτευξη της δειγματοληψίας μικροπλαστικών στα επιφανειακά ύδατα πραγματοποιείτε η συλλογή με τα δίχτυα manta. Η οποία αποτελεί μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος. Τα Δίχτυα Manta ( Manta Trawls) είναι εξειδικευμένα εργαλεία δειγματοληψίας, σχεδιασμένα για τη συλλογή μικροπλαστικών στα επιφανειακά ύδατα.



Εικόνα 8 Δίχτυα Manta <https://aquaticbiotechnology.com/>

Έχουν σχήμα που παρομοιάζει με σαλάχι «μάντα». Διαθέτει ορθογώνια είσοδο με πλωτήρες και κάθετο σταθεροποιητή. Ο σταθεροποιητής συνδέεται με δίχτυ μικρής διαμέτρου συνήθως με μέγεθος ματιού τα 300  $\mu\text{m}$  και μήκος 3m έως 4,5m., γεγονός που επιτρέπει τη ρυμούλκηση του δικτύου στην επιφάνεια της θάλασσας με χαμηλή ταχύτητα. Ούτως ώστε να συλλέγονται επιπλέοντα σωματίδια με αντιπροσωπευτικό και συγκρίσιμο τρόπο (Lusher et al., 2014). Συνήθως το βάθος δειγματοληψίας είναι 0-0,5 m (Mai et al., 2018).

### 7.1.2 Δίχτυα Neuston

Δίχτυα neuston συνδράμουν στη δειγματοληψία και τη συλλογή οργανισμών και σωματιδίων από την επιφάνεια της θάλασσας (0 έως 50 cm του νερού). Το άνοιγμα των ματιών τους κυμαίνονται μεταξύ 300 και 390  $\mu\text{m}$  (Hidalgo-Ruz et al., 2012; Duis & Coors, 2016). Καλύπτουν μεγάλες ποσότητες δειγμάτων ή περιοχές κατά τη δειγματοληψία και επειδή συλλέγεται μεγάλος αριθμός μικροπλαστικών, τα αποτελέσματα θεωρούνται αξιόπιστα (Viršek et al., 2016). Ο χρόνος δειγματοληψίας είναι περίπου 15-20 λεπτά. Το καθαρό άνοιγμα για τα ορθογώνια πλαίσια των δικτύων neuston, στην επιφάνεια της θάλασσας, κυμαίνεται συνήθως από 50 cm έως 1 m ύψος, ενώ το πλάτος του είναι 1–2 m. Είναι προσαρμοσμένο πάνω σε πλωτήρες και ρυμουλκείται επιφανειακά πίσω από σκάφος. Διαθέτει σάκο με φίλτρο διαφόρων μεγεθών ματιών (π.χ. 333  $\mu\text{m}$ ) και στο άκρο φέρει συλλέκτη (cod-end). (Silva et al., 2018)



Εικόνα 9 Δίκτυα Neuston <https://www.hydrobios.de/>

### 7.1.3 Δίκτυα bongo

Τα κυκλικά δίκτυα bongo είναι εξειδικευμένα δειγματοληπτικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή αιωρούμενων μικροπλαστικών από τη θαλάσσια στήλη νερού. (Hidalgo-Ruz et al., 2012; Wang & Wang, 2018). Αποτελούνται από δύο συμμετρικά, κυλινδρικά δίκτυα που προσαρτώνται σε μεταλλικούς κυκλικούς δακτυλίους. Συνήθως έχουν διάμετρο 20cm έως 1,5m. Το μέγεθος των ματιών του πλέγματος είναι επί των πλείστων 300  $\mu\text{m}$ . Με την ύπαρξη των κυκλικών δικτιών bongo πραγματοποιείται η ταυτόχρονη διπλή δειγματοληψία. Στη συνέχεια Τα δείγματα συλλέγονται στον τελικό συλλέκτη (cod-end), ενώ το εργαλείο έλκεται είτε επιφανειακά είτε σε καθορισμένο βάθος.



Εικόνα 10 Δίκτυα Bongo [www.whoi.edu/](http://www.whoi.edu/)

Η χρήση των δίκτυα bongo σαν μέθοδο δειγματοληψίας μικροπλαστικών ,δίνει τη δυνατότητα στη μελέτη μεγάλης συγκέντρωσης νερού και περιοχής δειγματοληψίας

(Viršek et al., 2016). Ωστόσο, έχουν πραγματοποιηθεί αναφορές για πιθανές επιμολύνσεις από τα σχοινιά ρυμούλκησης των σκαφών (Prata et al., 2019).

## 8 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ & ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Απαραίτητες ενέργειες που θα πρέπει να πραγματοποιηθούν για την προετοιμασία – επεξεργασία των συλλεγμένων δειγμάτων είναι ο διαχωρισμός της οργανικής ύλης ή οποιοδήποτε άλλων σωματιδίων από τα μικροπλαστικά. Θα ακολουθήσει η αναφορά στις μεθόδους του διαχωρισμού μέσω κόσκινων. Στη συνέχεια θα αναφερθεί η διαδικασία της πέψης των οργανικών με τη βοήθεια διάφορων διαλυμάτων και τέλος θα ακολουθήσει ο διαχωρισμός μέσω των διαδικασιών της διήθησης , της φυγοκέντρωσης .

### 8.1 Διαχωρισμός με κόσκινα

Μια από τις πιο εύκολες μεθόδους διαχωρισμού των μικροπλαστικά από διάφορα περιβαλλοντικά δείγματα είναι εκείνη του κοσκινίσματος. Καθώς δεν χρειάζεται χημική επεξεργασία, είναι αρκετά εύκολη διαδικασία με χαμηλό κόστος για την υλοποίηση της. Χρησιμοποιούνται συνήθως για την συλλογή μικροπλαστικών από χύδην ή σχετικά μικρού όγκου δείγματα νερού (Duis & Coors, 2016). Ο διαχωρισμός γίνεται με την βοήθεια κόσκινων τα οποία έχουν μεταβλητά μεγέθη ματιών (Wang and wand 2018; Hidalgo – Re *et al.*, 2012), που επιτρέπουν τη διάκριση των μικροπλαστικών σε κατηγορίες με βάση το μέγεθος.



Εικόνα 11 Κόσκινα Ανοξείδωτα

Το μέγεθος των ματιών των κόσκινων χρησιμοποιούντε, εξαρτάται κυρίως από το επιθυμητό εύρος των μικροπλαστικών που θέλουν να μελετηθούν. Επι των πλείστων επιλέγονται κόσκινα με διατομή μεταξύ 0,035 έως 8,5 mm (Wang & Wang, 2018). Το

υλικό από το οποίο είναι συνήθως κατασκευασμένα από μέταλλο. Κυρίως από ανοξείδωτο ατσάλι ή χαλκό για να αποφεύγετε η οξείδωση του υλικού (Hidalgo-Ruz et al., 2012; Rocha-Santos & Duarte, 2015).

Όταν ολοκληρωθεί και το στάδιο του διαχωρισμού από τα οργανικά στοιχεία μέσω της χημικής πέψης με την βοήθεια  $O_2H_2$ , συνεχίζετε η διαδικασία του φιλτραρίσματος. τέλος ακολουθεί ο προσδιορισμό της χημικής σύνθεσης των μικροπλαστικών με την βοήθεια της διαδικασίας φασματοσκοπίας FTIR και Raman. Η διαδικασία ωστόσο όμως είναι αρκετά χρονοβόρα. Αρκετές φορές εμφανίζονται ανακολουθίες στα αποτελέσματα εξαιτίας του ανθρώπινου σφάλματος (Miller et al., 2017).

## 8.2 Πέψη οργανικών στοιχείων

Τα δείγματα τα οποία έχουν συλλεχθεί από το υδάτινο περιβάλλον θέλοντας και μη , περιέχουν αρκετές ποσότητες οργανικών στοιχείων. Η πέψη είναι μια τις τεχνικές διεργασίες, που δεν προκαλεί φθορά στα μικροπλαστικά, επιτρέπει την πέψη ζωικών ιστών. Οι ιστοί προκύπτουν από τα υπολείμματα οργανισμών ή της οργανική ύλη , το φυτοπλαγκτόν και το ζωοπλαγκτόν. Τα οποία προσκαλούνται στην επιφάνεια των μικροπλαστικών από τα χωρίς (Wang and Wang, 2018). Η καταλληλότητα των μεθοδολογιών για την παρακολούθηση μικροπλαστικών στα δείγματα εξετάζεται λαμβάνοντας υπόψη το κόστος, καθώς και την ευκολία της ανάλυσης.

Παρακάτω θα αναλυθούν οι τεχνικές πέψης με βάση των τρόπο διαχωρισμού του διαλύματος. όξινη πέψη, αλκαλική πέψη, οξειδωτική πέψη και ενζυμική πέψη.

### 8.2.1 Όξινη πέψη – Υδροχλώριο (HCL)

Η πέψη με την χρήση διαλύματος υδροχλωρίου ακολουθεί μια απλή μεθοδολογία, αλλά επωμίζεται το σχετικά υψηλό κόστος αγοράς του αντιδραστηρίου. Ο χρόνος πέψης θεωρείτε σχετικά σύντομος, αφού αυτός ανέρχεται στις 12 ώρες. (Miller et al., 2017). Κατά τη συνέχεια θα πρέπει να θερμαίνεται, με την βοήθεια hot plate για την πέψη βιολογικών υλικών, ωστόσο όμως η παραπάνω διαδικασία πέψεως, παρουσιάζει υψηλό χημικό κίνδυνο . Γεγονός που οφείλετε στο ισχυρό διαβρωτικό με αποτέλεσμα να οδηγούμαστε στην απώλεια στοιχείων από το δείγμα μέσω της μερικής ή ολικής αποικοδόμηση των μικροπλαστικών (Miller et al., 2017; Duis and Coors, 2016).

### 8.2.2 Αλκαλική πέψη – Υδροξείδιο του Νατρίου (NaOH)

Η μεθοδολογία μέσω της πέψεως με την χρήση διαλύματος υδροξείδιο του Νατρίου (NaOH), είναι εύκολη διαδικασία, ενώ το συγκεκριμένο αντιδραστήριο αποτελεί μια οικονομική εργαστηριακή μέθοδος. Σα διαδικασία παρουσιάζει χαμηλό χημικό κίνδυνο, αλλά απαιτείται μεγάλος χρόνος για τη διαδικασία της πέψης. Η διαδικασία της πέψης μπορεί να διαρκέσει έως και τρεις εβδομάδες (Miller *et al.*, 2017). Σύμφωνα με μελέτες που έχουν εκπονηθεί πάνω στην διαδικασία της πέψης με την χρήση υδροξείδιο του Νατρίου, οι ερευνητές αναφέρουν ότι ιδανικά το διάλειμμα θα πρέπει να παραμένει σε θερμοκρασία δωματίου και να μην θερμαίνεται. Εάν το παραπάνω δε τηρηθεί, υπάρχει πολύ μεγάλη πιθανότητα να προκληθεί καταστροφή του δείγματος και απώλεια των μικροπλαστικών (Duis and Coors, 2016 ; Virsek *et al.*, 2016).

### 8.2.3 Οξειδωτική πέψη - υπεροξείδιο του υδρογόνου (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

Το H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> είναι ένα αντιδραστήριο σχετικά φθινό. Ενώ μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους τους τύπους δειγμάτων (ζωικούς ιστούς, νερό, ίζημα) . Η μεθοδολογία είναι απλή, με χρόνους οι οποίοι ποικίλουν ανάλογα με το δείγμα που έχουμε να εξετάσουμε. Ο χρόνος της πέψης κυμαίνεται 30 λεπτά έως 48 ώρες. Ενώ θα πρέπει να θερμαίνεται με την βοήθεια hot plate για την πέψη βιολογικών υλικών. Δυστυχώς όμως με την χρήση του H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ,υπάρχει υψηλός χημικός κίνδυνος, διότι μπορεί να προκαλέσει αποχρωματίσει ή λεύκανση των πολυμερών ακόμη και να οδηγήσει σε απώλεια μικροπλαστικών. (Miller *et al.*, 2017).

### 8.2.4 Πέψη μέσω Πρωτεΐνάσης-K

Η μέθοδος ενζυματικής πέψης με χρήση Πρωτεΐνάση (Proteinase K), αποτελεί μέθοδο για την απομόνωση μικροπλαστικών από οργανικούς ιστούς. Η μέθοδος βασίζεται στη δράση του ενζύμου που διασπά τους πεπτιδικούς δεσμούς σε πρωτεΐνες, Μέσω αυτής της διάσπασης πραγματοποιείται η αποδόμηση των οργανικών στοιχείων, χωρίς να καταστρέφονται ή να αλλοιώνονται τα μικροπλαστικά. Είναι μια αρκετά γρήγορη διαδικασία διότι, ο χρόνος πέψης διαρκεί περίπου 3 ώρες. Ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς απαγωγή αερίων. (Miller *et al.*, 2017).

## 9. ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΡ.

Η ταυτοποίηση των μικροπλαστικών αποτελείται από τη μορφολογική ανάλυση (αφθονία, μέγεθος, σχήμα και χρώμα) και τη χημική ανάλυση (σύσταση πολυμερών).

### 9.1 Μέθοδος χρώσης - Βαφή με Nile Red

Η μέθοδος χρώσης, κόκκινο του Νείλου-**Nile Red**, (9-diethylamino-5H-benzo[*a*]phenoxazin-5-one) αποτελεί μια τεχνική ανίχνευσης και απεικόνισης μικροπλαστικών. Στην οποία πραγματοποιείται χρήση βαφής για χρώση των υδρόφοβων μικροπλαστικών (Shim *et al.*, 2017). Η μέθοδος βαφής Nile Red, αποτελεί ένα αποτελεσματικό και συνάμα εύκολο εργαλείο απεικόνισης με χαμηλό κόστος με σκοπό την οπτική αναγνώριση των μικροπλαστικών. (Miller *et al.*, 2017). Η διαδικασία πραγματοποιείται μέσω της προσρόφησης της βαφής πάνω στις επιφάνειες των μικροπλαστικών, τις οποίες καθιστά φθορίζουσες όταν ακτινοβολούνται με μπλε φως (Silva *et al.*, 2018; Shim *et al.*, 2017). Στη συνέχεια το δείγμα επωάζεται περίπου 10 έως 30 λεπτά, όπου επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός. Πιο συγκεκριμένα, ο διαχωρισμός μέσω του Nile Red έχει την ικανότητα της αλλαγής του χρώματος μέσω της πολικότητας του διαλύτη. Ο τελευταίος βοηθάει να διακριθούν τα πολυμερή (PET) και υδρόφοβα πολυμερή (PP, PE, και PS) (Silva *et al.*, 2018).

### 9.2 Οπτικοί μέθοδοι προσδιορισμού

Για την αρχική αναγνώριση των μικροπλαστικών σε περιβαλλοντικά δείγματα, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το Ανατομικό - Στερεοσκοπικό Μικροσκόπιο και το Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

#### 9.2.1 Ανατομικό Μικροσκόπιο (Stereo)

Πρόκειται για μια παραλλαγή του συμβατικού οπτικού μικροσκοπίου. Χάρης αυτού, μπορούμε να παρατηρήσουμε οπτικά πολύ μικρά δείγματα, σε μεγέθυνση (συνήθως 5x–50x). Το ανατομικό μικροσκόπιο διαθέτει δύο ανεξάρτητες οπτικές διαδρομές, παρέχοντας στον παρατηρητή στερεοσκοπική εικόνα με βάθος πεδίου. ο τρόπος λειτουργίας του επιτυγχάνετε μέσω της αντανάκλασης του φωτός από την επιφάνεια ενός αντικειμένου αντί να μεταδίδεται μέσω αυτού.

Η διάταξή του προσδίδει μια τρισδιάστατη οπτικοποίηση του εξεταζόμενου δείγματος. Ενώ μια ακόμη δυνατότητα η οποία μας δίνετε μέσω της στερεομικροσκόπησης, είναι

ο προσδιορισμός των φυσικών χαρακτηριστικών των μικροπλαστικών του εξεταζόμενου δείγματος (σχήμα, μέγεθος, χρώμα).

### 9.2.2 Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (electron microscope)

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης έχει τη δυνατότητα εξέτασης της επιφάνειας των σωματιδίων με τη χρήση της ηλεκτρικής δέσμης. Η ηλεκτρονική μικροσκοπία χρησιμοποιεί ουσιαστικά δέσμη ηλεκτρονίων για τον σχηματισμό μεγεθυμένων ειδώλων, ενώ με βάση τις μελέτες, σωματίδια κάτω των 0,5nm επιτυχώς προσδιορίστηκαν σύμφωνα.



Εικόνα 12 Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο

### 9.3 Φασματοσκοπικές Τεχνικές

Για την επίτευξη της ανίχνευσης των μικροπλαστικών και του προσδιορισμού χημικής σύστασης τους, οι ερευνητές έχουν αναπτύξει καινοτόμες μεθόδους ταυτοποίησης. Έχοντας σαν στόχο λοιπόν την ακριβή εκτίμηση της ποσότητας και της διάδοσής τους στο περιβάλλον. Μερικές από τις πιο σύγχρονες τεχνολογίες που εφαρμόζονται είναι Φασματοσκοπία υπερύθρων (FTIR) η οποία χρησιμοποιείται για την ανάλυση των χαρακτηριστικών των μικροπλαστικών σε περιβάλλοντα όπως το νερό. Μια ακόμη μέθοδος είναι η Ραδιογραφία. Η τεχνική αυτή επιτρέπει στους επιστήμονες να παρατηρούν και ταυτόχρονα να αναλύουν τα μικροπλαστικά σε διαφορετικά υλικά και περιβάλλοντα. Παρακάτω θα αναλυθούν λεπτομερώς και οι δύο τεχνικές.

### 9.3.1 Φασματογραφία Υπέρυθρου FTIR(Fourier-transform infrared spectroscopy)

Η Υπέρυθη Φασματογραφία Μετασχηματισμού Fourier (FTIR), αποτελεί μια από τις πιο κοινές και διαδεδομένες τεχνικές προσδιορισμό της χημικής σύστασης των μικροπλαστικών σε περιβαλλοντικά δείγματα. Σαν μέθοδος βασίζεται στην απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας από τα μόρια του πολυμερούς.

Στην εφαρμογή δειγμάτων μικροπλαστικών, υλοποιείτε η ποιοτική ανάγνωση της χημικής σύνθεσης των πολυμερών πραγματοποιώντας σύγκριση μεταξύ του φάσματος απορρόφησης του εκάστοτε δείγματος με τις πρότυπες βιβλιοθήκες των φασμάτων.

Ωστόσο, ένα από τα μειονέκτημα της τεχνικής αυτής αποτελεί το γεγονός ότι τα φάσματα αναφοράς τα οποία χρησιμοποιούνται ως σύγκριση, είναι φάσματα που συμπεριλαμβάνονται στις βιβλιοθήκες των πολυμερών, τα οποία πολλές φορές δεν αντιστοιχούν στα πραγματικά δείγματα πλαστικών που περιέχουν αρκετά πρόσθετα (*Metcalf and Eddy, 2011*).

### 9.3.2 Φασματογραφία του Raman

Η Φασματογραφία του Raman αποτελεί ακόμη μια τεχνικής φασματογραφίας. Η τεχνική βασίζεται στην ανάλυση της κρυσταλλικής δομής του πολυμερούς, μέσω της ανελαστικής σκέδασης του φωτός λέιζερ από τα μόρια ενός μικροπλαστικού. Κατά την διάρκεια της σκέδασης παρατηρούνται μετατοπίσεις στη συχνότητα του σκέδαστου φωτός λόγω δονητικών ή περιστροφικών καταστάσεων των μορίων.

Αξιοσημείωτο γεγονός αποτελεί ότι, κάθε πολυμερές έχει ένα συγκεκριμένο – μοναδικό αποτύπωμα Raman. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η ποιοτική αναγνώριση των μικροπλαστικών μέσω σύγκρισης με πρότυπες φασματικές βιβλιοθήκες (*Araujo et al., 2018*).

Η Raman φασματοσκοπία προσφέρει υψηλή φασματική ευκρίνεια και τη δυνατότητα ανάλυσης σωματιδίων σε μικρο- και νανοκλίμακα, ακόμη και κάτω από τα 1  $\mu\text{m}$ .

Επιπρόσθετα, μπορεί να εφαρμοστεί σε έγχρωμα ή αδιαφανή δείγματα χωρίς να απαιτείται προεπεξεργασία, καθιστώντας τη, ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιβαλλοντικά δείγματα με σύνθετο υπόβαθρο (*Mao et al., 2020*).

Συγκριτικά με τη μέθοδο του FTIR, η Raman μας δίνει πληροφορίες αναφορικά στην ταυτοποίηση μικροπλαστικών στο δείγμα μας, έχοντας ως βασικό πλεονέκτημα τη δυνατότητα ανίχνευσης μικρότερων σωματιδίων <1mm. Παρόλα αυτά η Raman

ενδέχεται να παρουσιάσει παρεμβολές στον φθορισμό που παρεμποδίζει την καταγραφή του φάσματος, ενώ η χρήση ισχυρού λέιζερ μπορεί να προκαλέσει θερμική αλλοίωση του δείγματος με αφορμή τα οργανικά και μικροβιολογικά στοιχεία του δείγματος. (Metcalf *et al.*, 2011).

#### 9.3.4 Αέρια χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας (GC-MS: Gas chromatography-mass spectrometry)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την εύρεση των ουσιών στο δείγμα. Εφαρμόζει ένα συνδυασμό αεριοχρωματογραφίας και φασματομετρίας μάζας (MS). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταχεία αναγνώριση- ταυτοποίηση των πολυμερών συστατικών και των προσθέτων που περιέχουν τα μικροπλαστικά. Επιπρόσθετα έχει την ικανότητα να ανιχνεύει τους προσροφημένους ρύπους στην επιφάνειά τους. Η GC-MS, σε αντίθεση με τις άλλες φασματοσκοπικές μεθόδους, δεν έχει περιορισμό στο μέγεθος των μικροπλαστικών. (Metcalf *et al.*, 2011).

## 10. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η έκθεση και η καταποση μικροπλαστικών έχει τεκμηριωθεί σε ένα ευρύ φάσμα θαλάσσιων οργανισμών ακόμη και στον άνθρωπο, γεγονός που καθιστά αναγκαία την ανάπτυξη μεθοδολογιών για την ανίχνευση και ποσοτικοποίηση μικροπλαστικών στη θαλάσσια βιόσφαιρα. Αρχής γενομένη η μετάβαση αυτή θα γίνει πρώτα από τα στάδια της προώθησης της κυκλικής οικονομίας, της εκπαίδευσης και ευαισθητοποίησης του κοινού, της ενίσχυσης της επιστημονικής έρευνας και παρακολούθησης και τέλος από τις λύσεις που θα προέλθουν από την τεχνολογία και την καινοτομία.

### 10.1 Προώθηση Κυκλικής Οικονομίας

Στο πρώτο στάδιο της κυκλικής οικονομίας η μετάβαση από γραμμικά προς και γενικά μοντέλα παραγωγής και κατανάλωσης μειώνει σημαντικά τη ροή πλαστικών αποβλήτων. Ειδικότερα, το παραπάνω μπορεί να επιτευχθεί μέσω της ενίσχυσης της ανακύκλωσης υψηλής ποιότητας ώστε να μειωθεί η ανάγκη παραγωγής νέων πλαστικών. Παράλληλα, προωθείται η επαναχρησιμοποίηση υλικών και προϊόντων αντί της εφάπαξ χρήσης ενώ παράλληλα προωθείται ο οικολογικός σχεδιασμός (eco-design) με στόχο την πρόληψη της δημιουργίας μικροπλαστικών ήδη από το στάδιο της παραγωγής.

### 10.2 Εκπαίδευση και Ευαισθητοποίηση του κοινού

Σε αυτό το στάδιο ήσσονος σημασίας δεν αποτελεί η υπογράμμιση του καίριου ρόλου και της ενεργής συμμετοχής των πολιτών για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Ποιο συγκεκριμένο σε αυτό το εγχείρημα αρωγή θα προσφέρουν περιβαλλοντικά εκπαιδευτικά προγράμματα σε σχολεία και πανεπιστήμια για την κατανόηση της προέλευσης, επιδράσης και μεθόδων πρόληψης των μικροπλαστικών. Εκτός των χώρων εκπαίδευσης, η δράση θα συνεχίζεται μέσω των καμπανιών ενημερώσεις για καταναλωτές ενθαρρύνοντας έτσι την επιλογή προϊόντων χωρίς μικροπλαστικά και την ορθή διαχείριση απορριμμάτων. Τέλος, το εγχείρημα ενισχύεται μέσω της προώθησης της περιβαλλοντικής υπευθυνότητας μέσω των μέσων μαζικής ενημέρωσης και των κοινωνικών δικτύων.

Στα ως άνω, άρρηστος θα πρέπει να είναι ο δεσμός της χρηματοδότησης, προώθησης και επέκτασης των έργων παρακολούθησης της πλαστικής και μικροπλαστικής ρύπανσης από τους σημαντικούς ίσως φορείς της δράσης. Οι τελευταίοι δεν είναι άλλοι παρά οι ίδιοι οι πολίτες.

### 10.3 Ενίσχυση της επιστημονικής έρευνας και παρακολούθησης

Κλείνοντας το ζήτημα, ιδωμένο από ένα επιστημονικότερο πρίσμα, δέον κρίνεται να αναφερθεί, ότι βήματα πρέπει να γίνουν ως προς την αντιμετώπιση του προβλήματος, αποτελεσματικότερη δράση να συμβεί μέσω της ενίσχυσης της έρευνας. Απαιτείται είναι η δημιουργία εθνικών και διεθνών βάσεων δεδομένων για την καταγραφή των συγκεντρώσεων και των πηγών των πλαστικών, γεγονός που θα αποτελεί το εναρκτήριο λάκτισμα του επιστημονικού τομέα. Έπειτα, για την ενίσχυση των ερευνών θα πρέπει να υπάρχει αφενός συστηματική χρηματοδότηση της επιστημονικής έρευνας για την περαιτέρω κατανόηση των επιπτώσεων ως προς την υγεία των ανθρώπων, αφετέρου και των ποικίλων οικοσυστημάτων και της ανάπτυξης των μεθόδων αποκατάστασης των περιβαλλοντικών τομέων έχουν ήδη επιβαρυνθεί από τα μικροπλαστικά.

### 10.4 Τεχνολογικές λύσεις και καινοτομία

Μέσω της ανάπτυξης των νέων τεχνολογιών ενισχύεται η προσπάθεια καταπολέμησης των μικροπλαστικών αποτελώντας ένας από τους σημαντικότερους τομείς ανάπτυξης και βοήθειας.

Η αξιοποίηση τεχνολογικά προηγμένων μεθόδων για την απομάκρυνση μικροπλαστικών από τα υδάτινα οικοσυστήματα εστιάζει πρωτίστως στην ανάπτυξη και ενσωμάτωση εξειδικευμένων συστημάτων φιλτραρίσματος σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών και βιομηχανικών λυμάτων, ούτως ώστε να δεσμεύονται τα μικροπλαστικά πριν καταλήξουν στο υδάτινο περιβάλλον.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη χρήση μεμβρανικών φίλτρων υψηλής αποτελεσματικότητας, όπως οι μεμβράνες υπερδιήθησης (UF) και νανοδιήθησης (NF), οι οποίες έχουν καταδείξει ικανότητα συγκράτησης μικροπλαστικών σε ποσοστά που συχνά υπερβαίνουν το 90% (Lares et al., 2018). Παράλληλα, αναδεικνύονται καινοτόμες τεχνολογικές προσεγγίσεις – όπως η ηλεκτροστατική καθίζηση, η εφαρμογή μαγνητικών νανοσωματιδίων και οι διεργασίες προηγμένης οξειδωσης (AOPs) – οι οποίες βρίσκονται σε στάδιο εντατικής ερευνητικής αξιολόγησης, είτε ως συμπληρωματικές είτε ως εν δυνάμει εναλλακτικές λύσεις (Ng et al., 2020).

Η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών στις υφιστάμενες υποδομές επεξεργασίας λυμάτων συνιστά στρατηγικής σημασίας επιλογή για τον περιορισμό της περιβαλλοντικής διασποράς μικροπλαστικών, ενώ παράλληλα συνεισφέρει στην προώθηση ενός κυκλικού και βιώσιμου οικονομικού μοντέλου. Η διεθνής επιστημονική κοινότητα αναδεικνύει τη σημασία της διεπιστημονικής και διατομεακής συνεργασίας, καθώς και της στοχευμένης επένδυσης στην τεχνολογική καινοτομία, προκειμένου να επιτευχθεί η συνεχής βελτιστοποίηση των εν λόγω τεχνολογιών και η αποτελεσματική εφαρμογή τους σε βιομηχανική κλίμακα (Ivleva et al., 2017).

#### 10.4.1 Ρομποτικό ψάρι

Οι ερευνητές του πανεπιστημίου Sichuan της Κίνας, δημιούργησαν ένα ρομποτικό ψάρι νανοκλίμακας, σχεδιασμένο για την ενεργή συλλογή μικροπλαστικών από υδάτινα περιβάλλοντα (Zhou *et al.*, 2022). Το συγκεκριμένο ρομπότ διαθέτει μήκος μόλις 15 χιλιοστών και κατασκευάζεται από ένα ευέλικτο, ελαστικό και αυτοθεραπευόμενο νανοϋλικό, το οποίο εμπνέεται από το βιολογικό υλικό *nacre* (μητέρα του μαργαριταριού), εντοπιζόμενο στο εσωτερικό των οστράκων (Zhou *et al.*, 2022). Το εν λόγω υλικό χαρακτηρίζεται από υψηλή μηχανική αντοχή και ταυτόχρονα βιοσυμβατότητα, γεγονός που το καθιστά ασφαλές ακόμα και σε περιπτώσεις κατάποσης από θαλάσσιους οργανισμούς (The Straits Times, 2022).



Εικόνα 13 Ρομποτικό Ψάρι

Η κινητικότητα του ρομποτικού ψαριού επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης φωτός, το οποίο ενεργοποιεί την ουρά του μέσω φωτοκαταλυτικής αντίδρασης. Το ρομπότ δύναται να αναπτύξει ταχύτητα έως και 2,67 φορές το μήκος του σώματός του ανά δευτερόλεπτο, καθιστώντας το ιδιαίτερα αποδοτικό για λειτουργία σε ρηχά υδάτινα περιβάλλοντα (ScienceDaily, 2022).

Επιπλέον, τα μικροπλαστικά σωματίδια προσελκύονται στην επιφάνεια του ρομπότ μέσω ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων, προσκολλώμενα μόνιμα σε αυτή, γεγονός που διευκολύνει την απομάκρυνσή τους από το υδάτινο περιβάλλον.

Ένα από τα πλέον πρωτοποριακά χαρακτηριστικά του ρομπότ αποτελεί η δυνατότητά του για αυτοεπιδιόρθωση μετά από μηχανικές βλάβες, γεγονός που ενισχύει τόσο την ανθεκτικότητά του όσο και τη διάρκεια ζωής του κατά τη λειτουργία στο πεδίο (Zhou *et al.*, 2022). Παρά το γεγονός ότι η τεχνολογία αυτή βρίσκεται ακόμη σε αρχικό στάδιο ανάπτυξης, οι ερευνητές προγραμματίζουν την κλιμάκωσή της σε μεγαλύτερες διαστάσεις, με σκοπό την εφαρμογή της σε βαθύτερα και περισσότερο ρυπασμένα περιβάλλοντα, καθώς και την ενσωμάτωση αισθητήρων για τη συλλογή δεδομένων ρύπανσης σε πραγματικό χρόνο (Euronews Next, 2022).

Η ανάπτυξη του ρομποτικού ψαριού συνιστά χαρακτηριστικό παράδειγμα της βιομηχανικής εφαρμογής της νανοτεχνολογίας στον τομέα της περιβαλλοντικής μηχανικής. Τέτοιου είδους καινοτομίες αναδεικνύουν τις δυνατότητες της διεπιστημονικής έρευνας να παράσχει βιώσιμες και αποτελεσματικές λύσεις στην αντιμετώπιση παγκόσμιων περιβαλλοντικών προκλήσεων.

#### 10.4.2 Waste Shark ( Απόβλητα Καρχαρίας)

Το WasteShark αποτελεί μια πρωτοποριακή τεχνολογική πρόταση για τη διαχείριση των αποβλήτων σε υδάτινα περιβάλλοντα. Αναπτύχθηκε από τον Richard Hardiman, Διευθύνοντα Σύμβουλο της ολλανδικής εταιρείας RanMarine Technology, η οποία ειδικεύεται στην ανάπτυξη αυτόνομων θαλάσσιων drones (RanMarine Technology, 2023).

Η πρώτη χρήση του WasteShark πραγματοποιήθηκε το 2017 στα ολλανδικά κανάλια, όπου προσέφερε μια αυτοματοποιημένη και πιο αποδοτική εναλλακτική στις παραδοσιακές μεθόδους συλλογής απορριμμάτων, οι οποίες βασίζονται στη χειρωνακτική εργασία (Hardiman, 2018). Η συσκευή λειτουργεί σαν ένα αυτόνομο «θαλάσσιο σκουπάκι», που συλλέγει πλαστικά, μικροπλαστικά, επιπλέοντα απορρίμματα, καθώς και φυτικά είδη που θεωρούνται επιβλαβή, όπως φύκια.

Πέρα από τη συλλογή απορριμμάτων, η συσκευή είναι εξοπλισμένη με αισθητήρες που καταγράφουν σε πραγματικό χρόνο στοιχεία όπως η θερμοκρασία, η ποιότητα και η αγωγιμότητα του νερού, συμβάλλοντας στην παρακολούθηση της κατάστασης των υδάτων (Marine Technology Society, 2022).



Εικόνα 14 Συλλογή πλαστικών & Μικροπλαστικών από το waste shark

Το WasteShark ξεχωρίζει για την αποδοτικότητά του: μπορεί να μεταφέρει έως 180 λίτρα απορριμμάτων και να λειτουργεί συνεχώς για έως και οκτώ ώρες, απομακρύνοντας μέχρι και 500 κιλά αποβλήτων την ημέρα (RanMarine Technology, 2023). Επιπλέον, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου καθιστούν τη συσκευή ιδανική για χρήση τόσο σε αστικά όσο και σε φυσικά υδάτινα περιβάλλοντα. Το WasteShark αναδεικνύει τον σημαντικό ρόλο της τεχνολογικής καινοτομίας στην περιβαλλοντική προστασία και ιδιαίτερα στην καταπολέμηση της θαλάσσιας ρύπανσης. Συνδυάζοντας σύγχρονη ρομποτική τεχνολογία με περιβαλλοντική παρακολούθηση, το WasteShark αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα «πράσινης» ρομποτικής και βιώσιμης αξιοποίησης των φυσικών πόρων

## 10.5 Βιοπλαστικά ως εναλλακτική λύση

Η συνεχόμενη αυξημένη περιβαλλοντική επιβάρυνση του πλανήτη από την αλόγιστη χρήση των πλαστικών και ταυτόχρονα η ανάγκη μείωσης της χρήσης των ορυκτών καυσίμων, και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων έχουν εντείνει τη ζήτηση για βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις. Στα πλαίσια αυτών των συζητήσεων έρχεται η ανάδειξη των νέων Βιοπλαστικών προϊόντα που αποτελούν μια νέα κατηγορία πλαστικών διαφορετικών από τα συμβατικά πολυμερή. (European Bioplastics, 2025 ;Shen *et al.*, 2019).

Ως βιοπλαστικά ορίζονται τα πολυμερή υλικά τα οποία είναι είτε βιογενές δηλαδή παράγονται από ανανεώσιμες βιολογικές πηγές (αμυλοποιημένο αραβόσιτο, κυτταρίνης ή τα φυτικά υπολείμματα), είτε είναι μπορούν να διασπαστούν φυσικά κάτω από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασίας και οξυγόνου)ή μπορεί να συνδυάζουν ταυτόχρονα και τις δύο αναφερόμενες ιδιότητες (European Bioplastics, 2023 ;Shen *et al.*, 2019).

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Βιοπλαστικά ( European Bioplastics) ,τα βιοπλαστικά μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες, λαμβάνοντας σαν κριτήριο την προέλευση και χρήση της πρώτης ύλης τους καθώς τη δυνατότητα βιοαποδόμησης. (Emadian *et al.*, 2017):

Παρακάτω αναλύονται λεπτομερώς οι κατηγορίες.

**Πλαστικά βιολογικής προέλευσης και βιοδιασπώμενα (bio-based plastics):** Αφορά τα φυσικά πολυμερή προϊόντα που παρασκευάζονται από βιομάζα και ανανεώσιμες πηγές (κυτταρίνη, καλαμπόκι, ζαχαροκάλαμο και βακτήρια). Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα αυτών των πλαστικών θεωρούνται το πολυγαλακτικό οξύ (PLA) και το πολυυδροξυαλκανοϊκό (PHA).

#### **Βιολογικής προέλευσης, μη Βιοδιασπώμενα πλαστικά (biodegradable plastics)**

Τα συγκεκριμένα τα πλαστικά δημιουργούνται από ανανεώσιμες πρώτες ύλες (άμυλο, κυτταρίνη, βιοαιθανόλη, λιγνίνη). Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν και πλαστικά που προέρχονται από ορυκτά (πετρέλαιο, φυσικό αέριο).

Τα εν λόγω, θεωρούνται συνθετικά πολυμερή όπως είναι η πολυκαπρολακτόνη (PCL) και το ηλεκτρικό πολυβουτυλένιο (PBS).

#### **Πετρελαϊκής προέλευσης αλλά αποικοδομήσιμα**

Τα συγκεκριμένα βιοπλαστικά είναι συνθετικά πολυμερή τα οποία δημιουργούνται από υλικά πετροχημικά (μη ανανεώσιμων πηγών). Ωστόσο, είναι κατασκευασμένα με σκοπό τη βιολογική τους αποικοδόμηση μέσω φυσικών διεργασιών που επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μικροοργανισμών υπό κατάλληλων περιβαλλοντικών συνθηκών (π.χ. κομποστοποίηση). Ένα από τα πιο κοινά βιοπλαστικά πετρελαϊκής σύνθεσης είναι το πολυβουτυλένιο-αντιπικό οξύ (PBA). Shen *et al.*, 2019).

Η αξιοποίηση των βιοπλαστικών αποτελεί μια νέα πρόκληση τα τελευταία χρόνια. Υλικά βιοπλαστικής προέλευσης αρχίζουν και ενσωματώνονται σε διάφορους τομείς όπως η τυποποίηση των προϊόντων(συσκευασία), στα σκεύη μίας χρήσης, στην βιοιατρική, αυτοκινητοβιομηχανία και η γεωργία. Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα που έχουν, δυστυχώς το υψηλότερο κόστος παραγωγής, τους οι ελάχιστες υποδομές κομποστοποίησης και η έλλειψη σαφούς ενημέρωσης του κοινού για τα χαρακτηριστικά αυτών των υλικών (Niaounakis, 2015).

## 11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το φαινόμενο της ρύπανσης από μικροπλαστικά έχει αναδειχθεί τα τελευταία έτη ως μείζον περιβαλλοντικό ζήτημα σε παγκόσμια κλίμακα. Η κύρια δυσκολία στην ποσοτική εκτίμηση των μικροπλαστικών στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι η έλλειψη τυποποιημένων διαδικασιών για τη συλλογή και ανάλυση δειγμάτων, εξαιτίας της εκτεταμένης επιβάρυνσης που επιφέρει τόσο στα θαλάσσια όσο και στα χερσαία οικοσυστήματα και στους οργανισμούς. Καθώς και των πιθανών επιπτώσεων για την ανθρώπινη υγεία.

Η συσσώρευση πρωτογενών και δευτερογενών μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον, προερχόμενη από πληθώρα πηγών, αποτελεί άμεση συνέπεια της εκτεταμένης χρήσης τους. Παρά το γεγονός ότι τα τελευταία έτη έχουν υιοθετηθεί μέτρα για τον περιορισμό της χρήσης πλαστικών υλικών, οι πρόσφατες καταγραφές σχετικά με την παρουσία τους στο υδάτινο περιβάλλον καταδεικνύουν αύξηση.

Ειδικότερα, το κύριο πρόβλημα εντοπίζεται στα δευτερογενή μικροπλαστικά, τα οποία, λόγω των φυσικοχημικών τους ιδιοτήτων, παρουσιάζουν εξαιρετικά χαμηλή βιοδιασπασιμότητα και δυσχέρεια απομάκρυνσης. Σημειώνεται δε ότι τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ραγδαία ενίσχυση του επιστημονικού ενδιαφέροντος αναφορικά με το πρόβλημα της ρύπανσης του υδάτινου περιβάλλοντος από μικροπλαστικά, γεγονός που έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη καινοτόμων τεχνικών για τη συλλογή δειγμάτων και την ανίχνευσή τους.

Στο πλαίσιο αυτό, θα πρέπει η ερευνητική κοινότητα να συνεργαστεί με τον βιομηχανικό τομέα προσανατολίζοντας διαρκώς στην ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογικών λύσεων και καινοτόμων προσεγγίσεων, οι οποίες αποσκοπούν στην ανίχνευση, απομάκρυνση και πρόληψη της περαιτέρω εξάπλωσης των μικροπλαστικών στο περιβάλλον.

Ενόψει του γεγονότος ότι η πλαστική ρύπανση συνιστά ένα διασυνοριακό φαινόμενο, καθίσταται αναγκαία η σύναψη μιας διεθνούς συμφωνίας για το πλαστικό, η οποία θα αποσκοπεί στη σημαντική μείωση της παραγωγής του, στην κατάργηση των επιζήμιων επιδοτήσεων, στην εξάλειψη προβληματικών προϊόντων και χημικών ουσιών, καθώς και στην υιοθέτηση ενισχυμένων εθνικών στρατηγικών, συνοδευόμενων από αυστηρούς μηχανισμούς παρακολούθησης και διασφάλισης της συμμόρφωσης.

Διεύρυνση της ευθύνης του παραγωγού και επιτάχυνση της εφαρμογής μέτρων που αφορούν την εταιρική κοινωνική ευθύνη ως βασικά εργαλεία για την καταπολέμηση της παγκόσμιας πλαστικής ρύπανσης.

Απαγόρευση της χρήσης πλαστικών κόκκων, νιφάδων ή πελλετών στον ανοιχτό περιβάλλον (π.χ., τεχνητό χόρτο σε αυλές σχολείων ή αθλητικά γήπεδα) όπου μπορούν να απελευθερωθούν μικροπλαστικά.

## 12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### 12.1 ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Araujo, C. F., Nolasco, M. M., Ribeiro, A. M. P., Ribeiro-Claro, P. J. A. (2018). Identification of microplastics using Raman spectroscopy: Latest developments and future prospects. *Water Research*, 142, 426–440.

2. Avio, C.G., Gorbi, S., Regoli, F., 2017. Plastics and microplastics in the oceans: from emerging pollutants to emerged threat. *Mar. Environ. Res.* 128, 2–11. Baalkhuyur, et al., 2018. Microplastic in the gastrointestinal tract of fishes.
3. Chen, C. L., & Liu, T. K. (2013). Fill the gap: Developing management strategies to control garbage pollution from fishing vessels. *Marine Policy*, 40, 34–40.
4. Cole M, Webb H., P.K. Lindeque, E.S. Fileman, C. Halsband, T.S. Galloway. *Sci Rep* 2014, 4: 4528.
5. Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S., (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar. Poll. Bull.* 62, 2588-2597.
6. De Sá, L.C., Luís, L.G., Guilhermino, L., 2015. Effects of microplastics on juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*): confusion with prey, reduction of the predatory performance and efficiency, and possible influence of developmental conditions. *Environ. Pollut.* 196, 359–362.
7. DI (density index). Density of marine macroinvertebrates as indicator of environmental status. 2014.
8. Duis, K. &. (2016). Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effect.
9. Emadian, S. M., Onay, T. T., Demirel, B. (2017). Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management*, 59 pp. 526–536.
10. European Bioplastics. (2025). Bioplastics market data 2025.
11. Falco, D. (2017). Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics.
12. Fu L, Li J, Wang G, Luan Y, Dai W. Adsorption behavior of organic pollutants on microplastics. *Ecotoxicol Environ Saf* 2021.
13. Foley, C.J., Feiner, Z.S., Malinich, T.D., Höök, T.O., 2018. A meta-analysis of the effects of exposure to microplastics on fish and aquatic invertebrates. *Sci. Total Environ.* 550–559.

14. Galgani, F, Hanke, G, Werner F,. Marine Litter, Technical Recommendations for the Implementation of MSFD Requirements, MSFD GES Technical Subgroup on Marine Litter (2011).
15. Gasperi J., Wright L., Dris R. Microplastics in air: Are we breathing it in(2018). pp 1-5.
16. GESAMP. (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Reports and Studies GESAMP No. 90.
17. Gigault, J,A.T. Halle, M. Baudrimont, P.Y. Pascal, F. Gauffre, T.L. Phi, H. El Hadri, B. Grassl, S. Reynaud Current opinion: what is a nanoplastic? Environ. Pollut., 235 (2018), pp. 1030-1034.
18. Gündoğdu, S., Çevik, C., Güzel, E., & Kilercioğlu, S. (2018). Microplastics in municipal wastewater treatment plants in Turkey: a comparison of the influent and secondary effluent concentrations. Environmental monitoring and assessment, 190(11), 626.
19. Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. Environmental Science & Technology, 46(6), 3060–3075.
20. Ivleva, N. P., Wiesheu, A. C., & Niessner, R. (2017). Microplastic in aquatic ecosystems. Angewandte Chemie International Edition, 56(7), 1720–1739.
21. Khalid, N., Aqeel, M., Noman, A., Hashem, M., Mostafa, Y. S., Alhaithloul, H. A. S., & Alghanem, S. M. (2021). Linking effects of microplastics to ecological impacts in marine environments. Chemosphere, 264, 128541.
22. Lares, M., Ncibi, M. C., Sillanpää, M., & Sillanpää, M. (2018). Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. Water Research, 133, 236–246
23. Luis, L.G., Ferreira, P., Fonte, E., Oliveira, M., Guilhermino, L., 2015. Does the presence of microplastics influence the acute toxicity of chromium(VI) to early juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*)? A study with juveniles from two wild estuarine populations. Aquat. Toxicol. 164, 163–174.

24. Li, J., Liu, H., & Chen, J. P. (2018). Microplastics in freshwater systems: a review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*, 137, 362–374.
25. Naji, A., Nuri, M., Vethaak, A.D., 2018. Microplastics contamination in molluscs from the northern part of the Persian Gulf. *Environ. Pollut.* 235, 113–120.
26. Ng, C. A., Gaylarde, C. C., & León, V. M. (2020). Microplastic removal techniques in wastewater treatment plants: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 1945–1957
27. Mai, L., Bao, L.-J., Shi, L., Wong, C. S., & Zeng, E. Y. (2018). A review of methods for measuring microplastics in aquatic environments. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(12), 11319–11332.
28. Magnusson, K., Eliasson, K., Fråne, A., Haikonen, K., Hultén, J., Olshammar, M., & Voisin, A. (2016). Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment. A review of existing data. *IVL, C*, 183.
29. Mao, R., Lang, M., Yu, X., Wu, R., & Yang, X. (2020). Characterization of microplastics and their interaction with heavy metals in aquatic environments. *Science of The Total Environment*, 743.
30. Mathalon A., Hill P.,(2014). *Mar. Pollut. Bull.* 2014, 81, 69–79.
31. Metcalf & Eddy, Inc. (2011). *Wastewater engineering: treatment and reuse*. (4th Ed) Boston :McGraw-Hill.
32. Miller, M. E., Kroon, F. J., & Motti, C. A. (2017). Recovering microplastics from marine samples: A review of current practices. *Marine Pollution Bulletin*, 123(1-2), 6–18.
33. Mintenig SM, Int-Veen I, Loder MG, Primpke S, Gerdts G (2017) Identification of microplastic in effluents of wastewater treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Res* 108:365–372
34. Niaounakis, M. (2015). *Biopolymers: Applications and Trends*. Elsevier.
35. Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2020). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Science of the total environment*, 702, 134455.

36. Prata, J. C., da Costa, J. P., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: a critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 110, 150-159.
37. Rocha-Santos, T., & Duarte, A. C. (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*, 65, 47-53.
38. ScienceDaily. (2022, June 22). Robot fish that ‘eats’ microplastics could help clean oceans.
39. Shen, L., Haufe, J., & Patel, M. K. (2019). Product overview and market projection of emerging bio-based plastics. *Utrecht University*.
40. Silva, A. B., Bastos, A. S., Justino, C. I. L., da Costa, J. P., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. A. P. (2018). Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry - A review. *Analytica Chimica Acta*, 1017, 1–19.
41. Singh, B., & Sharma, N. (2008). Mechanistic implications of plastic degradation. *Polymer degradation and stability*, 93(3), 561-584.
42. Tsang, Y. Y., Mak, C. W., Liebich, C., Lam, S. W., Sze, E. T.-P., & Chan, K. M. (2017). Microplastic pollution in the marine waters and sediments of Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 115(1-2), 20–28.
43. Teuten EL, Rowland SJ, Galloway TS, Thompson RC. Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants. *Environ Sci Technol* 2007;41 (22):7759–64.
44. Titow, M.V., *PVC Technology*. 4th ed. 1984: Elsevier Applied Science Publishers Ltd.
45. Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, W.G., McGonigle, D., Russell, A.E., 2004. Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 34, 838.
46. Thushari,G Senevirathna J.D.M., Plastic pollution in the marine environment, *Heliyon*, Volume 6, Issue 8, 2020, e04709, ISSN 2405-8440.

47. UNESCO. (2021). World Water Development Report 2021: Valuing Water. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
48. Van Cauwenberghe L. , Janssen. C.R. Environment Pollution (2014), 193, 65-70.
49. Viršek, M. K., Palatinus, A., Koren, Š., Peterlin, M., Horvat, P., & Kržan, A. (2016). Protocol for microplastics sampling on the sea surface and sample analysis. JoVE (Journal of Visualized Experiments), (118), e55161.
50. Wang, W., & Wang, J. (2018). Investigation of microplastics in aquatic environments: An overview of the methods used, from field sampling to laboratory analysis. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 108, 195-202.
51. Zhou, Y., Li, Z., Chen, M., & Xu, W. (2022). Bioinspired self-healing light-driven robot fish for removing microplastics. Nano Letters, 22(12), 4877–4885.

## 12.2 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Καραπαναγιώτη Χρυσή. Μικροπλαστικά (2020).

## 12.3. ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

Euronews Next. (2022, July 12). Chinese scientists develop tiny robot fish that eat microplastics in polluted water. <https://www.euronews.com/next/2022/07/12/us-china-plastic-fish-robot>

<https://www.fisheries.noaa.gov/science-blog/net-working-pacific>

<https://www.plasticseurope.org/>

<https://portals.iucn.org/library/node/46622>

<https://iucn.org/resources/issues-brief/plastic-pollution>

<https://www.european-bioplastics.org>

<https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>

<https://wasserdreinull.de/en/knowledge/microplastics/>