



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΒΙΟΟΙΚΟΝΟΜΙΑ, ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ & ΒΙΩΣΙΜΗ  
ΑΝΑΠΤΥΞΗ»**

*Διπλωματική Εργασία: «Βιοτεχνολογική απορρύπανση  
πλαστικών απορριμμάτων - προοπτικές και βιωσιμότητα.»*

**Φοιτήτρια : Εμπεσλίδου Αθηνά (Bio2308)**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Ευάγγελος Τόπακας**

**Πειραιάς, Δεκέμβριος 2025**



**UNIVERSITY OF PIRAEUS**

**DEPARTMENT OF ECONOMICS**

**POSTGRADUATE PROGRAM “BIOECONOMY, CIRCULAR  
ECONOMY & SUSTAINABLE DEVELOPMENT”**

**Master’s Thesis: “Biotechnological Remediation of Plastic  
Waste – Prospects and Sustainability”**

**Student: Athena Empeslidou (Bio2308)**

**Supervisor: Professor Evangelos Topakas**

**Piraeus, December 2025**

ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

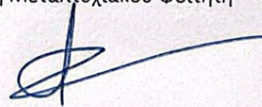
«Δηλώνω υπεύθυνα ότι το έργο που εκπονήθηκε και παρουσιάζεται στην υποβαλλόμενη διπλωματική εργασία, για τη λήψη του μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών, στη «Βιοοικονομία, Κυκλική Οικονομία και Βιώσιμη Ανάπτυξη» με τίτλο:

"Βιοτεχνολογική απορρίπτηση πλαστικών απορριμμάτων - προοπτικές και βιωσιμότητα"

έχει γραφτεί από εμένα αποκλειστικά στο σύνολό της. Δεν έχει υποβληθεί ούτε εγκριθεί στο πλαίσιο κάποιου άλλου μεταπτυχιακού προγράμματος ή προπτυχιακού τίτλου σπουδών στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό, ούτε είναι εργασία ή τμήμα εργασίας ακαδημαϊκού ή επαγγελματικού χαρακτήρα.

Δηλώνω επίσης υπεύθυνα ότι οι πηγές στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας αναφέρονται στο σύνολό τους, κάνοντάς πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου.»

Υπογραφή Μεταπτυχιακού Φοιτητή



Ονοματεπώνυμο

Empeaidou Athina

## *Περίληψη*

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, εξετάζει την ευρεία χρήση των πλαστικών υλικών και τις επιπτώσεις που προκύπτουν από την ανεξέλεγκτη διάθεσή τους στο περιβάλλον με έμφαση στην αυξανόμενη πρόκληση της μικροπλαστικής ρύπανσης. Αρχικά, αναδεικνύεται η σημασία των πλαστικών για την ανάπτυξη της σύγχρονης κοινωνίας καθώς αποτελούν υλικά υψηλής λειτουργικότητας και χαμηλού κόστους. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα αυτά συνοδεύονται από σοβαρές περιβαλλοντικές προκλήσεις, καθώς η ανθεκτικότητα και η αργή αποδόμησή τους οδηγούν σε συσσώρευση αποβλήτων και σε εκτεταμένη ρύπανση. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα μικροπλαστικά, τα οποία αποτελούν υποπροϊόν της αποσύνθεσης μεγαλύτερων πλαστικών αντικειμένων ή προέρχονται από βιομηχανικές και καταναλωτικές δραστηριότητες. Η παρουσία τους στα θαλάσσια οικοσυστήματα έχει αναγνωριστεί ως ένας από τους σοβαρότερους κινδύνους για τη βιοποικιλότητα καθώς εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα με δυνητικά δυσμενείς συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία. Οι κίνδυνοι αυτοί συνιστούν μια αυξανόμενη απειλή η οποία απαιτεί διεπιστημονική αντιμετώπιση και διεθνή συνεργασία. Παράλληλα, εξετάζονται οι σύγχρονες βιοτεχνολογικές προσεγγίσεις για την ανακύκλωση και επαναξιοποίηση των πλαστικών αποβλήτων με κεντρική αναφορά στην κυκλική οικονομία και την πρακτική του upcycling. Οι μέθοδοι αυτές, συμβάλλουν στη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης ενισχύουν την αποδοτικότητα των πόρων και δημιουργούν νέες προοπτικές για βιώσιμες παραγωγικές διαδικασίες. Επιπλέον αναλύονται οι δυνατότητες που προσφέρουν τα βιοπλαστικά, τα βιοδιασπώμενα και τα κομποστοποιήσιμα υλικά ως εναλλακτικές λύσεις στα συμβατικά πλαστικά. Τέλος, διερευνάται το ρυθμιστικό και νομικό πλαίσιο που έχει αναπτυχθεί τόσο σε διεθνές όσο και σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο, προκειμένου να περιοριστούν οι επιπτώσεις της πλαστικής ρύπανσης και να προωθηθεί μια πιο υπεύθυνη διαχείριση. Μέσα από την ανάλυση των υφιστάμενων στρατηγικών αναδεικνύεται η ανάγκη για περαιτέρω ενίσχυση των πολιτικών και θεσμικών παρεμβάσεων με στόχο τη μετάβαση σε πιο βιώσιμα πρότυπα παραγωγής και κατανάλωσης. Η εργασία καταλήγει, στο συμπέρασμα ότι η αποτελεσματική αντιμετώπιση της πλαστικής ρύπανσης προϋποθέτει συνδυασμό καινοτόμων τεχνολογιών θεσμικής ρύθμισης και κοινωνικής ευαισθητοποίησης, προκειμένου να διασφαλιστεί η προστασία του περιβάλλοντος και η υγεία των μελλοντικών γενεών.

# **Biotechnological Remediation of Plastic Waste – Prospects and Sustainability**

## **Abstract**

This thesis explores the extensive use of plastic materials and the environmental impacts arising from their uncontrolled disposal, with a particular focus on the growing challenge of microplastic pollution. At first, the significance of plastics in the development of modern society is highlighted, as they represent highly functional and cost-effective materials. However, these advantages are accompanied by severe environmental challenges, since their durability and slow degradation lead to waste accumulation and widespread pollution. Special emphasis is placed on microplastics, which derive either from the fragmentation of larger plastic objects or from industrial and consumer activities. Their presence in marine ecosystems has been recognized as one of the most critical threats to biodiversity, as they infiltrate the food chain with potentially harmful consequences for human health. These risks constitute an escalating threat that requires interdisciplinary approaches and international cooperation. In parallel, the study examines contemporary biotechnological approaches for the recycling and reuse of plastic waste, with central reference to the circular economy and the practice of upcycling. Such methods contribute to reducing environmental impacts, enhancing resource efficiency, and creating new perspectives for sustainable production processes. Furthermore, the potential of bioplastics, biodegradable, and compostable materials as alternatives to conventional plastics is analyzed. Finally, the regulatory and legal frameworks established at the international, European, and national levels are investigated, aiming to mitigate the impacts of plastic pollution and promote more responsible management. Through the analysis of existing strategies, the need for stronger policies and institutional interventions is underlined, in order to advance towards more sustainable production and consumption patterns. The thesis concludes that effectively addressing plastic pollution requires a combination of innovative technologies, institutional regulation, and social awareness, in order to safeguard the environment and the health of future generations.

## **Περιεχόμενα :**

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Εισαγωγή</b>	<b>8</b>
<b>1.2 Η σημασία και η χρησιμότητα των πλαστικών υλικών</b>	<b>12</b>
<b>1.3 Η πλαστική ρύπανση</b>	<b>14</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Τύποι πλαστικών, οι δυνατότητες αποδόμησης τους και η περιβαλλοντική επίδραση</b>	<b>19</b>
<b>2.2 Μικροπλαστικά</b>	<b>24</b>
<b>2.3 Θαλασσιά ρύπανση και τροφική αλυσίδα</b>	<b>26</b>
<b>2.3.1 Τροφική αλυσίδα</b>	<b>27</b>
<b>2.4 Μικροπλαστικά – Εισχώρηση στην τροφική αλυσίδα και επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία</b>	<b>29</b>
<b>2.5 Το ζήτημα των μικροπλαστικών – Μια αυξανόμενη απειλή για τα οικοσυστήματα και τον άνθρωπο</b>	<b>32</b>
<b>2.6 Προοπτικές και στρατηγικές αντιμετώπισης της μικροαστικής ρύπανσης</b>	<b>35</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	<b>39</b>
<b>3.1 Βιοτεχνολογικές προσεγγίσεις στην ανακύκλωση πλαστικών</b>	<b>39</b>
<b>3.1.1 Η Κυκλική οικονομία και το upcycling - Βασικές έννοιες και διαφοροποιήσεις</b>	<b>40</b>
<b>3.2 Οφέλη και πλεονεκτήματα του upcycling ως βιοτεχνολογική εφαρμογή</b>	<b>42</b>
<b>3.2.1 Κίνητρα και εφαρμογές του upcycling</b>	<b>43</b>
<b>3.3 Προηγμένες τεχνολογίες υλικών - Βιοπλαστικά, βιοδιασπώμενα και κομποσταρίσιμα πλαστικά</b>	<b>46</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	<b>57</b>
<b>4.1 Ρυθμιστικό και νομικό πλαίσιο αναφορικά με τη διαχείριση των πλαστικών υλικών</b>	<b>57</b>
<b>4.1.1 Ιστορική αναδρομή των ρυθμιστικών πλαισίων της ΕΕ για τα πλαστικά</b>	<b>58</b>
<b>4.2 Στρατηγικές και κανονισμοί σε ισχύ σήμερα</b>	<b>61</b>

<b>4.3 Διεθνές Πλαίσιο</b>	<b>62</b>
<b>4.4 Εθνικό πλαίσιο (Ελλάδα)</b>	<b>64</b>
<b>4.5 Συμπέρασμα</b>	<b>65</b>
<b>4.5.1 Μελλοντικές προοπτικές</b>	<b>67</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	<b>69</b>
<b>5.1 Συμπεράσματα</b>	<b>69</b>
<b>Βιβλιογραφία:</b>	<b>75</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Πλαστικά υλικά και πλαστική ρύπανση - Ιδιότητες, ιστορική εξέλιξη και περιβαλλοντικές προκλήσεις

### 1.1 Εισαγωγή

Η πλαστική ρύπανση αποτελεί μία από τις σοβαρότερες περιβαλλοντικές προκλήσεις του 21ου αιώνα, επηρεάζοντας όχι μόνο τα φυσικά οικοσυστήματα αλλά και την ανθρώπινη υγεία. Η αυξανόμενη παραγωγή και κατανάλωση πλαστικών σε συνδυασμό με την αργή τους αποδόμηση, έχουν οδηγήσει στη συσσώρευση τεράστιων ποσοτήτων απορριμμάτων σε θάλασσες, εδάφη και αστικά περιβάλλοντα. Σε αυτό το πλαίσιο, αναδεικνύεται η ανάγκη ανάπτυξης καινοτόμων μεθόδων διαχείρισης των πλαστικών αποβλήτων πέρα από τις παραδοσιακές προσεγγίσεις όπως η ανακύκλωση ή η καύση. Μία από τις πιο υποσχόμενες στρατηγικές είναι η βιοτεχνολογική απορρύπανση η οποία αξιοποιεί μικροοργανισμούς και ένζυμα για την αποικοδόμηση των πλαστικών και την επαναφορά τους στον φυσικό κύκλο της ύλης. Η παρούσα μελέτη, εστιάζει στη διερεύνηση των δυνατοτήτων αυτής της προσέγγισης, όσο και στην ανάλυση της πλαστικής ρύπανσης, αναλύοντας τόσο τις προοπτικές όσο και τις προκλήσεις που σχετίζονται με τα θέματα αυτά. Για να κατανοηθεί ολοκληρωτικά η έκταση και η πολυπλοκότητα του προβλήματος της πλαστικής ρύπανσης, είναι απαραίτητο να εξεταστεί αρχικά η φύση των ίδιων των πλαστικών υλικών. Ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάζονται,

οι φυσικοχημικές τους ιδιότητες και η ανθεκτικότητά τους αποτελούν βασικούς παράγοντες που εξηγούν την ευρεία χρήση τους, αλλά και τις δυσκολίες που παρουσιάζονται κατά τη διαχείριση και αποδόμησή τους στο περιβάλλον.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία ως πλαστικό ορίζεται, το πολυμερές υλικό όπου έχει την ικανότητα να διαμορφώνεται με την εφαρμογή θερμότητας και πίεσης. Ταυτόχρονα, τα πλαστικά έχουν και άλλες ιδιότητες όπως χαμηλή πυκνότητα, χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, διαφάνεια καθώς και την ιδιότητα σκληρότητας όπου επιτρέπει στα πλαστικά να μπορούν να μετατρέπονται σε διάφορα προϊόντα. Μερικά παραδείγματα διαδεδομένων πλαστικών προϊόντων είναι τα ελαφριά μπουκάλια αναψυκτικών (PET), πλαστικά μπουκάλια, τα λάστιχα κήπου (PVC), δοχεία φαγητού καθώς και τα άθραυστα τζάμια παραθύρων. Συμπερασματικά, τα πλαστικά προϊόντα έχουν ενσωματωθεί στην καθημερινότητα μας σε πολλά από τα προϊόντα που χρησιμοποιούμε και αγοράζουμε καθημερινά (Rodríguez, 2024). Αναμφισβήτητα τα πλαστικά μπορούν να χαρακτηριστούν ως μια από τις σημαντικότερες εφευρέσεις του 20<sup>ου</sup> αιώνα καθώς «υπηρετούν» την ανθρωπότητα σε σχεδόν όλους τους τομείς της ζωής (Sadia Mehmood Satti, 2024). Έτσι, λόγω των επιθυμητών χαρακτηριστικών τους όπως η ανθεκτικότητα, το χαμηλό κόστος, η αντοχή τους αλλά και το μικρό τους βάρος, η κατανάλωση πλαστικών έχει αυξηθεί δραματικά μέσα στα χρόνια. Συγκεκριμένα η παγκόσμια παραγωγή πλαστικών έφτασε τους 338 εκατομμύρια τόνους το 2019, αντιπροσωπεύοντας αύξηση άνω του 640% σε σύγκριση με το 1975. Καθώς το ζήτημα της πλαστικής ρύπανσης άρχισε να επηρεάζει τόσο την υγεία του πλανήτη όσο και την ανθρώπινη υγεία, αναπτύχθηκαν διάφορες τεχνικές με στόχο τον περιορισμό της έκθεσης στα πλαστικά, όπως η ανακύκλωση και η παραγωγή βιοδιασπώμενων υλικών. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα αυτών των πρακτικών αποδείχθηκε περιορισμένη, κυρίως λόγω της ανεπάρκειας των υποδομών διαχείρισης απορριμμάτων, της κακής λειτουργίας ορισμένων εγκαταστάσεων, των ελλειπών συστημάτων συλλογής, των ακατάλληλων πρακτικών διάθεσης και της χαμηλής περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης (Sadia Mehmood Satti, 2024). Έτσι, ενώ τα συνθετικά πολυμερή κατέχουν πρωταγωνιστικό ρόλο στον σύγχρονο κόσμο, αποτελώντας βασικά υλικά για την παραγωγή πλήθους προϊόντων που διευκολύνουν την καθημερινή ζωή (από

τη συσκευασία τροφίμων και την ιατρική τεχνολογία έως την αυτοκινητοβιομηχανία και την ηλεκτρονική) την ίδια στιγμή συνιστούν ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα παγκοσμίως. Η ανθεκτικότητα και η μακροχρόνια διάρκεια ζωής τους, χαρακτηριστικά που τα καθιστούν ιδιαίτερα χρήσιμα στη βιομηχανία, είναι ακριβώς οι παράγοντες που τα καθιστούν δύσκολα διαχειρίσιμα στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Ως αποτέλεσμα, τεράστιες ποσότητες πλαστικών απορριμμάτων συσσωρεύονται στο περιβάλλον, συμβάλλοντας στη ρύπανση των θαλάσσιων και χερσαίων οικοσυστημάτων επηρεάζοντας τη βιοποικιλότητα και, τελικά, θέτοντας σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία (Ali, 2023) .

Για την καλύτερη κατανόηση της σημερινής διάστασης του προβλήματος κρίνεται απαραίτητη , μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση της εμφάνισης και εξέλιξης των πλαστικών. Η πρώτη ανακάλυψη συνθετικού πλαστικού πραγματοποιήθηκε το 1869 από τον Αμερικανό εφευρέτη και βιομήχανο John Wesley Hyatt, γεγονός που αποτέλεσε ορόσημο για τη βιομηχανία υλικών και έθεσε τα θεμέλια για την ευρεία χρήση των πολυμερών στις επόμενες δεκαετίες. Το 1863, ο John Wesley Hyatt εκδήλωσε ενδιαφέρον να συμμετάσχει σε μια διαδικασία για την ανάπτυξη ενός υποκατάστατου των μπαλών μπιλιάρδου, στο πλαίσιο διαγωνισμού που είχε προκηρυχθεί από μια εταιρεία μπιλιάρδου στη Νέα Υόρκη, προσφέροντας ως ανταμοιβή το ποσό των 10.000 δολαρίων. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ο Hyatt πειραματίστηκε με διάφορες συνθέσεις χωρίς ωστόσο να επιτύχει αρχικά την παραγωγή μιας ικανοποιητικής μπάλα μπιλιάρδου. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων του, παρατήρησε ότι η ανάμιξη νιτροκυτταρίνης (nitrocellulose), καμφοράς (camphor) και αλκοόλης οδηγούσε στη δημιουργία ενός στερεού διαλύματος με υφή ζύμης. Εφαρμόζοντας πίεση και θερμότητα, το υλικό αυτό μπορούσε να διαμορφωθεί σε ποικίλες μορφές, θέτοντας τα θεμέλια για την ανάπτυξη του πρώτου συνθετικού πλαστικού. Έτσι το 1870 ο Hyatt και ο αδερφός του απέκτησαν το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τους για το συγκεκριμένο υλικό, καταχωρίζοντας του την εμπορική ονομασία Celluloid. Συγκεκριμένα η Celluloid είναι ένα σκληρό και ελαστικό υλικό όπου φέρει αντίσταση στο νερό, στα έλαια και στα αραιά οξέα. Επίσης είναι ένα προϊόν οπού έχει χαμηλό κόστος παραγωγής. Η Celluloid έγινε πολύ διαδεδομένη σαν υλικό και χρησιμοποιήθηκε σε προϊόντα όπως τα φωτογραφικά φιλμ, στην βιομηχανία των ρούχων, σε μουσικά όργανα ακόμα και σε σκελετούς γυαλιών. Ωστόσο, λόγω ορισμένων

σημαντικών μειονεκτημάτων, όπως η τάση του να μαλακώνει σε υψηλές θερμοκρασίες, το υλικό αυτό άρχισε σταδιακά να αντικαθίσταται από πιο ανθεκτικά και ευέλικτα υλικά, όπως η οξική κυτταρίνη (cellulose acetate), ο βακελίτης (bakelite), οπού θα αναλύσουμε παρακάτω και τα νέα πολυμερή βινιλίου (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 1998).

Στη συνέχεια, το 1907, ο Leo Baekeland, διακεκριμένος βιομηχανικός χημικός, ανέπτυξε τον βακελίτη, το πρώτο θερμοσκληρυνόμενο πλήρως συνθετικό πολυμερές, το οποίο παρασκευάστηκε χωρίς τη συμμετοχή μορίων φυσικής προέλευσης, σηματοδοτώντας μια νέα εποχή στη βιομηχανία των πλαστικών. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία ο βακελίτης ή αλλιώς φαινολοφορμαλδεΐδη εκτός από καλό μονωτικό υλικό είναι και ένα υλικό ανθεκτικό στην θερμότητα, έτσι καθίσταται ένα υλικό όπου μπορεί να προοριστεί για διάφορες χρήσεις στην αγορά, καθώς μπορεί να διαμορφωθεί σε οτιδήποτε. Το συγκεκριμένο υλικό, όπως ειδή έχει ειπωθεί λόγω της σκληρότητας του αντικατέστησε πολλά υλικά όπως το shellac και το σκληρό καουτσούκ σε διάφορα εξαρτήματα στην βιομηχανία και συγκεκριμένα σε συσκευές ηλεκτρικής χρήσης (Science History Institute, n.d.) (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 1998). Ο βακελίτης αποτέλεσε μία καθοριστική εφεύρεση, καθώς άνοιξε το δρόμο για την ανάπτυξη νέων πολυμερών, όπως το πολυστυρένιο, το χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC), το πολυαιθυλένιο και το νάιλον. Η εφεύρεση του βακελίτη όχι μόνο αναμόρφωσε τη βιομηχανία υλικών αλλά δημιούργησε και μια νέα εποχή στην παραγωγή και χρήση πλαστικών. Η καινοτομία αυτή έθεσε τα θεμέλια για την εξέλιξη σύγχρονων πολυμερών, επηρεάζοντας σημαντικά την ανάπτυξη της βιομηχανίας και την καθημερινή ζωή, ιδίως σε περιόδους έντονων κοινωνικών και οικονομικών αναγκών, όπως αυτή του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου.

Η μαζική παραγωγή πλαστικών γνώρισε κορύφωση κατά τη διάρκεια του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου, κατά τον οποίο η παραγωγή σχεδόν τριπλασιάστηκε. Η αύξηση αυτή οφειλόταν στην έντονη ζήτηση για ανθεκτικά, φθηνά και ταχύτατα παραγόμενα υλικά, απαραίτητα για τις πολεμικές ανάγκες. Ανάμεσα στα προϊόντα που κατασκευάστηκαν περιλαμβάνονταν κάλτσες από νάιλον, εξαρτήματα αεροσκαφών, σφαίρες και σκοινιά. Επιπλέον, ορισμένα είδη πλαστικών χρησιμοποιήθηκαν για θερμομόνωση και απορρόφηση κραδασμών σε οχήματα, καθώς και για υδατοαπωθητικές

επικαλύψεις σε χειροβομβίδες και στολές. Ιδιαίτερα στις Ηνωμένες Πολιτείες, κατά τη διάρκεια του πολέμου, επενδύθηκε το ποσό του ενός δισεκατομμυρίου δολαρίων σε ιδιωτικές εταιρείες παραγωγής πλαστικών, με στόχο την περαιτέρω αύξηση της παραγωγής, η οποία εν τέλει σημείωσε άνοδο κατά 300% (Science History Institute, n.d.).

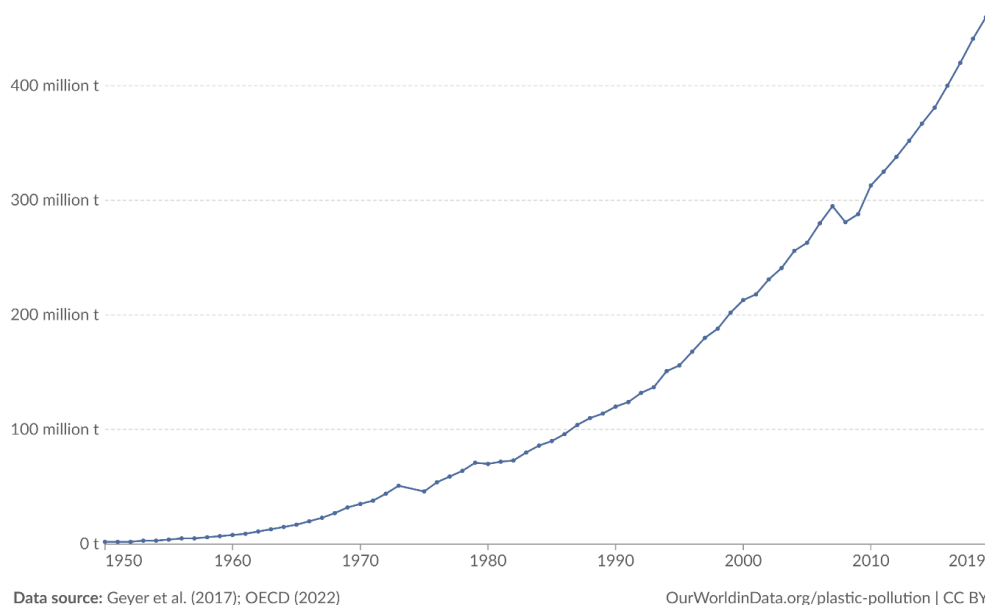
Η σημαντική αύξηση της παραγωγής πλαστικών, δημιούργησε ένα παγκόσμιο φαινόμενο που συνεχίζει να εξελίσσεται επηρεάζοντας τόσο την οικονομία όσο και το περιβάλλον. Στη συνέχεια της εργασίας θα εξεταστούν οι λόγοι που οδήγησαν στη μαζική παραγωγή πλαστικών, οι βασικές κατηγορίες τους, καθώς και οι περιβαλλοντικές προκλήσεις που δημιουργούνται από τη χρήση και τη διάθεσή τους. Για να επιτευχθεί αυτό, είναι απαραίτητο να εξεταστούν οι κύριες φάσεις της παραγωγής πλαστικών, οι τεχνολογικές και κοινωνικοοικονομικές συνθήκες που τις καθόρισαν, καθώς και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και την κοινωνία. Μέσα από αυτή τη θεώρηση, αναδεικνύεται η ανάγκη για συνδυασμένες δράσεις σε επίπεδο πολιτικής, βιομηχανίας και ατομικής συμπεριφοράς, ώστε να μειωθεί η εξάρτηση από τα πλαστικά και να διασφαλιστεί μια πιο βιώσιμη πορεία στο μέλλον.

## **1.2 Η σημασία και η χρησιμότητα των πλαστικών υλικών**

Μετά το πέρας του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου, η παραγωγή πλαστικών σημείωσε σημαντική άνοδο σε παγκόσμιο επίπεδο τάση η οποία διατηρήθηκε και ενισχύθηκε τις επόμενες δεκαετίες. Η ανάπτυξη αυτή οφειλόταν τόσο στις τεχνολογικές καινοτομίες όσο και στην αυξανόμενη ζήτηση για υλικά υψηλής αντοχής, ευελιξίας και χαμηλού κόστους. Στοιχεία παγκόσμιας στατιστικής καταγραφής αποτυπώνουν αυτή την εκρηκτική αύξηση: το 1950 η παγκόσμια παραγωγή πλαστικών ανέρχονταν σε περίπου 2 εκατομμύρια τόνους, ενώ το 2019 η παραγωγή έφτασε τα 459,75 εκατομμύρια τόνους καταδεικνύοντας, την τεράστια επέκταση της χρήσης των πλαστικών σε κάθε τομέα της καθημερινής και βιομηχανικής ζωής (Ritchie, 2023).

## Global plastics production

Annual production of polymer resin and fibers.



Εικόνα 1

["https://ourworldindata.org/grapher/global-plastics-production"](https://ourworldindata.org/grapher/global-plastics-production)

Η κατανόηση των παραπάνω παραγόντων καθιστά αναγκαία μια ιστορική αναδρομή, στην εξέλιξη των πλαστικών προκειμένου να ερμηνευτεί ο τρόπος με τον οποίο η χρήση τους εξαπλώθηκε τόσο γρήγορα και εκτεταμένα. Η ιστορία αυτή αποκαλύπτει τόσο τις τεχνολογικές καινοτομίες όσο και τις κοινωνικοοικονομικές συνθήκες που διαμόρφωσαν την καθιέρωση των πλαστικών ως ουσιώδες υλικό της σύγχρονης εποχής. Το κρίσιμο ερώτημα που ανακύπτει είναι το εξής, ποιοι παράγοντες οδηγούν στη διαρκή και ραγδαία αύξηση της παραγωγής πλαστικών και γιατί τα υλικά αυτά θεωρούνται τόσο απαραίτητα στη σύγχρονη κοινωνία; Η απάντηση εδράζεται σε ένα σύνολο κοινωνικοοικονομικών και τεχνολογικών παραμέτρων, με κυριότερους την αστικοποίηση, την οικονομική ανάπτυξη και την αύξηση του πληθυσμού. Οι συνθήκες αυτές, σε συνδυασμό με την ευελιξία, την ανθεκτικότητα και το χαμηλό κόστος παραγωγής των πλαστικών, συνέβαλαν καθοριστικά τόσο στην ενίσχυση της παραγωγής τους όσο και στη διεύρυνση του φάσματος των εφαρμογών τους σε ποικίλους τομείς (P.G.C. Nayanathara Thathsarani Pilapitiya, 2024).

Τα πλαστικά, ως υλικά, παρουσιάζουν ένα σύνολο ιδιοτήτων που έχουν καθοριστική συμβολή στην ευρεία διάδοσή τους. Συγκεκριμένα, χαρακτηρίζονται από χαμηλή πυκνότητα, υψηλή σκληρότητα και αντοχή, ικανοποιητική ακαμψία, ευελιξία στον σχεδιασμό και στην κατασκευή, καθώς και εξαιρετικές μονωτικές ικανότητες. Επιπλέον, η κακή αγωγιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας, η ανθεκτικότητα στη διάβρωση και η οικονομία στην παραγωγή καθιστούν τα πλαστικά ιδιαίτερα ελκυστικά για ποικίλες εφαρμογές. Οι εν λόγω, ιδιότητες συνέβαλαν στην καθιέρωση των πλαστικών ως θεμελιώδους υλικού της σύγχρονης εποχής ενισχύοντας παράλληλα την ποιότητα ζωής. Η εκτεταμένη χρήση τους ενισχύθηκε ακόμη περισσότερο κατά τη διάρκεια του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου, όπως είδη αναφέρθηκε με την εισαγωγή του νάιλον μια καινοτόμο εφαρμογή που υπογράμμισε περαιτέρω τη σημασία και τις δυνατότητες των πλαστικών (Mikaël Kedzierski, 2020). Επιπλέον, κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, ορισμένα παραδοσιακά υλικά όπως ο πηλός, το γυαλί και το ξύλο, που χρησιμοποιούνταν ευρέως για την κατασκευή διαφόρων προϊόντων, αντικαταστάθηκαν σε μεγάλο βαθμό από τα πλαστικά. Η αντικατάσταση αυτή οφείλεται τόσο στις ιδιαίτερες φυσικοχημικές ιδιότητες των πλαστικών όσο και στην περιορισμένη διαθεσιμότητα των παραδοσιακών υλικών. Συγκεκριμένα, από τη δεκαετία του 1950 και εξής, οι συσκευασίες και τα δοχεία τροφίμων που προηγουμένως κατασκευάζονταν από τα προαναφερθέντα υλικά άρχισαν να παράγονται από πλαστικά, προσφέροντας σημαντικά πλεονεκτήματα στη συντήρηση και προστασία των τροφίμων. Έτσι, η ραγδαία αύξηση της χρήσης των πλαστικών μπορεί να αποδοθεί σε τρεις βασικούς παράγοντες: στις ιδιαίτερες ιδιότητες των πλαστικών, στην αύξηση του πληθυσμού και στην εντατική αστικοποίηση, η οποία διευκόλυνε την πρόσβαση στην καταναλωτική κοινωνία (P.G.C. Nayanathara Thathsarani Pilapitiya, 2024).

### **1.3 Η πλαστική ρύπανση**

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το πρόβλημα της παραγωγής απορριμμάτων αποτελεί μια διαχρονική πηγή ανησυχίας, η οποία υπήρχε ήδη από την προϊστορική εποχή. Ωστόσο, στις παλιές εποχές, τα απόβλητα θεωρούνταν κυρίως ως μια μορφή όχλησης και όχι ως σοβαρό περιβαλλοντικό ζήτημα. Η διαχείριση των απορριμμάτων είχε

περιορισμένη σημασία, δεδομένου ότι οι ανθρώπινες κοινωνίες ήταν μικρές και η διαθέσιμη έκταση γης για διάθεση απορριμμάτων ήταν σχετικά μεγάλη σε σχέση με τις ανάγκες. Στη σύγχρονη εποχή, η κατάσταση έχει διαφοροποιηθεί δραστικά. Η ραγδαία αύξηση της χρήσης πλαστικών, σε συνδυασμό με την εκθετική αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και την εντατική αστικοποίηση, έχει οδηγήσει σε μια ανεξέλεγκτη κατάσταση απόρριψης πλαστικών αποβλήτων. Αυτή η εξέλιξη έχει μετατρέψει τα πλαστικά από ένα πρακτικό και χρήσιμο υλικό σε μια από τις κύριες περιβαλλοντικές προκλήσεις του 21<sup>ου</sup> αιώνα, θέτοντας επιτακτικά την ανάγκη ανάπτυξης αποτελεσματικών μεθόδων διαχείρισης και απορρύπανσης (Baird, 2016).

Παρά τα αναμφισβήτητα πλεονεκτήματά του, το πλαστικό αποτελεί ένα υλικό με σημαντικές αρνητικές συνέπειες. Η εκθετική αύξηση της παραγωγής και χρήσης του έχει δημιουργήσει και εξακολουθεί να δημιουργεί σοβαρές περιβαλλοντικές προκλήσεις. Ένα από τα πλέον κρίσιμα ζητήματα σχετίζεται με τον χρόνο διάσπασης του υλικού, ο οποίος, ανάλογα με τον τύπο του πλαστικού, μπορεί να κυμαίνεται από 100 έως και 1.000 έτη. Ως αποτέλεσμα, τα πρώτα πλαστικά που κατασκευάστηκαν ενδέχεται να παραμένουν αδιάσπαστα στο περιβάλλον έως και σήμερα, υπογραμμίζοντας τη μακροχρόνια περιβαλλοντική επιβάρυνση που συνεπάγεται η χρήση τους (P.G.C. Nayanathara Thathsarani Pilaritiya, 2024). Ένας ακόμη καθοριστικός παράγοντας που συμβάλλει στη διάδοση της πλαστικής ρύπανσης είναι η διαχείριση των αποβλήτων. Καθ' όλη τη διάρκεια των ετών έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι με στόχο τη μείωση του όγκου των πλαστικών στον πλανήτη, με την ανακύκλωση να αποτελεί την πλέον διαδεδομένη πρακτική. Ωστόσο, σύμφωνα με στοιχεία των Ηνωμένων Εθνών, από τους περίπου 7 δισεκατομμύρια τόνους πλαστικών αποβλήτων που έχουν παραχθεί παγκοσμίως μέχρι σήμερα, λιγότερο από το 10% έχει υποβληθεί σε ανακύκλωση. Ως εκ τούτου, περίπου 7 δισεκατομμύρια τόνοι πλαστικών υλικών έχουν απορριφθεί στο περιβάλλον επιφέροντας σοβαρές μορφές ρύπανσης, τόσο στα θαλάσσια όσο και στα χερσαία οικοσυστήματα (United Nations). Η ανεξέλεγκτη παρουσία πλαστικών στο περιβάλλον επιφέρει σοβαρές και πολυδιάστατες συνέπειες. Τα περισσότερα πλαστικά δεν υφίστανται πλήρη αποικοδόμηση αλλά διασπώνται σε, μικροπλαστικά και πιθανόν νανοπλαστικά. Τα σωματίδια αυτά εισέρχονται στα οικοσυστήματα, επηρεάζοντας αρνητικά τόσο την άγρια ζωή και τους θαλάσσιους οργανισμούς όσο και την ανθρώπινη υγεία, ενώ παράλληλα

προκαλούν σημαντικές οικονομικές ζημιές. Έχουν καταγραφεί περιπτώσεις κατά τις οποίες μικροπλαστικά έχουν βρεθεί στο στομάχι γαιοσκώληκων, πτηνών, χελωνών, δελφινιών και φαλαινών. Τα μικρότερα σωματίδια εισέρχονται ακόμη και σε οργανισμούς που βρίσκονται στη βάση τροφικών αλυσίδων, υποδηλώνοντας τη διασπορά τους σε όλα τα επίπεδα των οικοσυστημάτων. Ένα πρόσφατο παράδειγμα αποτελεί το είδος *Eurythenes plasticus*, ένα αμφιπόδο που εντοπίστηκε σε βάθος 6.900 μέτρων, το οποίο περιείχε πλαστικά στο πεπτικό του σύστημα, γεγονός που καταδεικνύει την εκτεταμένη και διαχρονική ανθρώπινη ρύπανση. Το μέγεθος του προβλήματος είναι τέτοιο που, σύμφωνα με επιστημονικές εκτιμήσεις, έως το έτος 2035 η ποσότητα των πλαστικών απορριμμάτων στους ωκεανούς αναμένεται να πλησιάσει σε μάζα αυτή των ψαριών που ζουν σε αυτούς. (Horton, 2022). (P.G.C. Nayanathara Thathsarani Pilapitiya, 2024).

Δεδομένης της κλίμακας του προβλήματος που προκαλεί η συσσώρευση πλαστικών στο περιβάλλον, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι διαχείρισης προκειμένου να περιοριστούν οι αρνητικές τους επιπτώσεις. Ωστόσο, καμία από αυτές τις προσεγγίσεις δεν μπορεί να προσφέρει οριστική λύση καθώς συχνά δημιουργούν νέες προκλήσεις ή μεταφέρουν το πρόβλημα σε διαφορετική μορφή. Υπάρχουν τρεις κύριες μέθοδοι διαχείρισης πλαστικών αποβλήτων, η ανακύκλωση, η ανάκτηση ενέργειας και η υγειονομική ταφή. Παρότι αυτές οι μέθοδοι συμβάλλουν στη μείωση του όγκου των πλαστικών απορριμμάτων, εντούτοις φέρουν περιβαλλοντικές προκλήσεις. Συγκεκριμένα η ανακύκλωση και η ανάκτηση ενέργειας συνοδεύονται από εκπομπές βλαβερών αερίων, ενώ η υγειονομική ταφή δύναται να προκαλέσει περαιτέρω περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η μόλυνση του εδάφους και των υδάτων (Fu Gu, 2017).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα πλαστικά απόβλητα αποτελούν παγκόσμιο ζήτημα, καθώς αποδομούνται με εξαιρετικά αργούς ρυθμούς στο φυσικό περιβάλλον. Παρά τις διάφορες προσπάθειες περιορισμού τους μέσω τεχνικών διαχείρισης, οι περισσότερες δεν είναι πλήρως φιλικές προς το περιβάλλον. Επιπλέον, πολλές αναπτυσσόμενες χώρες στερούνται προηγμένων τεχνολογιών, κατάλληλων υποδομών και αποτελεσματικού θεσμικού πλαισίου για την παραγωγή και τη διαχείριση των πλαστικών αποβλήτων. Ως αποτέλεσμα, αν και με την πάροδο του χρόνου έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί διαφορετικές μέθοδοι για τη μείωση του όγκου των πλαστικών, μέχρι σήμερα δεν έχει

επιτευχθεί μια οριστική και απόλυτα βιώσιμη λύση (P.G.C. Nayanathara Thathsarani Pilaritiya, 2024).

Στο παρελθόν, οι κοινωνίες δεν είχαν επίγνωση των σημερινών συνεπειών που θα μπορούσε να προκαλέσει η ανεξέλεγκτη απόρριψη πλαστικών, ούτε διέθεταν τις αρχές και τις τεχνολογίες διαχείρισης αποβλήτων που υπάρχουν σήμερα. Έτσι, τα απορρίμματα πετάγονταν ανεξέλεγκτα, χωρίς καμία ανησυχία για τη σύνθεση τους ή για τις πιθανές μακροπρόθεσμες επιπτώσεις τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίοδος του 13<sup>ου</sup> έως και του 15<sup>ου</sup> αιώνα όταν η διαχείριση των απορριμμάτων περιοριζόταν στη συλλογή τους από τα σπίτια και την απόρριψή τους σε κοιλάδες ή ποταμούς. Για εκείνη την εποχή, αυτή η πρακτική θεωρούνταν επαρκής λύση για τη μείωση της συσσώρευσης απορριμμάτων μέσα στις πόλεις και τα χωριά, κάτι που βεβαίως δεν μπορεί να ισχύει σήμερα. Ωστόσο, παρά την τεράστια πρόοδο που έχει συντελεστεί στον τομέα της περιβαλλοντικής διαχείρισης, ακόμη και στη σύγχρονη εποχή παρατηρούνται φαινόμενα ανεξέλεγκτης διάθεσης αποβλήτων. Σύμφωνα με κάποιες γαλλικές αναφορές, αυτού του είδους η κακοδιαχείριση παραμένει σταθερή ή και παρουσιάζει αύξηση τα τελευταία δέκα χρόνια. Ενδεικτικά απορρίμματα συσκευασίας εντοπίζονται συχνά κατά μήκος των δρόμων ή ακόμη και δίπλα σε κάδους απορριμμάτων. Σήμερα παρά τη γνώση που υπάρχει για τη σοβαρότητα του ζητήματος, εξακολουθούν να παρατηρούνται τέτοια φαινόμενα. Παρόλα αυτά λόγω της αυξημένης ευαισθητοποίησης και της σοβαρότητας του προβλήματος, σε πολλές χώρες υπάρχει πλέον εμπλοκή τόσο της αστυνομίας όσο και του δικαστικού συστήματος για την επιβολή αυστηρότερων μέτρων. Η έλλειψη επαρκούς γνώσης και ευαισθητοποίησης αναδεικνύεται ως ένας από τους βασικούς παράγοντες που συμβάλλουν στη συνεχιζόμενη ανεπαρκή διαχείριση απορριμμάτων. Παρά τις νομοθετικές πρωτοβουλίες και τις προσπάθειες επιβολής κυρώσεων για την προώθηση βέλτιστων πρακτικών, η εφαρμογή τους παραμένει περιορισμένη, ιδίως σε πολλές ευρωπαϊκές πόλεις. Στην περίπτωση των πλαστικών αποβλήτων, έρευνες έχουν δείξει ότι οι δράσεις ευαισθητοποίησης για την πλαστική ρύπανση, σε συνδυασμό με την κατανόηση και αναγνώριση των ανθρωπογενών συμπεριφορών που επιφέρουν αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, μπορούν να αποτελέσουν κρίσιμους παράγοντες για την προώθηση ουσιαστικών αλλαγών στη διαχείριση και τη μείωση των αποβλήτων.

Έχει διαπιστωθεί ότι η έλλειψη γνώσεων και περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης αποτελεί έναν από τους βασικούς λόγους για τη διατήρηση αυτής της προβληματικής πρακτικής μέχρι και σήμερα. Σε αρκετές περιπτώσεις έχουν επιβληθεί κυρώσεις με στόχο την ενίσχυση υπεύθυνων συμπεριφορών στη διαχείριση απορριμμάτων από τους πολίτες. Ωστόσο παρά την ύπαρξη νομοθετικού πλαισίου για τα απόβλητα, στις περισσότερες ευρωπαϊκές πόλεις οι ποινές για τους παραβάτες σπάνια εφαρμόζονται στην πράξη. Ειδικότερα για τα πλαστικά απορρίμματα, έχει αποδειχθεί ότι δράσεις ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης γύρω από το ζήτημα της πλαστικής ρύπανσης, σε συνδυασμό με την ανάδειξη των ανθρώπινων συμπεριφορών που επιβαρύνουν το περιβάλλον, μπορούν να λειτουργήσουν ως καταλύτες για την προώθηση θετικών αλλαγών στη συμπεριφορά των πολιτών.

Κλείνοντας, γίνεται σαφές ότι η εκτεταμένη χρήση πλαστικών, σε συνδυασμό με την ελλιπή διαχείριση αποβλήτων και τα χαμηλά ποσοστά ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης, έχει οδηγήσει στη δημιουργία ενός σοβαρού προβλήματος πλαστικής ρύπανσης. Στην περίπτωση των πλαστικών απορριμμάτων, οι σχετικοί κίνδυνοι είναι σχετικά νέοι, συχνά άγνωστοι στο ευρύ κοινό, ενώ οι συνέπειές τους δεν είναι άμεσα αντιληπτές στην καθημερινή ζωή. Έρευνες σχετικά με τον αντίκτυπο των πλαστικών και μικροπλαστικών δείχνουν ότι οι επιπτώσεις στον άνθρωπο είναι κατά κύριο λόγο έμμεσες και επομένως, δύσκολα αναγνωρίσιμες σε ατομικό επίπεδο. Η υποτίμηση των κοινωνικών και περιβαλλοντικών συνεπειών της ανεξέλεγκτης διάθεσης πλαστικών αποβλήτων εξηγεί σε μεγάλο βαθμό τη συνεχιζόμενη κακή διαχείρισή τους. Συχνά, η απόρριψη πλαστικού στο φυσικό περιβάλλον αντιμετωπίζεται ως μια πράξη με «αβλαβείς» συνέπειες, γεγονός που ενισχύει το πρόβλημα. Ωστόσο, η αντίληψη της πλαστικής ρύπανσης μπορεί να λειτουργήσει ως θετικός παράγοντας αλλαγής στη συμπεριφορά μας απέναντι στη διαχείριση των απορριμμάτων. Συνεπώς, είναι απαραίτητο να επιτευχθεί μια ισορροπία ανάμεσα στο αντιληπτό επίπεδο ρύπανσης και στις πρακτικές διαχείρισης που εφαρμόζονται. Η εις βάθος κατανόηση αυτών των μηχανισμών, μπορεί να αποτελέσει κλειδί για τον σχεδιασμό νέων στρατηγικών που θα συμβάλουν ουσιαστικά στην αντιμετώπιση της πλαστικής ρύπανσης (Mikaël Kedzierski, 2020).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Μικροπλαστικά και Περιβαλλοντική Ρύπανση - Επιπτώσεις και Στρατηγικές Αντιμετώπισης

#### 2.1 Τύποι πλαστικών, οι δυνατότητες αποδόμησης τους και η περιβαλλοντική επίδραση

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η πλαστική ρύπανση αποτελεί τη σημαντικότερη απειλή για την υγεία των ανθρώπων και τη βιοποικιλότητα, λόγω της αφθονίας των πλαστικών, της ανθεκτικότητάς τους και της ικανότητάς τους να παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα. Υπάρχουν αναφορές ότι στην επιστημονική κοινότητα διατίθενται πληροφορίες σχετικά με την αποδόμηση και τη μεταφορά των πλαστικών. Όμως παρά τις ήδη υπάρχουσες γνώσεις εξακολουθούν να υπάρχουν πολλά που δεν γνωρίζουμε. Λόγω της πολυπλοκότητας των πλαστικών, είναι δύσκολο να κατανοηθεί πλήρως η συμπεριφορά και η αποδόμησή τους. Σύμφωνα με το επιστημονικό άρθρο “The impacts of plastics” Τα πλαστικά, κατά τη χρήση και την απόρριψή τους, υφίστανται σταδιακή αποσύνθεση λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων (π.χ. έκθεση στον αέρα και τον ήλιο, που προκαλεί ευθραυστότητα, ρωγμές και κατακερματισμό). Η αποδόμηση των πολυμερών μπορεί να διαρκέσει από λίγες ημέρες έως και χιλιάδες χρόνια, ανάλογα με τις συνθήκες έκθεσης. Αυτό το χρονικό εύρος καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, όπως οι φυσικοχημικές ιδιότητες του πολυμερούς, η μηχανική φθορά, η έκθεση στο ηλιακό φως, η θερμότητα, το νερό και η βιολογική κατανάλωση. Η διαδικασία της περιβαλλοντικής αποσάθρωσης των πολυμερών οδηγεί στην απελευθέρωση θραυσμάτων, μικροπλαστικών, νανοπλαστικών και χημικών ουσιών που συνδέονται με τα πολυμερή. Τη δεκαετία του 1960 τα πλαστικά εντοπίστηκαν για πρώτη φορά στο περιβάλλον, όταν επιστήμονες της Υπηρεσίας Αλιείας και Άγριας Ζωής των ΗΠΑ παρατήρησαν ότι τα πουλιά αλληλεπιδρούσαν με τα πλαστικά και επηρεάζονταν από την παρουσία τους στο

περιβάλλον. Κάποιες από αυτές τις αλληλεπιδράσεις περιλαμβάνουν την κατάποση πλαστικών και τον εγκλωβισμό τους σε αυτά.

Έχει παρατηρηθεί ότι τα πλαστικά στο περιβάλλον καταναλώνονται από 1.288 θαλάσσια είδη και 277 χερσαία και γλυκού νερού. Οι επιπτώσεις της αλληλεπίδρασης της άγριας ζωής με τα πλαστικά περιλαμβάνουν διατροφική αραίωση, περιορισμένη κινητικότητα, στραγγαλισμό, εκτόπιση από το φυσικό τους περιβάλλον και τοξικότητα για τους οργανισμούς. Ορισμένα από αυτά τα προβλήματα, μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση της αναπαραγωγής των ειδών ή ακόμα και σε θανάτους σε έναν πληθυσμό γεγονός που μπορεί να προκαλέσει αλυσιδωτές επιπτώσεις σε ολόκληρο το τροφικό πλέγμα και τη βιοποικιλότητα. Αυτές οι απώλειες στους διαθέσιμους θαλάσσιους πόρους, μπορούν να επηρεάσουν πάνω από το 10% του παγκόσμιου πληθυσμού που εξαρτάται από την αλιεία για το εισόδημά του. Πιο αναλυτικά, τα μικροπλαστικά έχουν μέγεθος μικρότερο από 5 mm και είτε παράγονται σκόπιμα σε αυτές τις διαστάσεις (π.χ. πλαστικά σφαιρίδια παραγωγής, γκλίτερ) είτε προέρχονται από τον κατακερματισμό μεγαλύτερων τεμαχίων μακροπλαστικών. Τα μικροπλαστικά έχουν προσελκύσει έντονο ερευνητικό και δημοσιογραφικό ενδιαφέρον, καθώς μπορούν να διασκορπιστούν εύκολα τόσο παγκοσμίως μέσω του περιβάλλοντος όσο και τοπικά μέσα σε οργανισμούς, ζώα και το ανθρώπινο σώμα. Τα νανοπλαστικά είναι παρόμοια με τα μικροπλαστικά, αλλά έχουν μέγεθος μικρότερο από 1 μm, γεγονός που τους επιτρέπει να μετακινούνται ακόμα πιο εύκολα στο περιβάλλον και να διεισδύουν σε βιολογικούς ιστούς. Εκτιμάται ότι τρισεκατομμύρια μικροπλαστικά βρίσκονται στην επιφάνεια των ωκεανών, ενώ πάνω από χίλιοι τόνοι μικροπλαστικών εναποτίθενται ετησίως στις δυτικές εθνικές πάρκα των ΗΠΑ μέσω της ατμόσφαιρας. Η πλειονότητα των μικροπλαστικών που ανιχνεύονται στο περιβάλλον είναι μικροΐνες που προέρχονται από κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, όπως ρούχα, έπιπλα και χαλιά. Η εκτεταμένη παρουσία μικροπλαστικών στο περιβάλλον καταδεικνύει ότι αποτελούν πλέον ένα παγκόσμιο και πολυδιάστατο ζήτημα, καθώς δεν περιορίζονται σε συγκεκριμένα οικοσυστήματα, αλλά ανιχνεύονται σε εδάφη, ύδατα, αέρα και τελικά στους ίδιους τους οργανισμούς. Η διάχυσή τους σε τόσους διαφορετικούς τομείς της βιόσφαιρας υπογραμμίζει την ανάγκη περαιτέρω ερευνητικής διερεύνησης, όχι μόνο για την κατανόηση των μηχανισμών μέσω των οποίων εισέρχονται και συσσωρεύονται στο περιβάλλον, αλλά και για την αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεων στη

βιοποικιλότητα και στην ανθρώπινη υγεία (Brahney, 2020) ((EEA), 2020) (Evangeliou, 2022).

### **Κατηγορίες πλαστικών:**

Γενικά, τα πλαστικά κατηγοριοποιούνται βάσει ορισμένων θεμελιωδών χαρακτηριστικών τα οποία διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο τόσο στη διαδικασία παραγωγής όσο και στον σχεδιασμό προϊόντων και την τελική τους χρήση. Η ταξινόμηση αυτή, δεν περιορίζεται μόνο σε χημικούς ή φυσικούς παράγοντες αλλά επεκτείνεται και στις εφαρμογές, την ανθεκτικότητα, την ανακυκλωσιμότητα και τον περιβαλλοντικό τους αντίκτυπο. Μία από τις βασικότερες και πλέον αναγνωρισμένες ταξινομήσεις είναι ο διαχωρισμός τους σε θερμοπλαστικά (thermoplastics) και θερμοσκληρυνόμενα (thermosets) πλαστικά. Τα δύο αυτά είδη παρουσιάζουν ουσιώδεις διαφορές στη χημική τους δομή, στη συμπεριφορά τους υπό θέρμανση και ψύξη, καθώς και στις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης ή ανακύκλωσης. Η κατανόηση της συγκεκριμένης κατηγοριοποίησης είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι, συνδέεται άμεσα με το πώς τα πλαστικά υλικά εντάσσονται σε διαφορετικούς βιομηχανικούς κλάδους, από την κατασκευή συσκευασιών και ηλεκτρονικών συσκευών μέχρι την αυτοκινητοβιομηχανία και την ιατρική τεχνολογία. Παράλληλα, η διάκριση θερμοπλαστικών και θερμοσκληρυνόμενων συνδέεται άρρηκτα με ζητήματα κυκλικής οικονομίας και βιωσιμότητας, καθώς η δυνατότητα επεξεργασίας, ανακύκλωσης και μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος διαφοροποιείται σημαντικά ανάμεσα στις δύο κατηγορίες. Συνεπώς, η μελέτη τους δεν έχει μόνο θεωρητική σημασία αλλά αποτελεί και πρακτικό εργαλείο για τη χάραξη στρατηγικών πιο ορθολογικής και βιώσιμης διαχείρισης των πλαστικών αποβλήτων.

Τα θερμοπλαστικά αποτελούν την πιο διαδεδομένη κατηγορία πλαστικών γιατί, διαθέτουν την ικανότητα να θερμαίνονται και να λιώνουν υπό θέρμανση και να σκληραίνουν ξανά κατά την ψύξη. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό είναι πλήρως αναστρέψιμο, δίνοντας τη δυνατότητα επαναθέρμανσης, αναδιαμόρφωσης και επαναχρησιμοποίησης τους πολλές φορές χωρίς σημαντική απώλεια των μηχανικών τους ιδιοτήτων (Andrady, 2009). Αυτή η ιδιότητα τα καθιστά ιδιαίτερα ελκυστικά για εφαρμογές που απαιτούν ευελιξία στη διαδικασία παραγωγής, όπως η έγχυση σε καλούπια,

η εκτύπωση 3D και η κατασκευή συσκευασιών. Ενδεικτικά, στα θερμοπλαστικά περιλαμβάνονται υλικά όπως το πολυαιθυλένιο (PE), το πολυπροπυλένιο (PP), το πολυστυρένιο (PS), το διογκωμένο πολυστυρένιο (EPS), το πολυαιθυλένιο τερεφθαλικού εστέρα (PET), το πολυανθρακικό (PC) και το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) (Hopewell, 2009). Κάθε ένα από αυτά διαθέτει συγκεκριμένες ιδιότητες που το καθιστούν κατάλληλο για διαφορετικές χρήσεις, το PE και το PP είναι γνωστά για την αντοχή τους σε χημικά και την ευελιξία στη μορφοποίηση ενώ το PS και το EPS για τις μονωτικές τους ιδιότητες, το PET για την ανθεκτικότητα και τη διαφάνειά του, ενώ το PC ξεχωρίζει για την υψηλή αντοχή και διαφάνειά του καθιστώντας το κατάλληλο για εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων. Η ευρεία εφαρμογή των θερμοπλαστικών οφείλεται, σε συνδυασμό παραγόντων όπως το χαμηλό βάρος, η αντοχή σε χημικές ουσίες, η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης και η προσαρμοστικότητα σε διάφορες τεχνικές μορφοποίησης. Όμως, η διάδοση αυτή συνεπάγεται και περιβαλλοντικές προκλήσεις καθώς, η μεγάλη παραγωγή και χρήση τους οδηγεί σε σημαντικά απόβλητα, τα οποία, χωρίς κατάλληλη διαχείριση και ανακύκλωση, συμβάλλουν στην αύξηση της πλαστικής ρύπανσης και των μικροπλαστικών στο περιβάλλον (Geyer R. J., 2017).

Αντίθετα, τα θερμοσκληρυνόμενα πλαστικά υφίστανται μία μη αναστρέψιμη χημική μεταβολή κατά τη θέρμανσή τους, η οποία οδηγεί στη δημιουργία ενός τρισδιάστατου δικτύου δεσμών μεταξύ των μορίων τους. Αυτή η διαδικασία, γνωστή και ως «σκλήρυνση» ή «θερμοσκληρυντική πολυμερισμός», καθιστά τα υλικά αυτά σταθερά σε υψηλές θερμοκρασίες και ανθεκτικά σε χημικές και μηχανικές καταπονήσεις (Shen L. W., 2020). Ως αποτέλεσμα, δεν μπορούν να λιώσουν ξανά ούτε να αναδιαμορφωθούν γεγονός που περιορίζει σημαντικά τη δυνατότητα ανακύκλωσής τους μέσω συμβατικών μεθόδων. Στα πιο γνωστά θερμοσκληρυνόμενα υλικά συγκαταλέγονται η μελαμίνη, οι εποξικές ρητίνες και οι φαινολικές ρητίνες, τα οποία βρίσκουν ευρεία εφαρμογή σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας. Η μελαμίνη χρησιμοποιείται συχνά σε επιφάνειες και υλικά κατασκευής επίπλων λόγω της υψηλής αντοχής της σε φθορά και θερμότητα. Οι εποξικές ρητίνες εφαρμόζονται σε συγκολλητικά, επιστρώσεις και μονώσεις ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, καθώς παρέχουν εξαιρετική αντοχή και ηλεκτρική μόνωση. Οι φαινολικές ρητίνες χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ηλεκτρικών και μηχανικών εξαρτημάτων που απαιτούν υψηλή αντοχή σε θερμοκρασία και φθορά. Η δομή και οι

ιδιότητες των θερμοσκληρυνόμενων πλαστικών τα καθιστούν ιδανικά για εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων, όμως η δυσκολία ανακύκλωσής τους αποτελεί σημαντική περιβαλλοντική πρόκληση. Σε αντίθεση με τα θερμοπλαστικά, η μη αναστρέψιμη φύση τους σημαίνει ότι τα απόβλητα θερμοσκληρυνόμενων πλαστικών συνήθως καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής ή καύσης, συμβάλλοντας σε προβλήματα ρύπανσης και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών ανακύκλωσης για τα θερμοσκληρυνόμενα υλικά αποτελεί κρίσιμη προτεραιότητα για τη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης και την προώθηση της κυκλικής οικονομίας στον τομέα των πλαστικών (Ragaert, 2017).

Η σύγκριση των δύο κατηγοριών αναδεικνύει μια ουσιώδη διάκριση, ενώ τα θερμοπλαστικά παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευελιξία και ανακυκλωσιμότητα, τα θερμοσκληρυνόμενα αποτελούν υλικά δύσκολα στη διαχείριση μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους. Η διάκριση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας και της βιώσιμης ανάπτυξης, καθώς η αυξανόμενη χρήση θερμοσκληρυνόμενων υλικών εντείνει τις προκλήσεις που σχετίζονται με την περιβαλλοντική διαχείριση των αποβλήτων (Geyer R. J., 2017). Αυτό έχει σημαντικές συνέπειες για τη στρατηγική σχεδιασμού προϊόντων και τη διαχείριση πόρων σε βιομηχανικό επίπεδο. Οι παραγωγοί καλούνται να εξετάσουν όχι μόνο τις μηχανικές και θερμικές ιδιότητες των πλαστικών που χρησιμοποιούν αλλά, και τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης αυτών μετά το τέλος της ζωής τους. Στην πράξη, η προτίμηση θερμοπλαστικών σε σχέση με θερμοσκληρυνόμενα μπορεί να συνεισφέρει στη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, καθώς τα θερμοπλαστικά ενσωματώνονται ευκολότερα σε διαδικασίες ανακύκλωσης. Ταυτόχρονα, η ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών για την επεξεργασία και ανακύκλωση θερμοσκληρυνόμενων υλικών αποτελεί έναν κρίσιμο τομέα έρευνας και ανάπτυξης. Τέτοιες τεχνολογίες περιλαμβάνουν, μεθόδους χημικής ανακύκλωσης, αναδόμησης των πολυμερών και αξιοποίησης των υπολειμμάτων ως πρώτες ύλες για νέα προϊόντα. Η προώθηση τέτοιων λύσεων είναι απαραίτητη για την επίτευξη των στόχων της κυκλικής οικονομίας και τη διασφάλιση βιώσιμης χρήσης των πόρων στο μέλλον. (Policy Department for Citizens, 2020).

## 2.2 Μικροπλαστικά

Ο όρος «μικροπλαστικά» εισήχθη για πρώτη φορά το 2004, προκειμένου να περιγράψει εξαιρετικά μικρά πλαστικά σωματίδια που ανιχνεύθηκαν στο θαλάσσιο περιβάλλον, με ορισμένα από αυτά να έχουν διάμετρο μόλις 20  $\mu\text{m}$ . Έκτοτε, ο ορισμός του όρου έχει διευρυνθεί και τα μικροπλαστικά ορίζονται ως πλαστικά τεμάχια διαμέτρου μικρότερης των 5 mm. Στο θαλάσσιο περιβάλλον, τα μικροπλαστικά μπορούν να προέρχονται είτε από πρωτογενείς πηγές, όπως διαρροές από τη βιομηχανία ή η χρήση καλλυντικών προϊόντων που περιέχουν μικροσφαιρίδια με απολεπιστική δράση, είτε από δευτερογενείς πηγές, ως αποτέλεσμα της αποδόμησης μεγαλύτερων πλαστικών αντικειμένων μέσω θερμικών, φωτοχημικών και μηχανικών διεργασιών (Adil Bakir, 2012).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, τα μικροπλαστικά συνιστούν μία από τις σοβαρότερες περιβαλλοντικές προκλήσεις που σχετίζονται με την πλαστική ρύπανση, κυρίως λόγω του εξαιρετικά μικρού τους μεγέθους, το οποίο διευκολύνει τη διάχυσή τους σε κάθε περιβαλλοντικό διαμέρισμα. Στο παρόν κεφάλαιο, εξετάζονται οι λόγοι για τους οποίους τα μικροπλαστικά θεωρούνται ιδιαίτερα επιβλαβή τόσο για το φυσικό περιβάλλον όσο και για την ανθρώπινη υγεία. Πρόκειται για κομμάτια απορριμμάτων μικρότερα των 5 χιλιοστών σε μέγεθος τα οποία ποικίλλουν πολύ ως προς τις διαστάσεις, το χρώμα, το σχήμα, την πυκνότητα και τη χημική τους σύσταση. Αν και ορισμένα θραύσματα καταλήγουν σε παραλίες και ακτογραμμές, η πλειονότητα των μικροπλαστικών παραμένει ανοιχτά στη θάλασσα, προτού τελικά αποσυντεθούν, μια διαδικασία που μπορεί να διαρκέσει από 100 έως 1.000 χρόνια. Διακρίνουμε ανάμεσα στα πρωτογενή μικροπλαστικά, τα οποία εισάγονται άμεσα στο περιβάλλον με τη μορφή μικρών πλαστικών σωματιδίων (όπως οι μικροκόκκοι σε καλλυντικά, οι ίνες από υφάσματα, τα θραύσματα από ελαστικά οχημάτων κ.ά.) και στα δευτερογενή μικροπλαστικά, τα οποία προκύπτουν κυρίως από τη διάσπαση μεγαλύτερων κομματιών πλαστικών απορριμμάτων σε μικρότερα θραύσματα, όταν εκτίθενται στο θαλάσσιο περιβάλλον. Οι πλαστικές σακούλες μίας χρήσης είναι από τις μεγαλύτερες πηγές μικροπλαστικών, καθώς διασπώνται πολύ εύκολα υπό την επίδραση του ήλιου και του θαλασσινού νερού. Τα μικροπλαστικά προέρχονται από διάφορες πηγές,

συμπεριλαμβανομένων μεγαλύτερων πλαστικών απορριμμάτων που αποδομούνται σε όλο και μικρότερα κομμάτια. Επιπλέον, τα μικροσφαιρίδια, ένας τύπος μικροπλαστικών, είναι πολύ μικρά τεχνητά σωματίδια πολυαιθυλενίου που προστίθενται ως απολεπιστικοί παράγοντες σε προϊόντα περιποίησης και ομορφιάς, όπως ορισμένα καθαριστικά προσώπου και οδοντόκρεμες (NOAA, 2024).

Πρόσφατες έρευνες εκτιμούν ότι υπάρχουν 5.250 δισεκατομμύρια πλαστικά σωματίδια που επιπλέουν στην επιφάνεια των θαλασσών και των ωκεανών του κόσμου, ισοδύναμα με 268.940 μετρικούς τόνους αποβλήτων. Αυτά τα θραύσματα παρασύρονται από τα θαλάσσια ρεύματα πριν ξεβραστούν σε παραλίες, νησιά και κοραλλιογενείς ατόλες. Άλλα θραύσματα καταλήγουν σε έναν από τους πέντε γιγαντιαίους ωκεάνιους στρόβιλους, με πιο γνωστό και μεγαλύτερο τον Βόρειο Ειρηνικό Στρόβιλο. Και ενώ οι επιπτώσεις αυτής της συνεχώς αυξανόμενης ρύπανσης, παραμένουν ελάχιστα κατανοητές όσον αφορά τη βιοποικιλότητα και την ανθρώπινη υγεία, το οικονομικό κόστος είναι σημαντικό. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι η οικονομική ζημία που προκαλούν τα πλαστικά στα θαλάσσια οικοσυστήματα ανέρχεται περίπου στα 13 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως. Οι αρνητικές συνέπειες επηρεάζουν τους κλάδους της αλιείας και της ναυσιπλοΐας, καθώς και τα νησιά και τις παράκτιες πόλεις που βασίζονται στα έσοδα από τον τουρισμό. Τα μικροσφαιρίδια δεν αποτελούν ένα πρόσφατο πρόβλημα. Σύμφωνα με το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών (UNEP), τα πλαστικά μικροσφαιρίδια εμφανίστηκαν για πρώτη φορά σε προϊόντα προσωπικής φροντίδας πριν από περίπου πενήντα χρόνια, καθώς τα πλαστικά αντικαθιστούσαν όλο και περισσότερο τα φυσικά συστατικά. Μέχρι και το 2012, το ζήτημα αυτό παρέμενε σχετικά άγνωστο, με πληθώρα προϊόντων που περιείχαν πλαστικά μικροσφαιρίδια να κυκλοφορούν στην αγορά και με περιορισμένη ενημέρωση από την πλευρά των καταναλωτών (NOAA, 2024).

Σύμφωνα με μια μελέτη όπου έγινε στο Πανεπιστήμιο του Harvard, συναντάμε μικροπλαστικά παντού: από απορρίμματα, σκόνη, υφάσματα, καλλυντικά, καθαριστικά προϊόντα, τη βροχή, τα θαλασσινά, τα φρούτα και λαχανικά, το επιτραπέζιο αλάτι και πολλά άλλα. Δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι τα μικροπλαστικά έχουν ανιχνευθεί σε ολόκληρο το ανθρώπινο σώμα, συμπεριλαμβανομένου του αίματος, του σάλιου, του ήπατος, των νεφρών και του πλακούντα. Ερευνητές εξετάζουν πώς διεισδύουν σε άλλα όργανα και ιστούς μέσω των πνευμόνων και του γαστρεντερικού σωλήνα. Τα

μικροπλαστικά μικρότερα του 1 μικρομέτρου, γνωστά ως νανοπλαστικά, ανησυχούν περισσότερο τους επιστήμονες, καθώς μπορούν να διεισδύσουν στα κύτταρα.

Τα διδάγματα από τον τομέα της περιβαλλοντικής τοξικολογίας εγείρουν ανησυχίες σχετικά με τον καρκίνο και προβλήματα αναπαραγωγής. Μελέτες σε κυτταροκαλλιέργειες, θαλάσσια άγρια ζωή και ζωικά μοντέλα δείχνουν ότι τα μικροπλαστικά μπορούν να προκαλέσουν οξειδωτική βλάβη, βλάβες στο DNA και αλλαγές στη γονιδιακή δραστηριότητα, γνωστοί παράγοντες κινδύνου για την ανάπτυξη καρκίνου. Μικροπλαστικά έχουν ανιχνευθεί στο ανθρώπινο μητρικό γάλα και στο μηκόνιο, το πρώτο κόπρανο των νεογνών. Ορισμένες μελέτες σε ποντίκια έχουν καταγράψει αναπαραγωγικές επιπτώσεις, όπως μειωμένο αριθμό και ποιότητα σπερματοζωαρίων, ουλές στις ωοθήκες και μεταβολικές διαταραχές στους . Οι φυσικές ιδιότητες των μικροπλαστικών αποτελούν μία πηγή πιθανών κινδύνων. Ορισμένοι θαλάσσιοι οργανισμοί φαίνεται να καταναλώνουν περισσότερα μικροπλαστικά και λιγότερα θρεπτικά συστατικά, με συνέπειες που μπορεί να επηρεάσουν ολόκληρη την τροφική αλυσίδα. Στον άνθρωπο, οι ερευνητές αναφέρονται σε ασθένειες που προκαλούνται από αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα τα οποία περιλαμβάνουν μικροπλαστικά καθώς και από έκθεση σε πλαστική σκόνη στους χώρους εργασίας. Άλλοι κίνδυνοι προκύπτουν από χημικές ουσίες εντός ή επάνω στα σωματίδια μικροπλαστικών, όπως συστατικά του πλαστικού, BPA, φθαλικές ενώσεις και βαρέα μέταλλα, που είναι γνωστό ή ύποπτο ότι προκαλούν διαταραχές στο νευρικό, το αναπαραγωγικό και άλλα συστήματα (Dutchen, 2023).

## **2.3 Θαλασσιά ρύπανση και τροφική αλυσίδα**

Οι ωκεανοί καλύπτουν πάνω από το 70% της επιφάνειας της Γης και αποτελούν θεμελιώδη συστατικά του πλανητικού οικοσυστήματος. Ωστόσο, μόλις τις τελευταίες δεκαετίες έχει αρχίσει να γίνεται κατανοητός ο βαθμός στον οποίο οι ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν αυτά τα κρίσιμα υδάτινα περιβάλλοντα. Η θαλάσσια ρύπανση, και ιδίως οι ρύποι ανθρωπογενούς προέλευσης, έχει αναγνωριστεί ως βασικός παράγοντας υποβάθμισης της υγείας των ωκεανών. Ανάμεσα στις πλέον ανησυχητικές μορφές θαλάσσιας ρύπανσης συγκαταλέγεται η ρύπανση από μικροπλαστικά, η οποία έχει

αναδειχθεί σε έναν σοβαρό και διαρκώς εντεινόμενο κίνδυνο για την εύθραυστη ισορροπία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Η παρουσία αυτών των μικροσκοπικών πλαστικών σωματιδίων, τα οποία ορίζονται ως τεμάχια διαμέτρου μικρότερης των 5 mm, προκαλεί αυξανόμενη ανησυχία λόγω των πιθανών εκτεταμένων και μακροπρόθεσμων επιπτώσεων τους στη θαλάσσια βιοποικιλότητα, αλλά και στην ανθρώπινη υγεία και ευημερία. Κατά συνέπεια, το φαινόμενο αυτό έχει προκαλέσει έντονο επιστημονικό ενδιαφέρον και έχει καταστεί αντικείμενο ενδελεχούς μελέτης και παρακολούθησης (Howard, 2024) (Eswar Marcharla, 2024).

Τα μικροπλαστικά έχουν αναδειχθεί ως σημαντική απειλή για τη θαλάσσια ζωή, προκαλώντας ποικίλες και εκτεταμένες αρνητικές επιπτώσεις. Η φυσική εμπλοκή των θαλάσσιων οργανισμών σε απορρίμματα μικροπλαστικών μπορεί να περιορίσει την κινητικότητά τους, να παρεμποδίσει τη διαδικασία σίτισης και να οδηγήσει σε τραυματισμούς. Επιπλέον, η κατάποση μικροπλαστικών ενδέχεται να προκαλέσει εντερικές αποφράξεις, μειωμένη απορρόφηση θρεπτικών συστατικών και, σε ορισμένες περιπτώσεις, θάνατο, είτε μέσω άμεσης κατανάλωσης είτε μέσω της τροφικής αλυσίδας. Πέραν των φυσικών επιπτώσεων, τα μικροπλαστικά λειτουργούν ως φορείς χημικών ρύπων, απορροφώντας τοξικές ουσίες από το περιβάλλον και απελευθερώνοντάς τις στους ιστούς των οργανισμών που τα καταναλώνουν.

Οι επιπτώσεις της ρύπανσης από μικροπλαστικά εκτείνονται και στον άνθρωπο, κυρίως μέσω της κατανάλωσης θαλασσινών. Μελέτες έχουν εντοπίσει την παρουσία μικροπλαστικών σε εμπορικά είδη θαλασσινών, υποδεικνύοντας τη δυνατότητα διείσδυσής τους στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα και τη συσσώρευσή τους στον ανθρώπινο οργανισμό. Αν και οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της συσσώρευσης μικροπλαστικών στην ανθρώπινη υγεία παραμένουν εν πολλοίς άγνωστες, υπάρχουν ενδείξεις ότι σχετίζονται με φλεγμονώδεις αντιδράσεις, γονιδιοτοξικότητα και ενδοκρινικές διαταραχές (Eswar Marcharla, 2024).

### **2.3.1 Τροφική αλυσίδα**

Στις πρώτες επιστημονικές μελέτες που ασχολήθηκαν με τα μικροπλαστικά, οι ερευνητές ήδη υπέθεταν ότι διάφοροι ρυπαντές μπορούν να προσροφηθούν στην

επιφάνειά τους. Κατά τον 21<sup>ο</sup> αιώνα, η έρευνα στον τομέα αυτό έχει προοδεύσει σημαντικά, με τα πρώτα συμπεράσματα να υποδεικνύουν ότι τα μικροπλαστικά μπορούν να λειτουργήσουν ως φορείς μεταφοράς τοξικών χημικών ουσιών στο θαλάσσιο περιβάλλον. Πέραν των PCBs, ενώσεις όπως τα οργανοχλωριωμένα, οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες, τα εντομοκτόνα DDT και HCH, βαρέα μέταλλα (όπως χαλκός, αρσενικό, κάδμιο, μόλυβδος και χρώμιο), καθώς και αντιβιοτικά, έχουν ανιχνευθεί προσροφημένα στην επιφάνεια μικροπλαστικών. Η παρουσία αυτών των ρυπαντών ενισχύει την ανησυχία για τις επιπτώσεις τους στους θαλάσσιους οργανισμούς, ιδιαίτερα όταν τα μικροπλαστικά εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα μέσω της κατάποσης. Η συγκέντρωση χημικών ουσιών στα μικροπλαστικά μπορεί να είναι από εκατοντάδες έως και ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με το περιβάλλον υδάτινο μέσο. Η κατανάλωση μικροπλαστικών με προσροφημένους μικρορρύπους από υδρόβιους οργανισμούς αποτελεί βασική οδό μέσω της οποίας οι τοξικοί αυτοί ρυπαντές εισέρχονται στους ιστούς τους.

Παρόλο που ορισμένες μελέτες θεωρούν τη συμβολή των μικροπλαστικών ως φορέων οργανικών ρύπων μικρής σημασίας σε σύγκριση με άλλες πηγές, η συνεχής αύξηση και μεταβολή της συγκέντρωσής τους στο περιβάλλον μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση προσωρινών περιοχών υψηλής συγκέντρωσης, στις οποίες τα μικροπλαστικά δρουν ως σημαντικοί μεταφορείς τοξικών ενώσεων (Klára Cverenkárová, 2021). Τα μικροπλαστικά δεν έχουν μόνο την ικανότητα να προσροφούν και να συγκρατούν τοξικούς ρυπαντές από το περιβάλλον, αλλά συχνά μπορούν και να επανεκλύουν αυτές τις ενώσεις. Κατά την παραγωγή των πλαστικών χρησιμοποιούνται διάφορα πρόσθετα (σταθεροποιητές, πλαστικοποιητές, επιβραδυντικά φλόγας), τα οποία, αν και προστίθενται σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις για λόγους επεξεργασίας, μπορεί αργότερα να απελευθερωθούν κατά τη διάσπασή τους. Τα πιο κοινά πρόσθετα είναι τα βρωμιούχα επιβραδυντικά φλόγας (BFRs), οι φθαλικές ενώσεις, οι νονοφαινόλες, η δισφαινόλη A και διάφορα αντιοξειδωτικά. Όλες αυτές οι ουσίες έχουν δυνητικά ή αποδεδειγμένα ενδοκρινικές επιδράσεις. Η έκλυση επικίνδυνων ουσιών από πλαστικά απόβλητα είναι ιδιαίτερα σημαντική στην περίπτωση των επιβραδυντικών φλόγας και των φθαλικών ενώσεων, καθώς δεν αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του πολυμερικού πλέγματος. Η δισφαινόλη A και τα αντιοξειδωτικά είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα στον τομέα

της βιομηχανίας τροφίμων, καθώς χρησιμοποιούνται σε υλικά συσκευασίας που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα. Η απελευθέρωση των προσθέτων από πλαστικά σωματίδια εξαρτάται κυρίως από τον συντελεστή κατανομής μεταξύ νερού και πλαστικού, ή άλλους τύπους συντελεστών κατανομής.

Η αποδέσμευση αυτών των ουσιών μέσω της πεπτικής διαδικασίας είναι ιδιαίτερα κρίσιμη όταν τα μικροπλαστικά καταπίνονται από ζώα. Έρευνες αξιολόγησαν την πιθανότητα απελευθέρωσης της δισφαινόλης Α και της νονοφαινόλης από καταπομένα μικροπλαστικά στον γαστρεντερικό σωλήνα θαλάσσιου σκώληκα και βακαλάου. Διαπιστώθηκε ότι η κατάποση πλαστικών από τον θαλάσσιο σκώληκα αποτελεί σημαντική οδό έκθεσης, αν και ο κίνδυνος μειώνεται λόγω των χαμηλών συγκεντρώσεων των ουσιών αυτών στο περιβάλλον. Στην περίπτωση του βακαλάου, ο συγκεκριμένος δρόμος έκθεσης θεωρήθηκε οριακός. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά δεν συνεπάγονται ότι η συμβολή των προσθέτων που απελευθερώνονται από τα μικροπλαστικά είναι αμελητέα. Στην ανοιχτή θάλασσα, η ποσότητα των προσθέτων που απελευθερώνεται μπορεί να είναι περιορισμένη, ωστόσο η συσσώρευσή τους σε κλειστούς ή ημίκλειστους κόλπους και στα ιζήματα απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση (Klára Cverenkárová, 2021).

## **2.4 Μικροπλαστικά – Εισχώρηση στην τροφική αλυσίδα και επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία**

Η υδρόβια βιοποικιλότητα “καταπίνει” μικροπλαστικά λόγω του μικρού τους μεγέθους και της παρουσίας τους τόσο στα πελαγικά όσο και στα βενθικά οικοσυστήματα. Τα μικροπλαστικά μεταφέρονται στην τροφική αλυσίδα με υψηλό φορτίο απορροφημένων ρυπαντών, καθώς περιέχουν τοξικά πρόσθετα και μονομερή. Λόγω της υδρόφοβης φύσης των επικίνδυνων ρύπων, όπως οι επίμονοι οργανικοί ρυπαντές (POPs), τα μικροπλαστικά απορροφούν αυτές τις ενώσεις και, όταν καταπίνονται από θαλάσσιους οργανισμούς, οι ρύποι αυτοί εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα. Μεταξύ των ρύπων αυτών περιλαμβάνονται τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs), τα οργανοχλωριωμένα εντομοκτόνα όπως το DDT, καθώς και πολλοί άλλοι επίμονοι οργανικοί ρύποι, οι οποίοι είναι γνωστό ότι προσροφώνται σε τέτοιου είδους σωματίδια. Μικροπλαστικά έχουν εντοπιστεί σε διάφορους θαλάσσιους

οργανισμούς, όπως κοράλλια, φυτοπλαγκτόν και άλλα θαλάσσια ζώα. Επιπλέον, η έκθεσή τους σε τοξικά φύκη οδηγεί στην παραγωγή φυκοτοξινών, οι οποίες μπορεί να έχουν έμμεσες αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στη θαλάσσια οικονομία. Οι αλγοτοξίνες που παράγονται στο θαλάσσιο οικοσύστημα μπορούν να συσσωρευτούν σε θαλασσινά και να προκαλέσουν επικίνδυνα συμπτώματα στον άνθρωπο. Λόγω της ευρείας παρουσίας μικροπλαστικών στο γλυκό και θαλάσσιο περιβάλλον, η θαλάσσια ζωή μπορεί να τα καταναλώσει, γεγονός που συνεπάγεται την είσοδό τους στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα. Παράλληλα, έχουν καταγραφεί θαλάσσια είδη αλιευμένα και εκτρεφόμενα σε υδατοκαλλιέργειες με αποδεδειγμένη πρόσληψη μικροπλαστικών (Abdullah Al Mamun, 2023).

Πρόσφατες μελέτες για τις επιπτώσεις της ρύπανσης από μικροπλαστικά δείχνουν ότι η κατανάλωση μέσω τροφής αποτελεί τον σημαντικότερο τρόπο πρόσληψης μικροπλαστικών από τον άνθρωπο, κυρίως μέσω της τροφικής αλυσίδας και συγκεκριμένα από τρόφιμα και ποτά. Παράλληλα, οι σύγχρονες έρευνες σχετικά με την παρουσία των μικροπλαστικών στο περιβάλλον καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η ανθρώπινη πρόσληψη πλαστικών σωματιδίων θα είναι συνεχής. Το σημαντικότερο ζήτημα αναφορικά με τα μικροπλαστικά είναι η συστηματική έκθεση του ανθρώπου, καθώς τα σωματίδια αυτά μπορούν να διεισδύσουν στο εντερικό επιθήλιο προκαλώντας πιθανές τοξικές επιδράσεις. Μετά την κατάποση, ο αυλός του γαστρεντερικού σωλήνα αντιμετωπίζει δυσκολίες ως προς την ικανότητα και τον ρυθμό απορρόφησης, λόγω των φυσικοχημικών μεταβολών που υφίστανται τα πλαστικά σωματίδια. Επιπλέον, τα μικροπλαστικά μπορούν να αλληλεπιδράσουν με διάφορα μόρια στο γαστρεντερικό περιβάλλον, όπως πρωτεΐνες, λιπίδια, υδατάνθρακες, νουκλεϊκά οξέα, ιόντα και νερό. Ως αποτέλεσμα, τα σωματίδια περιβάλλονται από πρωτεΐνες που διευκολύνουν τη μεταφορά τους, ενώ το νερό που προσκολλάται στην επιφάνειά τους καθώς και οι αντιδράσεις με οργανικές ουσίες επηρεάζουν τη συσσωμάτωση και την εναπόθεση. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για τη διερεύνηση των οδών μέσω των οποίων τα μικροπλαστικά διασχίζουν το γαστρεντερικό σωλήνα και για την αποσαφήνιση των τοξικών τους επιδράσεων στο εντερικό επιθήλιο και τον αυλό του εντέρου. Το έντερο αποτελεί βασικό τμήμα του πεπτικού συστήματος και επιτελεί πολλαπλούς σημαντικούς ρόλους, όπως η πέψη, η απορρόφηση και ο μεταβολισμός. Παράλληλα, λειτουργεί ως ένα μικροβιακό οικοσύστημα, όπου η εντερική

χλωρίδα ρυθμίζει διάφορες βιοχημικές λειτουργίες του οργανισμού, όπως η σύνθεση πρωτεϊνών και η απορρόφηση μετάλλων. Η εντερική μικροχλωρίδα σχετίζεται επίσης με την εμφάνιση ορισμένων παθήσεων, όπως οι φλεγμονώδεις νόσοι του εντέρου, ο διαβήτης, οι νευροεκφυλιστικές ασθένειες και τα καρδιαγγειακά νοσήματα. Κανονικά, οι μικροοργανισμοί – ευεργετικοί, παθογόνοι και ουδέτεροι – βρίσκονται στο στρώμα βλέννης του εντέρου. Ωστόσο, η παρουσία εξωγενών τοξινών, όπως τα μικροπλαστικά, μπορεί να διαταράξει την μικροβιακή οικολογία του εντέρου. Η διαταραχή της εντερικής ισορροπίας λόγω μικροπλαστικών ενδέχεται να οδηγήσει σε δυσλειτουργία σημαντικών εντερικών λειτουργιών, όπως η μεταβολική δραστηριότητα, η φλεγμονώδης απόκριση και η ρύθμιση του ανοσοποιητικού συστήματος (Abdullah Al Mamun, 2023).

Η αξιολόγηση των δυνητικά επιβλαβών επιδράσεων των πλαστικών στον άνθρωπο είναι πολύ πιο απαιτητική σε σύγκριση με την περίπτωση των ζώων: δεν είναι ηθικά αποδεκτό να χορηγηθεί πλαστική τροφή σε ανθρώπους, όπως συμβαίνει σε πειράματα με ορτύκια ή ψάρια. Παρ' όλα αυτά, σε εργαστηριακές συνθήκες έχει αποδειχθεί ότι τα μικροπλαστικά μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε ανθρώπινα κύτταρα, όπως αλλεργικές αντιδράσεις και κυτταρικό θάνατο. Ωστόσο, μέχρι σήμερα δεν έχουν διεξαχθεί εκτεταμένες επιδημιολογικές μελέτες που να αποδεικνύουν άμεση συσχέτιση μεταξύ έκθεσης σε μικροπλαστικά και συγκεκριμένων προβλημάτων υγείας (Parker, 2022) (Nur Sakinah Roslan Y. Y., 2024).

Οι περισσότερες έρευνες έχουν βασιστεί σε μικρό δείγμα συμμετεχόντων, γεγονός που περιορίζει την ικανότητα εξαγωγής ευρέων συμπερασμάτων πέρα από την επαλήθευση της παρουσίας μικροπλαστικών σε διάφορα σημεία του ανθρώπινου σώματος. Για παράδειγμα:

- Σε μια μελέτη του 2018 βρέθηκαν μικροπλαστικά στα κόπρανα οκτώ ατόμων .
- Σε άλλες μελέτες εντοπίστηκαν μικροπλαστικά στον πλακούντα ανθρώπινων εμβρύων .
- Μία πρόσφατη μελέτη διαπίστωσε πλαστικά στο αίμα σε 17 από 22 υγιείς αιμοδότες, ενώ άλλη εντόπισε μικροπλαστικά σε 11 από 13 δείγματα πνεύμονα, ωστόσο, δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για το επίπεδο και τη διάρκεια της έκθεσης, οι οποίοι είναι κρίσιμοι παράγοντες για την εκτίμηση της επικινδυνότητας (Parker, 2022) (P., 2019) (Antonio Ragusa, 2021).

Ακόμη πιο πρόσφατες μελέτες φωτίζουν την κλινική διάσταση της παρουσίας μικροπλαστικών:

- Μια μελέτη του 2024 ανέδειξε μικροπλαστικά στο αίμα του 88,9 % των 36 συμμετεχόντων. Η ποσότητα αυτών σχετιζόταν με αυξημένα δείκτες πήξης του αίματος, όπως αυξημένη ενεργοποιημένη μερική θρομβοπλαστίνη (aPTT), C-αντιδρώσα πρωτεΐνη και ινογόνο, ένδειξη πιθανών καρδιαγγειακών κινδύνων (Dong-Wook Lee, 2024).

Παρά την αποδεδειγμένη παρουσία μικροπλαστικών σε πολλαπλά ανθρώπινα δείγματα (κόπρανα, αίμα, πλακούντες, πνεύμονες), καθώς και των πρώτων ενδείξεων για πιθανούς μηχανισμούς τοξικότητας (όπως φλεγμονή, κυτταρικός θάνατος, αλλαγές στην πήξη του αίματος), τα επιδημιολογικά δεδομένα παραμένουν περιορισμένα και όχι οριστικά (Nur Sakinah Roslan Y. Y., 2024) (Hong Giang Hoang, 2025) (Yudong Feng, 2023).

## **2.5 Το ζήτημα των μικροπλαστικών – Μια αυξανόμενη απειλή για τα οικοσυστήματα και τον άνθρωπο**

Η ρύπανση συγκαταλέγεται στις δέκα μεγαλύτερες παγκόσμιες απειλές, σύμφωνα με το Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη συντονισμένη και άμεση δράση για την επίτευξη του Στόχου Βιώσιμης Ανάπτυξης 14: «Πρόληψη και ουσιαστική μείωση της θαλάσσιας ρύπανσης κάθε είδους έως το 2025» (Forum, World Economic Forum., 2023). Η αυξανόμενη ανησυχία γύρω από τις επιπτώσεις της πλαστικής ρύπανσης στην υγεία, το περιβάλλον και την οικονομία οδήγησε κυβερνήσεις και διεθνείς οργανισμούς στην υιοθέτηση μέτρων περιορισμού της. Οι δράσεις αυτές, αν και διαφοροποιούνται ανά χώρα και χρονική περίοδο, αντανακλούν μια παγκόσμια προσπάθεια για την αντιμετώπιση ενός προβλήματος που αναγνωρίζεται πλέον ως κρίσιμης σημασίας. Ήδη έχουν υιοθετηθεί συγκεκριμένα μέτρα. Ο Νόμος Microbead-Free Waters (2015) απαγόρευσε την παραγωγή, τη συσκευασία και τη διάθεση καλλυντικών που ξεπλένονται, καθώς και ορισμένων φαρμακευτικών προϊόντων όπως οι οδοντόκρεμες, τα οποία περιείχαν μικροσφαιρίδια πλαστικού ((EPA), 2015). Το 2022, κατά τη Συνέλευση του ΟΗΕ για το Περιβάλλον, 175 κράτη δεσμεύτηκαν να τερματίσουν την πλαστική ρύπανση μέσω μιας νομικά δεσμευτικής συμφωνίας που καλύπτει, μεταξύ άλλων, τα

πλαστικά μίας χρήσης και τις τεχνολογίες ανακύκλωσης (UNEP, NEA 5.2: Historic resolution to end plastic pollution. United Nations Environment Programme. , 2022). Το 2023, η Ευρωπαϊκή Ένωση απαγόρευσε την πώληση χύδην πλαστικού γκλίτερ, ενώ τον Ιανουάριο του 2025 η Παγκόσμια Σύμπραξη για τη Δράση κατά των Πλαστικών ανακοίνωσε τη συμμετοχή επτά νέων χωρών στο μεγαλύτερο διεθνές πρόγραμμα κατά της πλαστικής ρύπανσης (Commission., Commission adopts restriction on intentionally added microplastics, 2023) (Forum, Global Plastic Action Partnership: new members join, 2025).

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει αναγνωρίσει την αυξανόμενη απειλή των μικροπλαστικών και έχει θέσει ως στόχο τη μείωση των εκπομπών τους κατά 30% έως το 2030. Τα μικροπλαστικά, τα οποία έχουν μέγεθος μικρότερο των 5 χιλιοστών, χαρακτηρίζονται από ανθεκτικότητα, ευκολία μετακίνησης και δυσκολία απομάκρυνσης από το περιβάλλον. Εντοπίζονται στη θάλασσα, στο έδαφος, στα τρόφιμα και στο πόσιμο νερό, ενώ μόλις απελευθερωθούν δεν βιοδιασπώνται, συσσωρεύονται και παραμένουν εκτός αν είναι ειδικά σχεδιασμένα για βιοδιάσπαση. Η αποδόμησή τους, ειδικά στο θαλάσσιο περιβάλλον, αποτελεί περίπλοκη διαδικασία, γεγονός που εντείνει τις ανησυχίες για τις επιπτώσεις τους στη βιοποικιλότητα, τα οικοσυστήματα και την ανθρώπινη υγεία (Commission., Commission adopts restriction on intentionally added microplastics, 2023) (Commission., Overview of EU policies and initiatives on microplastics., (2023b)). Το 2023, με βάση τον κανονισμό REACH, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επέβαλε περιορισμούς στα προϊόντα που περιέχουν σκόπιμα προστιθέμενα μικροπλαστικά και πρότεινε νέα μέτρα για την πρόληψη διαρροών πλαστικών σφαιριδίων στο περιβάλλον. Παράλληλα, παρουσίασε ένα ενημερωτικό φυλλάδιο με τις πολιτικές, τις πρωτοβουλίες και τις δράσεις της ΕΕ που στοχεύουν στην πρόληψη της μικροπλαστικής ρύπανσης, στην προώθηση της έρευνας και της καινοτομίας, καθώς και στη βελτίωση των μηχανισμών παρακολούθησης (Commission., Overview of EU policies and initiatives on microplastics., (2023b)) (Commission., Commission adopts restriction on intentionally added microplastics, 2023).

Η στρατηγική της ΕΕ για την επίτευξη του στόχου μείωσης των εκπομπών μικροπλαστικών κατά 30% έως το 2030 βασίζεται σε τρεις κύριους άξονες:

- Περιορισμό της ρύπανσης από πλαστικά που διασπώνται σε μικροπλαστικά,
- Μείωση της χρήσης μικροπλαστικών που προστίθενται σκόπιμα σε προϊόντα,

- Περιορισμό των ακούσιων εκπομπών μικροπλαστικών (Commission., Commission adopts restriction on intentionally added microplastics, 2023).

Παρότι δεν υφίσταται ενιαία ευρωπαϊκή νομοθεσία που να καλύπτει τα μικροπλαστικά συνολικά, διάφορες επιμέρους οδηγίες και κανονισμοί τα αντιμετωπίζουν άμεσα ή έμμεσα. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται η Οδηγία για τη Θαλάσσια Στρατηγική, ο Κανονισμός για τα Λιπάσματα, η Οδηγία Πλαισίου για τα Απόβλητα, καθώς και νομοθεσίες που σχετίζονται με τον Οικολογικό Σχεδιασμό, τα Αστικά Απόβλητα Νερά, την Ποιότητα του Αέρα και τις Βιομηχανικές Εκπομπές. Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία, κάθε χρόνο 200 έως 600 ολυμπιακές πισίνες μικροπλαστικών απελευθερώνονται ακούσια στο περιβάλλον. Επιπλέον, μόνο το 2019, χάθηκαν περισσότερα από 2.100 φορτηγά πλαστικών σφαιριδίων στο φυσικό περιβάλλον, γεγονός που καταδεικνύει το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του προβλήματος (Commission., Overview of EU policies and initiatives on microplastics., (2023b)). Η ύπαρξη αυτών των κανονισμών και οδηγιών δείχνει την αναγνώριση της σοβαρότητας του προβλήματος από την Ευρωπαϊκή Ένωση, ωστόσο η πολυπλοκότητα της ρύπανσης από μικροπλαστικά απαιτεί όχι μόνο θεσμικά πλαίσια αλλά και πρακτικά μέτρα παρακολούθησης και πρόληψης. Για τον λόγο αυτό, η ΕΕ έχει προχωρήσει σε συγκεκριμένες πρωτοβουλίες και νομοθεσίες που αποσκοπούν στην παρακολούθηση της παρουσίας μικροπλαστικών στο περιβάλλον, καθώς και στη μείωση της χρήσης τους στα προϊόντα καθημερινής χρήσης. Στο πλαίσιο της αναθεωρημένης Οδηγίας για το Πόσιμο Νερό, ανέπτυξε μέσω του Κοινού Κέντρου Ερευνών (JRC) μια νέα μεθοδολογία για τη μέτρηση μικροπλαστικών στο πόσιμο νερό. Η μέθοδος αυτή ενσωματώθηκε σε Απόφαση της Επιτροπής στις 11 Μαρτίου 2024 και στοχεύει στην ένταξη των μικροπλαστικών στη λίστα ουσιών που επιτηρούνται για πιθανές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Τα κράτη μέλη θα υποχρεούνται να παρακολουθούν την παρουσία τους στο νερό χρησιμοποιώντας αυτή τη μεθοδολογία, προκειμένου να διασφαλιστεί η συγκρισιμότητα των δεδομένων και η αποτελεσματική προστασία της δημόσιας υγείας. Στο ίδιο πλαίσιο, ο Κανονισμός (ΕΕ) 2023/2055, σε ισχύ από τις 17 Οκτωβρίου 2023, περιορίζει τη χρήση μικροπλαστικών που προστίθενται σκόπιμα σε προϊόντα, με στόχο τη μείωση της ρύπανσης και την προστασία της υγείας. Ο κανονισμός απαγορεύει την πώληση προϊόντων όπως χαλαρό γκλίτερ και άλλα μικροσφαιρίδια σε καλλυντικά, ενώ για ορισμένα προϊόντα προβλέπονται

μεταβατικές περίοδοι έως και 12 έτη. Εξαιρούνται προϊόντα που δεν απελευθερώνουν μικροπλαστικά ή περιέχουν βιοδιασπώμενα υλικά, και οι κατασκευαστές οφείλουν να παρέχουν σαφείς οδηγίες για την ασφαλή χρήση και απόρριψη των προϊόντων αυτών. Αυτές οι δράσεις ενισχύουν τις προσπάθειες της ΕΕ για την πρόληψη της πλαστικής ρύπανσης και αποτελούν σημαντικά βήματα προς την επίτευξη των στόχων της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, ειδικά όσον αφορά την προστασία της ανθρώπινης υγείας από τις επιπτώσεις των μικροπλαστικών (Commission, Regulation (EU) 2023/2055 on intentionally added microplastics., 2023) (Centre, 2024).

## 2.6 Προοπτικές και στρατηγικές αντιμετώπισης της μικροαστικής ρύπανσης

Η αντιμετώπιση της πλαστικής ρύπανσης και των μικροπλαστικών αναδεικνύεται σε κρίσιμη προτεραιότητα για την προστασία των οικοσυστημάτων και της ανθρώπινης υγείας, δεδομένου ότι οι επιπτώσεις τους εκτείνονται σε παγκόσμιο επίπεδο, επηρεάζοντας τη βιοποικιλότητα, την ποιότητα των θαλασσών και του εδάφους, αλλά και την αλυσίδα τροφίμων. Τα μικροπλαστικά, λόγω της ανθεκτικότητας και της ευρείας διασποράς τους, παραμένουν στο περιβάλλον για δεκαετίες, προκαλώντας μακροπρόθεσμες συνέπειες για ζώα και ανθρώπους. Οι προοπτικές αντιμετώπισης αυτού του φαινομένου δεν περιορίζονται μόνο στη μείωση της παραγωγής και διάθεσης πλαστικών, αλλά περιλαμβάνουν ολιστικές στρατηγικές που συνδυάζουν την τεχνολογική καινοτομία, την ενίσχυση της νομοθεσίας και των πολιτικών πρωτοβουλιών, καθώς και την ενεργό συμμετοχή της κοινωνίας. Η επιτυχία αυτών των προσπαθειών απαιτεί συνεργασία μεταξύ κρατών, οργανισμών και πολιτών, με στόχο τη δημιουργία βιώσιμων λύσεων που θα εξασφαλίζουν την προστασία του περιβάλλοντος και τη διατήρηση της ανθρώπινης υγείας.

Σε αυτό το πλαίσιο, οι μελλοντικές προοπτικές εστιάζουν κυρίως σε τρεις άξονες:

### 1. **Καινοτομία και τεχνολογία:**

Η ανάπτυξη βιοδιασπώμενων και ανακυκλώσιμων πλαστικών αποτελεί έναν βασικό προσανατολισμό για τη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης από πλαστικά απορρίμματα. Τα βιοδιασπώμενα πλαστικά, τα οποία παράγονται από ανανεώσιμες

πρώτες ύλες όπως άμυλο, ζαχαρότευτλα ή βαμβάκι, μπορούν να διασπαστούν σε φυσικές συνθήκες σε σύντομο χρονικό διάστημα, περιορίζοντας τη συσσώρευση στο περιβάλλον. Παράλληλα, η ανακύκλωση υψηλής τεχνολογίας, όπως η χημική ανακύκλωση, επιτρέπει την αποσύνθεση των πλαστικών σε βασικά μονομερή, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξανά για την παραγωγή νέων προϊόντων, εξοικονομώντας πρώτες ύλες και ενέργεια. Επιπλέον, η βιοτεχνολογική προσέγγιση αξιοποιεί ειδικά ένζυμα και μικροοργανισμούς που μπορούν να διασπάσουν πλαστικά υλικά, όπως PET ή πολυαιθυλένιο, μέσα σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα, γεγονός που ανοίγει τον δρόμο για περιβαλλοντικά βιώσιμες λύσεις αποδόμησης αποβλήτων. Η παρακολούθηση των μικροπλαστικών με προηγμένα ψηφιακά συστήματα, όπως αισθητήρες υψηλής ευαισθησίας, drones και πλατφόρμες γεωχωρικών δεδομένων, επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση και καταγραφή της παρουσίας πλαστικών σε ποτάμια, λίμνες και θάλασσες. Αυτές οι τεχνολογίες συμβάλλουν στην αξιολόγηση των ροών αποβλήτων, στην πρόβλεψη της διασποράς τους και στη βελτιστοποίηση στρατηγικών καθαρισμού και διαχείρισης. Συνολικά, η συνδυασμένη χρήση βιοδιασπώμενων υλικών, χημικής ανακύκλωσης, βιοτεχνολογικών λύσεων και ψηφιακής παρακολούθησης προσφέρει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για τη μείωση του όγκου πλαστικών που εισέρχονται στο περιβάλλον και τη βελτίωση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας.

## **2. Νομοθεσία και πολιτικές πρωτοβουλίες:**

Οι διεθνείς και ευρωπαϊκές κανονιστικές πρωτοβουλίες αποτελούν κεντρικό άξονα για την αντιμετώπιση της πλαστικής ρύπανσης. Στο επίπεδο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, κανονισμοί όπως ο Κανονισμός REACH για μικροπλαστικά, η Οδηγία Πλαισίου για τα Απόβλητα, η Οδηγία για τη Θαλάσσια Στρατηγική, αλλά και η στρατηγική της ΕΕ για τα πλαστικά προϊόντα μίας χρήσης, θέτουν σαφή όρια στη χρήση και διάθεση πλαστικών, προβλέπουν απαγορεύσεις συγκεκριμένων προϊόντων και απαιτούν μέτρα παρακολούθησης και ανακύκλωσης. Σε διεθνές επίπεδο, οι δεσμεύσεις των Ηνωμένων Εθνών για τη μείωση των θαλάσσιων απορριμμάτων, καθώς και συμφωνίες όπως η Συνέλευση του ΟΗΕ για το Περιβάλλον 2022, στοχεύουν στην ενοποίηση των κρατών σε κοινές πολιτικές πρόληψης της πλαστικής ρύπανσης. Η εφαρμογή ολοκληρωμένων στρατηγικών περιλαμβάνει την ποσοτικοποίηση των παραγόμενων αποβλήτων, την παρακολούθηση της διασποράς τους

και την αξιολόγηση των κινδύνων για οικοσυστήματα και ανθρώπινη υγεία. Παράλληλα, τα μέτρα αυτά προάγουν την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών από επιχειρήσεις και καταναλωτές, όπως η χρήση βιοδιασπώμενων ή ανακυκλώσιμων υλικών, η βελτιστοποίηση συστημάτων συλλογής και ανακύκλωσης και η διαφάνεια στη διαχείριση αποβλήτων. Η συνολική επίδραση αυτών των πολιτικών είναι η ενίσχυση της ρυθμιστικής ικανότητας των κρατών και η δημιουργία ενός πλαισίου που διευκολύνει την επίτευξη των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης, ειδικά όσον αφορά τη βιώσιμη κατανάλωση και παραγωγή (SDG 12) και τη διατήρηση των θαλάσσιων οικοσυστημάτων (SDG 14). (Commission, Regulation (EU) 2023/2055 on intentionally added microplastics., 2023) (Commission., New methodology to measure microplastics in EU's drinking water, 2024) (Centre, 2024) (Nations., 2022)

### **3. Κοινωνική ευαισθητοποίηση:**

Τέλος, η εκπαίδευση και η ενεργός συμμετοχή των πολιτών αποτελούν καθοριστικά στοιχεία για την αποτελεσματική αντιμετώπιση της πλαστικής ρύπανσης και των μικροπλαστικών. Μέσα από προγράμματα ανακύκλωσης, πρωτοβουλίες καθαρισμού ακτών, πάρκων και δημόσιων χώρων, καθώς και δράσεις ευαισθητοποίησης για τη σωστή διαχείριση αποβλήτων, οι πολίτες μπορούν να αντιληφθούν τις επιπτώσεις των πλαστικών προϊόντων στον πλανήτη και στην υγεία. Η προώθηση κυκλικών μοντέλων παραγωγής και κατανάλωσης, όπως η επαναχρησιμοποίηση συσκευασιών, η επιλογή βιοδιασπώμενων υλικών και η συμμετοχή σε κοινοτικές δράσεις, ενισχύει την υπευθυνότητα και την υπεράσπιση της βιώσιμης κατανάλωσης. Παράλληλα, η κοινωνική ευαισθητοποίηση επηρεάζει άμεσα και τις επιχειρήσεις, καθώς η αυξανόμενη ζήτηση για φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα ενθαρρύνει την υιοθέτηση πρακτικών οικολογικού σχεδιασμού, μειώνει την παραγωγή πλαστικών αποβλήτων και ενισχύει τις στρατηγικές ανακύκλωσης. Η συμμετοχή των πολιτών σε εθελοντικές δράσεις, όπως καθαρισμούς ακτών και δασών, και η υποστήριξη εκπαιδευτικών προγραμμάτων στα σχολεία, δημιουργεί μια «κουλτούρα περιβαλλοντικής υπευθυνότητας», συμβάλλοντας στην αλλαγή νοοτροπίας απέναντι στα πλαστικά προϊόντα μιας χρήσης. Επιπλέον, η κοινωνική πίεση προς κυβερνήσεις και επιχειρήσεις για τη θέσπιση πολιτικών μείωσης πλαστικής ρύπανσης έχει αποδειχθεί ότι

επιταχύνει τη λήψη μέτρων και τη δημιουργία κανονιστικών πλαισίων που ενισχύουν την κυκλική οικονομία.

Συμπερασματικά, η πλαστική ρύπανση και τα μικροπλαστικά αποτελούν ένα από τα πιο σύνθετα και κρίσιμα περιβαλλοντικά ζητήματα της εποχής μας, με σημαντικές επιπτώσεις τόσο στα οικοσυστήματα όσο και στην ανθρώπινη υγεία. Η αντιμετώπισή τους απαιτεί μια πολυδιάστατη προσέγγιση που συνδυάζει τεχνολογικές καινοτομίες, νομοθετικές πρωτοβουλίες και κοινωνική ευαισθητοποίηση. Στον τεχνολογικό τομέα, η ανάπτυξη βιοδιασπώμενων και ανακυκλώσιμων υλικών, η χημική ανακύκλωση, η χρήση ενζύμων και μικροοργανισμών για την αποδόμηση πλαστικών, καθώς και η παρακολούθηση των μικροπλαστικών με προηγμένα ψηφιακά συστήματα, μπορούν να περιορίσουν σημαντικά την είσοδο πλαστικών αποβλήτων στο περιβάλλον. Παράλληλα, η εφαρμογή αποτελεσματικών πολιτικών, όπως οι κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης και οι διεθνείς δεσμεύσεις των Ηνωμένων Εθνών, διασφαλίζει την τήρηση κανόνων, την παρακολούθηση της παραγωγής και διαχείρισης πλαστικών και την προώθηση βιώσιμων πρακτικών από επιχειρήσεις και καταναλωτές. Η κοινωνική διάσταση είναι εξίσου κρίσιμη. Η ευαισθητοποίηση των πολιτών, η εκπαίδευση για τη σημασία της ανακύκλωσης, η συμμετοχή σε προγράμματα καθαρισμού και η προώθηση κυκλικών μοντέλων παραγωγής, δημιουργούν μια κουλτούρα υπεύθυνης κατανάλωσης και ενισχύουν τη συλλογική προσπάθεια για μείωση της πλαστικής ρύπανσης. Η ενεργός συμμετοχή της κοινωνίας δεν επηρεάζει μόνο την καθημερινή συμπεριφορά, αλλά ασκεί πίεση σε κυβερνήσεις και επιχειρήσεις για την εφαρμογή πιο βιώσιμων πολιτικών. Συνεπώς, η αντιμετώπιση της πλαστικής ρύπανσης απαιτεί συνέργεια τεχνολογίας, νομοθεσίας και κοινωνικής δράσης. Η συνδυαστική εφαρμογή αυτών των στρατηγικών μπορεί να οδηγήσει στη μείωση της ρύπανσης, στην προστασία των οικοσυστημάτων και της ανθρώπινης υγείας και στη δημιουργία ενός βιώσιμου πλαισίου για τις επόμενες γενιές, διασφαλίζοντας ότι η πρόοδος και η ανάπτυξη δεν θα συμβαδίζουν με την υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Βιοτεχνολογικές Στρατηγικές και Καινοτόμα Υλικά για τη Διαχείριση των Πλαστικών

#### 3.1 Βιοτεχνολογικές προσεγγίσεις στην ανακύκλωση πλαστικών

Η σύγχρονη κοινωνία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα πλαστικά, ωστόσο η ανεξέλεγκτη χρήση και η κακή διαχείριση των αποβλήτων έχουν οδηγήσει σε ένα από τα πιο κρίσιμα περιβαλλοντικά προβλήματα της εποχής μας: την παγκόσμια ρύπανση από πλαστικά. Κάθε χρόνο, παράγονται εκατοντάδες εκατομμύρια τόνοι πλαστικού, με ένα μεγάλο μέρος τους να καταλήγει σε χωματερές ή, ακόμα χειρότερα, στους ωκεανούς και το φυσικό περιβάλλον, απειλώντας τα οικοσυστήματα και την ανθρώπινη υγεία (Foundation, the New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics., 2016). Σε αντίθεση με το παραδοσιακό γραμμικό μοντέλο παραγωγής (παραγωγή – χρήση – απόρριψη), οι αρχές της κυκλικής οικονομίας προωθούν την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση και τον ανασχεδιασμό των προϊόντων με στόχο την παράταση του κύκλου ζωής των υλικών (UNEP, From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution. , 2021).

Με γνώμονα αυτά, οι βιοτεχνολογικές προσεγγίσεις αναδεικνύονται ως μια πολλά υποσχόμενη καινοτόμος λύση για την αντιμετώπιση των πλαστικών αποβλήτων. Σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους ανακύκλωσης που είναι συχνά δαπανηρές και μη αποδοτικές για ορισμένους τύπους πλαστικών, η βιοτεχνολογία αξιοποιεί τη δύναμη της φύσης. Με τη χρήση ενζύμων, μικροοργανισμών ή άλλων βιολογικών καταλυτών, είναι δυνατή η αποδόμηση των πλαστικών σε απλούστερα συστατικά, τα οποία μπορούν στη συνέχεια να επαναχρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για τη δημιουργία νέων υλικών υψηλής αξίας, μια διαδικασία γνωστή ως upcycling (Danso, 2018) (Tournier, 2020). Το παρόν

κεφάλαιο θα εστιάσει στις κυριότερες βιοτεχνολογικές τεχνικές που εφαρμόζονται στην ανακύκλωση πλαστικών. Θα γίνει αναλυτική παρουσίαση της ενζυμικής αποδόμησης πλαστικών και της βιο-ανακύκλωσης με τη χρήση εξειδικευμένων μικροοργανισμών, καθώς και των πλεονεκτημάτων και των προκλήσεων που αντιμετωπίζουν αυτές οι μέθοδοι στην πρακτική τους εφαρμογή.

### **3.1.1 Η Κυκλική οικονομία και το upcycling - Βασικές έννοιες και διαφοροποιήσεις**

Το κυρίαρχο οικονομικό μοντέλο της σύγχρονης κοινωνίας, γνωστό ως γραμμικό, βασίζεται στην παραγωγή, κατανάλωση και τελική απόρριψη προϊόντων. Σε πλήρη αντίθεση, η κυκλική οικονομία είναι ένα μοντέλο που επιδιώκει την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, διατηρώντας τα προϊόντα και τα υλικά σε συνεχή χρήση για όσο το δυνατόν περισσότερο. Αυτή η προσέγγιση προωθεί την επαναχρησιμοποίηση, την ανακατασκευή, την ανακύκλωση και την κομποστοποίηση, μειώνοντας την ανάγκη για εξόρυξη νέων φυσικών πόρων και συμβάλλοντας στην περιβαλλοντική και οικονομική βιωσιμότητα (Foundation, the New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics., 2016). Ο πυρήνας της κυκλικής οικονομίας εδράζεται σε τρεις αρχές: την πρόληψη της ρύπανσης, τη μεγιστοποίηση της αξίας των υλικών που κυκλοφορούν και την αναζωογόνηση των φυσικών συστημάτων. Με την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και υλικών, δημιουργείται ένα μοντέλο που ωφελεί τόσο το περιβάλλον όσο και την οικονομία.

Η ιστορική εξέλιξη της κυκλικής οικονομίας ξεκινά από θεωρίες οικολογικών οικονομολόγων της δεκαετίας του 1960, ενώ εξελιγμένες εκδοχές της συναντώνται και σε μεταγενέστερες επιστημονικές εργασίες (King, 2017). Η έννοια έχει στενή σχέση με τις ιδέες της αειφόρου ανάπτυξης και της βιομηχανικής συμβίωσης. Σήμερα, η μελέτη της κυκλικής οικονομίας έχει ενταθεί, κυρίως λόγω της επιτακτικής ανάγκης για την αντιμετώπιση της αυξανόμενης πλαστικής ρύπανσης. Μία από τις πιο καινοτόμες στρατηγικές της κυκλικής οικονομίας είναι το upcycling. Ενώ η παραδοσιακή ανακύκλωση (recycling) συχνά υποβαθμίζει την ποιότητα του υλικού (downcycling), το upcycling αναβαθμίζει τα απόβλητα. Πρόκειται για μια δημιουργική διαδικασία όπου τα απορριπτόμενα υλικά μετατρέπονται σε νέα προϊόντα με υψηλότερη αξία ή ποιότητα. Εφαρμόζοντας αυτή την προσέγγιση, τα πλαστικά απόβλητα παύουν να αποτελούν

περιβαλλοντική απειλή και μετατρέπονται σε χρήσιμα, εμπορεύσιμα προϊόντα, ενισχύοντας τόσο τη βιωσιμότητα όσο και την οικονομική ανάπτυξη (Lieder, Towards circular economy implementation: a comprehensive review of existing concepts and future directions. Journal of Cleaner Production, 2016). Η δημιουργική επαναχρησιμοποίηση, ευρύτερα γνωστή ως upcycling, αποτελεί μια πρακτική όπου παλαιά ή άχρηστα αντικείμενα μετασχηματίζονται σε νέα προϊόντα υψηλότερης αξίας. Σε αντίθεση με την παραδοσιακή ανακύκλωση (recycling), η οποία περιλαμβάνει την επεξεργασία των υλικών για την παραγωγή πρώτων υλών, το upcycling παρατείνει άμεσα τον κύκλο ζωής ενός αντικειμένου χωρίς πολύπλοκη επεξεργασία. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για αντικείμενα που δεν ανακυκλώνονται εύκολα, όπως έπιπλα, υφάσματα ή πλαστικά. Μέσα από το upcycling, τα απόβλητα παύουν να θεωρούνται άχρηστα και αποκτούν νέα χρηστική ή αισθητική αξία, συμβάλλοντας στη μείωση των απορριμμάτων και την εξοικονόμηση πόρων. Η διαδικασία αυτή απαιτεί δημιουργικότητα και πρωτοβουλία, προσφέροντας παράλληλα τη δυνατότητα δημιουργίας μοναδικών προϊόντων. Εκτός από τα περιβαλλοντικά του οφέλη, το upcycling προσφέρει σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές προεκτάσεις. Σε αντίθεση με τις μεγάλες βιομηχανίες ανακύκλωσης που απαιτούν μεγάλες κεφαλαιουχικές επενδύσεις και υποδομές, το upcycling μπορεί να αποτελέσει πηγή εισοδήματος για μικρές επιχειρήσεις, καλλιτέχνες και μεμονωμένα άτομα. Η διαδικασία αυτή ενισχύει την τοπική οικονομία και τη δημιουργία θέσεων εργασίας, καθώς τα προϊόντα που προκύπτουν έχουν συχνά υψηλότερη αξία λόγω της μοναδικότητας και της χειροτεχνικής τους ποιότητας. Επιπλέον, σε κοινωνικό επίπεδο, το upcycling προωθεί τη δημιουργικότητα, την αυτονομία και την ανάπτυξη δεξιοτήτων, ενθαρρύνοντας τους ανθρώπους να επανασυνδεθούν με τα υλικά και να υιοθετήσουν έναν πιο βιώσιμο τρόπο ζωής (Lieder, Towards circular economy implementation: a comprehensive review of existing concepts and future directions. , 2016).

Η σημερινή επιστροφή στην επαναχρησιμοποίηση αντικατοπτρίζει μια παλαιότερη πραγματικότητα. Μέχρι και τον 19ο αιώνα, η επισκευή και η επαναχρησιμοποίηση υλικών ήταν αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας, καθώς οι άνθρωποι συνδύαζαν συχνά τον ρόλο του καταναλωτή με αυτόν του δημιουργού. Αυτό το μοντέλο άλλαξε ριζικά με την έλευση της Βιομηχανικής Επανάστασης και την εισαγωγή προτύπων μαζικής παραγωγής, εύκολης αντικατάστασης και απόρριψης. Παράγοντες όπως η βελτίωση της

παραγωγικότητας και η ενίσχυση της διαφήμισης απομάκρυναν τον καταναλωτή από την παραγωγική διαδικασία, διακόπτοντας τις παραδοσιακές σχέσεις φροντίδας και συντήρησης των αντικειμένων. Ως αποτέλεσμα, ο αυξανόμενος καταναλωτισμός στις δυτικές κοινωνίες οδήγησε σε σημαντική μείωση των δεξιοτήτων συντήρησης και επισκευής, ενισχύοντας την ταχεία αντικατάσταση των προϊόντων. Στις σύγχρονες οικονομίες, η παραγωγή και η κατανάλωση λειτουργούν ως δύο διακριτές διαδικασίες. Αυτή η μετατόπιση της έμφασης προς την κατανάλωση, που παρατηρείται από τα μέσα του 20ού αιώνα, συνδέεται άμεσα με την πληθώρα καταναλωτικών αγαθών και την αυξημένη επιρροή του μάρκετινγκ. Ο Alvin Toffler χαρακτήρισε αυτό το φαινόμενο ως το «δεύτερο κύμα» της αγοράς, όπου η πλήρης διάκριση μεταξύ παραγωγών και καταναλωτών έγινε πραγματικότητα. Η πρακτική του upcycling, υπό αυτή την οπτική, μπορεί να θεωρηθεί ως μια σύγχρονη απάντηση σε αυτή την ιστορική εξέλιξη, μια προσπάθεια επανασύνδεσης του καταναλωτή με το προϊόν και επανεκτίμησης της αξίας των υλικών. (Toffler, 1980)

### **3.2 Οφέλη και πλεονεκτήματα του upcycling ως βιοτεχνολογική εφαρμογή**

Η αυξανόμενη παγκόσμια ρύπανση από πλαστικά αποτελεί μία από τις πιο πιεστικές περιβαλλοντικές προκλήσεις της εποχής μας. Τα πλαστικά, λόγω της ανθεκτικότητάς τους και του αργού ρυθμού αποδόμησης, συσσωρεύονται στους ωκεανούς, το έδαφος και την τροφική αλυσίδα, απειλώντας τη βιοποικιλότητα και συμβάλλοντας στην περιβαλλοντική υποβάθμιση. Παραδοσιακές μέθοδοι διαχείρισης, όπως η υγειονομική ταφή και η αποτέφρωση, συνοδεύονται από σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η ρύπανση των υπόγειων υδάτων και η εκπομπή τοξικών αερίων. Ως απάντηση, η επιστημονική και τεχνολογική κοινότητα έχει στραφεί σε πιο βιώσιμες και κυκλικές προσεγγίσεις, με έμφαση στην επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση των πλαστικών υλικών. Η μετατροπή των πλαστικών αποβλήτων σε νέα προϊόντα ή πρώτες ύλες όχι μόνο συμβάλλει στη μείωση του συνολικού όγκου απορριμμάτων, αλλά υποστηρίζει και τη μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία, στην οποία οι πόροι αξιοποιούνται επανειλημμένα για την ελαχιστοποίηση της σπατάλης ενέργειας και υλικών (UNEP, From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and

plastic pollution, 2021). Η σημερινή εκμετάλλευση των φυσικών πόρων θεωρείται μη βιώσιμη, γεγονός που έχει εγείρει έντονες ανησυχίες για τις επιπτώσεις της συνεχούς οικονομικής ανάπτυξης και της αυξανόμενης κατανάλωσης, τόσο σε επίπεδο διαθεσιμότητας πρώτων υλών και ενεργειακών πόρων, όσο και σε σχέση με την περιβαλλοντική επιβάρυνση και την επιδείνωση της κλιματικής αλλαγής που προκαλείται από ανθρώπινες δραστηριότητες (Foundation, Towards circular economy implementation: a comprehensive review of existing concepts and future directions., 2016).

### 3.2.1 Κίνητρα και εφαρμογές του upcycling

Οι πρακτικές του upcycling διαμορφώνονται σε μεγάλο βαθμό από το κοινωνικό, οικονομικό και πολιτισμικό περιβάλλον στο οποίο εφαρμόζονται. Από τη μία πλευρά, υπάρχει το upcycling που προκύπτει από την ανάγκη, όπως η χρήση απορριμμάτων για την κατασκευή προσωρινών καταλυμάτων σε άτυπους οικισμούς. Για παράδειγμα, στις φαβέλες της Βραζιλίας, τα πλαστικά μπουκάλια νερού και το πολυαιθυλένιο χρησιμοποιούνται ευρέως για την κατασκευή άτυπων κατοικιών λόγω της άμεσης διαθεσιμότητάς τους. Από την άλλη πλευρά, το upcycling μπορεί να λειτουργήσει ως μέσο καλλιτεχνικής έκφρασης ή χειροτεχνίας σε πιο ευκατάστατες κοινωνίες, δημιουργώντας προϊόντα με έμφαση στην αισθητική και τη δημιουργικότητα. Παραδείγματα αποτελούν η δημιουργία κοσμημάτων από παλιά ηλεκτρονικά κυκλώματα ή άλλων αντικειμένων, όπου η πρωτοτυπία και η αισθητική παίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο. Αν και τα κίνητρα πίσω από αυτές τις δύο προσεγγίσεις διαφέρουν, η αναγκαιότητα δεν αποκλείει την ύπαρξη υψηλού επιπέδου τεχνικής αρτιότητας και αισθητικής, ενώ το ευρύτερο πλαίσιο (οικονομικό, πολιτισμικό και γεωγραφικό) επηρεάζει τις διαθέσιμες πρώτες ύλες και τους τελικούς στόχους των έργων. (Lieder, Towards circular economy implementation: a comprehensive review of existing concepts and future directions. Journal of Cleaner Production, 2016). Επιπλέον, πέρα από την ανάγκη και την καλλιτεχνική έκφραση, το upcycling έχει αναδειχθεί σε σημαντικό στοιχείο τόσο της εμπορικής δραστηριότητας όσο και της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης. Ολοένα και περισσότερες επιχειρήσεις, από μικρά τοπικά εργαστήρια έως μεγάλες διεθνείς μάρκες, ενσωματώνουν το upcycling στα μοντέλα παραγωγής τους, μετατρέποντας τις ροές αποβλήτων σε κερδοφόρα νέα προϊόντα. Αυτή η τάση υπογραμμίζει την οικονομική

βιωσιμότητα του upcycling και τις δυνατότητές του να δημιουργεί νέες αγορές και θέσεις εργασίας σε βιώσιμους και δημιουργικούς τομείς. (Stahel, he circular economy. Nature, 2016).

Παράλληλα, η διάσταση της εκπαίδευσης και της κοινωνικής ευαισθητοποίησης παίζει καθοριστικό ρόλο. Το upcycling αξιοποιείται ως εργαλείο μάθησης σε σχολεία, πανεπιστήμια και κοινοτικά εργαστήρια, προσφέροντας στους συμμετέχοντες πρακτική κατανόηση της κυκλικής οικονομίας. Μέσα από βιωματικές δραστηριότητες, τα άτομα έρχονται σε άμεση επαφή με τις περιβαλλοντικές προκλήσεις και κατανοούν καλύτερα την αξία της επαναχρησιμοποίησης και του περιορισμού των αποβλήτων. Έτσι, το upcycling ενισχύει όχι μόνο τη δημιουργικότητα, αλλά και την περιβαλλοντική υπευθυνότητα των πολιτών. (Sung, 2019). Τέλος, η αυξανόμενη ενσωμάτωση του upcycling σε παγκόσμιες στρατηγικές βιωσιμότητας το καθιστά ισχυρό εργαλείο στην αντιμετώπιση της πλαστικής ρύπανσης. Σε συνδυασμό με καινοτομίες της βιοτεχνολογίας, όπως η χρήση ενζύμων για την αποδόμηση πολυμερών ή η παραγωγή νέων βιοπλαστικών από απόβλητα, το upcycling μπορεί να αποτελέσει κρίσιμο κρίκο σε μια κυκλική και πράσινη οικονομία. Με αυτόν τον τρόπο, οι πρακτικές αυτές δεν περιορίζονται μόνο στη δημιουργία καλαίσθητων ή χρηστικών προϊόντων, αλλά συμβάλλουν ενεργά στην παγκόσμια προσπάθεια μείωσης των πλαστικών απορριμμάτων και ενίσχυσης της βιωσιμότητας ((EEA), 2020). Καθώς το upcycling αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία σε κοινωνικό, οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο, είναι απαραίτητο να εξεταστούν πιο αναλυτικά οι άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις του. Η συμβολή του δεν περιορίζεται μόνο στη δημιουργία νέων προϊόντων ή στην προώθηση της καλλιτεχνικής καινοτομίας, αλλά επεκτείνεται και σε βαθύτερες πτυχές που σχετίζονται με τη βιωσιμότητα, τη μείωση των ρύπων και την ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας. Η πρακτική του upcycling συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση των αποβλήτων, στον περιορισμό της ανάγκης για εξόρυξη νέων πρώτων υλών και στην εξοικονόμηση ενέργειας. Οι επιπτώσεις αυτής της διαδικασίας περιλαμβάνουν τη σημαντική μείωση της ατμοσφαιρικής και υδάτινης ρύπανσης, καθώς και τη συγκράτηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που ευθύνονται για την κλιματική αλλαγή. Παράλληλα, το upcycling ενισχύει τη λειτουργία της κυκλικής οικονομίας, δίνοντας νέα ζωή σε υλικά και προϊόντα μέσα από συνεχόμενες επαναχρησιμοποιήσεις. (Camacho-

Otero, 2018). Πέρα από τα περιβαλλοντικά οφέλη, προάγει τη δημιουργικότητα και την καινοτομία στον τομέα του βιώσιμου σχεδιασμού, ενώ παράλληλα δημιουργεί νέες αγορές και ευκαιρίες επιχειρηματικότητας. Ωστόσο, η διαδικασία δεν είναι πάντα απλή: τα έργα upcycling συχνά απαιτούν εξειδικευμένες γνώσεις, κατάλληλο εξοπλισμό, εργαλεία, χώρο και σημαντικό χρόνο. Για παράδειγμα, η κατασκευή κουταλιών σαλάτας από κομμένα γυάλινα μπουκάλια απαιτεί τεχνική ακρίβεια και προσοχή. Το ιταλικό έργο που σχεδίασε ένα γραφείο-λάμπα από χαρτόνι αξιοποιεί κοινά διαθέσιμα υλικά και ακολουθεί μοντέλο «ανοιχτού κώδικα», δίνοντας τη δυνατότητα σε μικρές επιχειρήσεις να προσφέρουν υπηρεσίες upcycling σε ανθρώπους που δεν διαθέτουν τον απαραίτητο χρόνο ή δεξιότητες (Charter, 2016). Ωστόσο, η χρήση υλικών όπως κούτες πίτσας για κατασκευή αντικειμένων εγείρει ζητήματα καθαριότητας και υγιεινής, μια έννοια γνωστή ως «μολυσμένη αλληλεπίδραση», που λειτουργεί συχνά ως ανασταλτικός παράγοντας για την ευρεία χρήση ορισμένων τύπων αποβλήτων (Camacho-Otero, 2018). Ταυτόχρονα, τα μεγαλύτερα αντικείμενα, όπως τα έπιπλα, προσφέρουν ιδιαίτερες ευκαιρίες για δημιουργία προϊόντων με αυξημένη οικονομική και χρηστική αξία. Το ξύλο, για παράδειγμα, επεξεργάζεται εύκολα χωρίς ανάγκη εξειδικευμένων εργαλείων. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μετατροπή δύο σκαμπό της Ikea σε ποδήλατο ισορροπίας ή έλκηθρο, δημιουργώντας αντικείμενα που ξεπερνούν σημαντικά την αρχική τους αξία (Charter, 2016). Παρόμοια παραδείγματα περιλαμβάνουν τη χρήση παλετών για την κατασκευή τραπεζιών ή καναπέδων, καθώς και τη μετατροπή μεταλλικών βαρελιών σε καθίσματα ή γλάστρες, πρακτικές που συνδυάζουν αισθητική και λειτουργικότητα. (Bakker, 2014). Επιπλέον, το upcycling βρίσκει εφαρμογές και στη βιομηχανία μόδας, όπου υλικά όπως παλιά τζιν, πλαστικά μπουκάλια ή δίχτυα ψαρέματος μετατρέπονται σε τσάντες, παπούτσια ή αθλητικά ρούχα. Αυτός ο κλάδος έχει αποκτήσει ιδιαίτερη δυναμική, καθώς συνδέει την περιβαλλοντική υπευθυνότητα με την καλλιτεχνική δημιουργία και την εμπορική αξία. (Camacho-Otero, 2018). Συνολικά, το upcycling συνιστά μια πολυδιάστατη πρακτική που συνδέει περιβάλλον, κοινωνία και οικονομία. Παρά τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει, όπως οι τεχνικές απαιτήσεις και τα ζητήματα υγιεινής, προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για τη μείωση αποβλήτων, την προώθηση της κυκλικής οικονομίας και τη δημιουργία καινοτόμων προϊόντων υψηλής αξίας. Ως εκ

τούτου, αποτελεί βασικό μοχλό μετάβασης προς ένα πιο βιώσιμο παραγωγικό και καταναλωτικό μοντέλο. (Stahel, The circular economy, 2016)

### **3.3 Προηγμένες τεχνολογίες υλικών - Βιοπλαστικά, βιοδιασπώμενα και κομποστοποιημένα πλαστικά**

Μέσα στο ευρύτερο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας και της αναζήτησης αποτελεσματικών λύσεων για την περιβαλλοντική κρίση, το upcycling αναδεικνύεται ως μια καινοτόμος και βιώσιμη τεχνική για τη μείωση της κατανάλωσης και απόρριψης πλαστικών. Ωστόσο, δεν αποτελεί την μοναδική απάντηση στο πρόβλημα της πλαστικής ρύπανσης. Τα τελευταία χρόνια, η επιστημονική κοινότητα και η βιομηχανία στρέφονται όλο και περισσότερο στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και υλικών που μπορούν να συμβάλλουν ουσιαστικά στην αντιμετώπιση αυτού του κρίσιμου ζητήματος. Μεταξύ αυτών των καινοτομιών, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα βιοπλαστικά υλικά που προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές όπως η βιομάζα και τα φυτικά υπολείμματα τα οποία προσφέρουν την προοπτική της μείωσης της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Σύμφωνα με μελέτη του Nizamuddin, τα βιοπλαστικά παρουσιάζουν μειωμένο ανθρακικό αποτύπωμα και ενισχυμένη βιοδιασπασιμότητα, καθιστώντας τα ελκυστική εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά πλαστικά (Nizamuddin, 2024). Επιπλέον, η ανάπτυξη βιοδιασπώμενων και κομποστοποιημένων πλαστικών ανοίγει νέους δρόμους για την κυκλική διαχείριση των αποβλήτων, προσφέροντας λύσεις που επιτρέπουν την ασφαλή διάσπαση των υλικών στο περιβάλλον χωρίς την παραγωγή επιβλαβών υπολειμμάτων. Ωστόσο, όπως επισημαίνει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η χρήση αυτών των υλικών απαιτεί προσεκτική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων και την ανάπτυξη κατάλληλων υποδομών για την επεξεργασία τους στο τέλος του κύκλου ζωής τους (Commission., Biobased, biodegradable and compostable plastics, 2024). Τέλος, η έρευνα εστιάζει και σε βιοτεχνολογικές προσεγγίσεις, όπως η χρήση εξειδικευμένων ενζύμων και μικροοργανισμών που μπορούν να αποδομήσουν τα πλαστικά πολυμερή με φυσικό τρόπο, μειώνοντας τον χρόνο παραμονής τους στο περιβάλλον. Σύμφωνα με μελέτη του Piao το

2024, η βιοδιάσπαση των μικροπλαστικών μπορεί να μειώσει την τοξικότητα στο υδάτινο περιβάλλον, αν και ενδέχεται να οδηγήσει σε υψηλότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίο (Piao, 2024).

Στο κεφάλαιο αυτό, θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν διεξοδικά οι σύγχρονες τεχνολογίες βιοπλαστικών, βιοδιασπώμενων και κομποστοποιημένο πλαστικών, αποκαλύπτοντας το δυναμικό τους για τη μετάβαση σε μια πιο βιώσιμη και περιβαλλοντικά υπεύθυνη παραγωγή και κατανάλωση. Η διερεύνηση αυτών των τεχνολογιών αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της προσπάθειας για ένα μέλλον με μειωμένα απορρίμματα, χαμηλότερες εκπομπές και αυξημένη προστασία των οικοσυστημάτων.

### **Βιοπλαστικά:**

Η πλειονότητα των πλαστικών υλικών σήμερα παράγεται από μη ανανεώσιμες πηγές, κυρίως ορυκτά καύσιμα, όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Η εκτεταμένη χρήση τους, σε συνδυασμό με ανεπαρκείς πρακτικές διαχείρισης στο τέλος του κύκλου ζωής τους, οδηγεί σε σοβαρή συσσώρευση πλαστικών αποβλήτων στο φυσικό περιβάλλον. Αυτό επιδεινώνει τη ρύπανση των θαλάσσιων και χερσαίων οικοσυστημάτων, αυξάνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και επιβαρύνει την ανθρώπινη υγεία (Geyer R. J., 2017).

Ως απάντηση στις περιβαλλοντικές προκλήσεις, τα **βιοπλαστικά**, πλαστικά που προέρχονται είτε εξ ολοκλήρου είτε εν μέρει από βιολογικές πρώτες ύλες φυτικής προέλευσης, προβάλλονται ως εναλλακτική λύση με μειωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Η χρήση βιομάζας, όπως το άμυλο, η ζάχαρη ή το άλας πολυμερών, μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα και να ενισχύσει τη βιωσιμότητα των πλαστικών προϊόντων. Παρ' όλα αυτά, η παραγωγή βιοπλαστικών δεν είναι χωρίς περιβαλλοντικούς και κοινωνικοοικονομικούς συμβιβασμούς. Η χρήση γεωργικής γης για την παραγωγή πρώτων υλών ενδέχεται να ανταγωνίζεται την παραγωγή τροφίμων, να αυξάνει την κατανάλωση νερού και να οδηγεί σε αλλαγές χρήσης γης, με αντίκτυπο στη βιοποικιλότητα (Rujnić-Sokele, 2017). Ένα ακόμη ζήτημα είναι η σύγχυση που επικρατεί στον δημόσιο λόγο και την καταναλωτική αντίληψη. Ο όρος «βιοπλαστικά» συχνά χρησιμοποιείται με γενικευμένο τρόπο, περιλαμβάνοντας υλικά με διαφορετική χημική

σύσταση και ιδιότητες. Οι διαχωρισμοί μεταξύ «βιολογικής βάσης», «βιοδιασπώμενων» και «κομποστοποιήσιμων» πλαστικών συχνά παραμένουν ασαφείς για τον μέσο καταναλωτή, με αποτέλεσμα την εσφαλμένη χρήση ή απόρριψη τους, γεγονός που μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητά τους (Commission., biobased, biodegradable and compostable plastics, 2024). Τα βιοπλαστικά βιολογικής βάσης δεν εγγυώνται απαραίτητα βιοδιασπασιμότητα ή κομποστοποίηση. Η περιβαλλοντική τους απόδοση εξαρτάται από ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους, από την παραγωγή και τη χρήση έως τη διαχείριση των αποβλήτων. Παράγοντες όπως η χρήση γης, οι εκπομπές κατά την παραγωγή και οι συνθήκες διάθεσης πρέπει να αξιολογούνται προσεκτικά (Shen L. W., 2020). Τα βιοδιασπώμενα πλαστικά είναι σχεδιασμένα να αποικοδομούνται υπό συγκεκριμένες συνθήκες, συνήθως βιομηχανικές ή βιολογικές, οι οποίες μπορεί να μην υπάρχουν στο φυσικό περιβάλλον. Η έλλειψη κατάλληλων υποδομών για βιοδιάσπαση αποτελεί σημαντικό περιορισμό για την ευρύτερη αξιοποίησή τους. Τα κομποστοποιήσιμα πλαστικά, ως υποκατηγορία των βιοδιασπώμενων, απαιτούν ειδικές βιομηχανικές μονάδες κομποστοποίησης για να διασπαστούν πλήρως, και η διάθεση τους σε περιβάλλοντα χωρίς τέτοιες υποδομές μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητα περιβαλλοντικά αποτελέσματα (Commission., biobased, biodegradable and compostable plastics, 2024). Η χρήση αυτών των υλικών, σύμφωνα με την ιεραρχία διαχείρισης αποβλήτων, πρέπει να περιορίζεται σε περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατή η πρόληψη, η επαναχρησιμοποίηση ή η ανακύκλωση. Παράλληλα, η διαφάνεια στην επισήμανση των προϊόντων, η εκπαίδευση του κοινού και η ανάπτυξη κατάλληλων υποδομών είναι απαραίτητες για την αποτελεσματική ενσωμάτωση των βιοπλαστικών στην κυκλική οικονομία.

### **Βιοδιασπώμενα πλαστικά:**

Με δεδομένη την παγκόσμια ανησυχία για τη ρύπανση από πλαστικά, οι βιοδιασπώμενες λύσεις έχουν αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία ως μέρος της στρατηγικής μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Πολλές χώρες υιοθετούν πολιτικές που στοχεύουν στη μείωση της παραγωγής, χρήσης και απόρριψης πλαστικών, με μέτρα όπως η προώθηση της ανακύκλωσης, η επιβολή χρηματικών επιβαρύνσεων στις σακούλες μιας χρήσης ή ακόμη και η πλήρης απαγόρευσή τους.

Για παράδειγμα:

- Στην Καλιφόρνια (Η.Π.Α.) απαγορεύτηκε η διάθεση πλαστικών σακουλών από το 2016.
- Η Δανία και η Αυστρία έχουν επιτύχει ποσοστά ανάκτησης πλαστικών αποβλήτων της τάξης του 80–100%.
- Η Ιρλανδία ήταν από τις πρώτες χώρες που εισήγαγαν ειδικό τέλος για τις πλαστικές σακούλες από το 2002.

Αντιθέτως, σε πολλές χώρες της Νότιας Αμερικής οι σχετικές παρεμβάσεις παραμένουν περιορισμένες, υποδεικνύοντας την ανάγκη για πιο συντονισμένα διεθνή μέτρα (UNEP, Global Plastics Outlook, 2021)

Η στροφή προς βιοδιασπώμενα υλικά παρουσιάζεται ως μία υποσχόμενη στρατηγική για την αντιμετώπιση της κρίσης των πλαστικών αποβλήτων. Τα βιοδιασπώμενα πλαστικά είναι σχεδιασμένα να αποικοδομούνται μέσω της δράσης μικροοργανισμών σε μη επιβλαβή συστατικά, όπως νερό, διοξείδιο του άνθρακα και βιομάζα. Η παραγωγή τους μπορεί να βασίζεται είτε σε πρώτες ύλες ορυκτών καυσίμων είτε σε ανανεώσιμες βιολογικές πηγές, όπως άμυλο πατάτας, κυτταρίνη και άλλα βιοσυνθετικά πολυμερή, ή σε συνδυασμό αυτών (Rujnić-Sokele, 2017). Η αποτελεσματικότητα της βιοαποικοδόμησης εξαρτάται από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η υγρασία, η θερμοκρασία, η παρουσία μικροοργανισμών και οι συνθήκες αερόβιας ή αναερόβιας διάσπασης. Σε ιδανικές συνθήκες, η διαδικασία μπορεί να οδηγήσει στη μετατροπή των βιοδιασπώμενων πλαστικών σε διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, νερό και βιομάζα ή κομπόστ κατάλληλο για χρήση στη γεωργία (Shen L. W., 2020).

Ωστόσο, παρά τα πλεονεκτήματα, υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις:

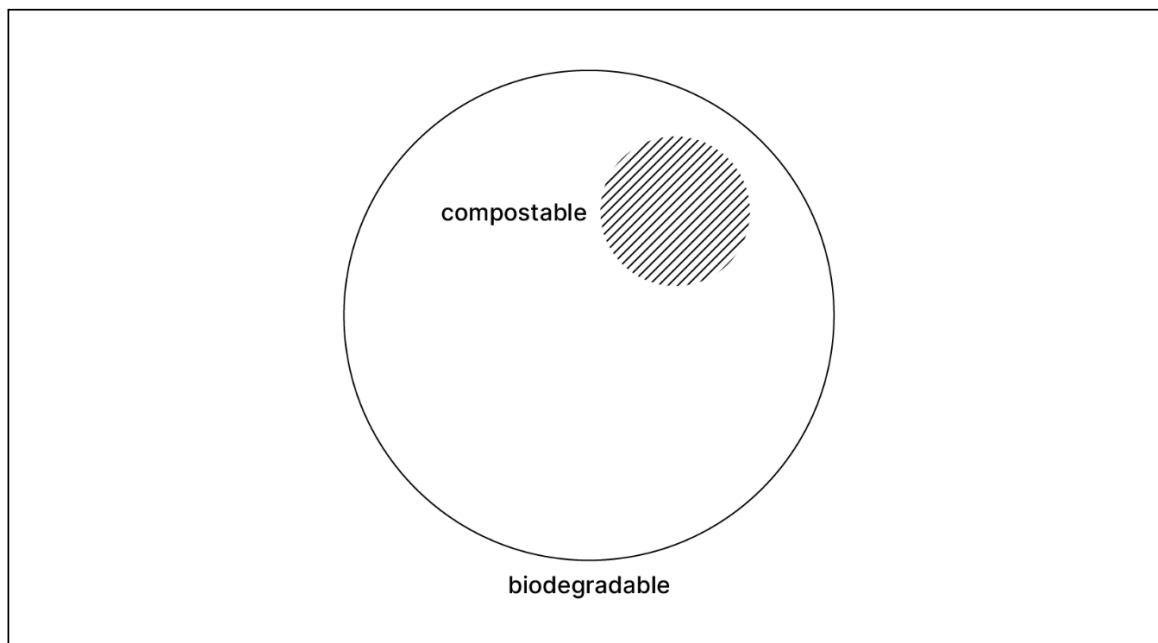
- Δεν έχουν όλα τα βιοδιασπώμενα υλικά υποβληθεί σε επαρκείς ελέγχους για την αποδοτικότητά τους σε φυσικά περιβάλλοντα, ιδιαίτερα σε θαλάσσια οικοσυστήματα, όπου οι συνθήκες διάσπασης διαφέρουν σημαντικά.

- Η διάθεση βιοδιασπώμενων πλαστικών σε περιβάλλοντα χωρίς τις κατάλληλες συνθήκες μπορεί να οδηγήσει σε επιβράδυνση της αποικοδόμησης και σε προβλήματα διαχείρισης αποβλήτων.
- Η χρήση βιολογικών πρώτων υλών ενδέχεται να επηρεάσει τη διαθεσιμότητα γης και πόρων, δημιουργώντας περιβαλλοντικούς και κοινωνικοοικονομικούς συμβιβασμούς.

Συνεπώς, η ευρεία υιοθέτηση βιοδιασπώμενων πλαστικών απαιτεί σαφή επισήμανση, κατάλληλες υποδομές για βιοαποδόμηση, και εκπαίδευση του κοινού, ώστε να μεγιστοποιηθεί το περιβαλλοντικό όφελος και να μειωθούν οι αρνητικές συνέπειες (Bioplastics, Bioplastics – facts and figures., 2023).

### **Κομποστοποιήσιμα Πλαστικά:**

Η έννοια των κομποστοποιήσιμων πλαστικών αποτελεί μια εξειδίκευση του ευρύτερου πεδίου των βιοδιασπώμενων υλικών όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 2*. Στην πράξη, ένα πλαστικό χαρακτηρίζεται ως κομποστοποιήσιμο όταν πληροί συγκεκριμένα κριτήρια διάσπασης υπό ελεγχόμενες συνθήκες, όπως αυτές που επικρατούν σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις κομποστοποίησης. (Bioplastics, Certifications for bioplastics, 2023) (Solutions, Biodegradable and compostable plastics., 2022)



Εικόνα 2 (Solutions, Break Free From Plastic. Biodegradable and compostable plastics., 2022)

Ο τρόπος με τον οποίο κομποστοποιείται ένα πλαστικό καθορίζεται από αυστηρά κριτήρια που ορίζονται σε διεθνή πρότυπα, όπως το ευρωπαϊκό. EN 13432 και το αμερικανικό ASTM D6400 (ASTM, 2023). Αυτά τα πρότυπα περιλαμβάνουν απαιτήσεις για την πλήρη βιοδιασπασιμότητα υπό ελεγχόμενες συνθήκες κομποστοποίησης, την ταχύτητα διάσπασης σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, καθώς και την απουσία επικίνδυνων συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων, ώστε να διασφαλίζεται η ποιότητα και η ασφάλεια του παραγόμενου κομποστ. Παράλληλα, τονίζουν την ανάγκη ύπαρξης κατάλληλων υποδομών και ενημέρωσης των καταναλωτών, καθώς η σωστή διάσπαση των κομποστοποιήσιμων πλαστικών εξαρτάται τόσο από τις τεχνικές προδιαγραφές όσο και από τη διαχείριση στο τέλος ζωής τους (bioplastics, 2023). Τα περισσότερα κομποστοποιήσιμα πλαστικά έχουν πιστοποιηθεί ότι διασπώνται αποκλειστικά σε βιομηχανικές μονάδες κομποστοποίησης, οι οποίες παρέχουν τις απαραίτητες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και μικροβιακής δραστηριότητας. Ωστόσο, η διάσπαση σε οικιακούς κομποστοποιητές ή στο φυσικό περιβάλλον συχνά δεν είναι επαρκής, γεγονός που περιορίζει την πραγματική περιβαλλοντική αξία τους (ASTM, 2023). Ορισμένες χώρες, όπως η Γαλλία, έχουν θεσπίσει ειδικά πρότυπα για τα «οικιακά κομποστοποιήσιμα» πλαστικά, απαιτώντας τη διάσπασή τους σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, προσεγγίζοντας τις συνθήκες που επικρατούν σε οικιακά συστήματα κομποστοποίησης (Natur-Bag., 2022)

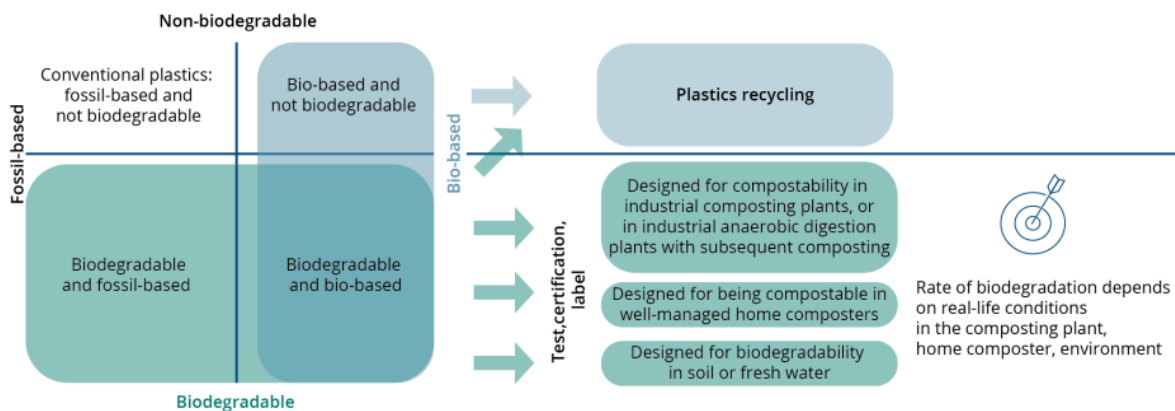
.Παρόλα αυτά, η πρακτική εφαρμογή αυτών των προτύπων αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις: έλλειψη επαρκών υποδομών οικιακής κομποστοποίησης σε πολλές περιοχές, διακυμάνσεις θερμοκρασίας ανάλογα με την κλιματική ζώνη, σύγχυση των καταναλωτών σχετικά με τις διαφορές μεταξύ βιομηχανικής και οικιακής κομποστοποίησης, καθώς και έλλειψη διεθνών κοινών κριτηρίων για τις δοκιμές και την πιστοποίηση αυτών των υλικών (bioplastics, 2023).

### **Χρονικό διάστημα αποσύνθεσης:**

Η ταχύτητα αποσύνθεσης των κομποστοποιήσιμων και βιοδιασπώμενων πλαστικών αποτελεί ένα κρίσιμο ζήτημα που επηρεάζεται άμεσα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις διαθέσιμες υποδομές επεξεργασίας. Τα κομποστοποιήσιμα πλαστικά, όπως ορίζονται από διεθνείς οργανισμούς, έχουν σχεδιαστεί για να αποσυντίθενται πλήρως σε βιομηχανικές μονάδες κομποστοποίησης. Αυτή η διαδικασία είναι ταχεία, ολοκληρώνεται συνήθως εντός 3 έως 6 μηνών, αλλά απαιτεί αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες, όπως υψηλή θερμοκρασία (μεταξύ 55°C και 70°C), συγκεκριμένα επίπεδα υγρασίας και επαρκή αερισμό. Αν αυτά τα υλικά δεν καταλήξουν σε μια τέτοια μονάδα και βρεθούν στο φυσικό περιβάλλον, η αποσύνθεσή τους μπορεί να διαρκέσει πολύ περισσότερο και να μην είναι πλήρης, με αποτέλεσμα να μη διαφέρουν ουσιαστικά από τα συμβατικά πλαστικά. (Foundation, Towards circular economy implementation: a comprehensive review of existing concepts and future directions., 2016). Αντίθετα, τα βιοδιασπώμενα πλαστικά έχουν τη δυνατότητα να διασπώνται σε ένα ευρύτερο φάσμα περιβαλλόντων, όπως το έδαφος, το γλυκό ή το θαλασσινό νερό. Ωστόσο, η ταχύτητα αυτής της διαδικασίας ποικίλλει σημαντικά και είναι πολύ πιο αργή από ό,τι θα ανέμενε κανείς. Μπορεί να διαρκέσει από μερικούς μήνες έως και πολλά χρόνια, ανάλογα με τη σύνθεσή τους, τη θερμοκρασία, την υγρασία και την παρουσία μικροοργανισμών. Αυτό σημαίνει ότι ένα «βιοδιασπώμενο» πλαστικό που καταλήγει στη φύση, ενδέχεται να παραμείνει εκεί για δεκαετίες, δημιουργώντας παρόμοια προβλήματα ρύπανσης με τα συμβατικά πλαστικά. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι ο όρος «βιοδιασπώμενο» δεν εγγυάται γρήγορη και πλήρη αποσύνθεση, ούτε αυτομάτως το καθιστά περιβαλλοντικά αβλαβές (Bioplastics, Bioplastics – facts and figures., 2023).

Συνοψίζοντας, η χρήση των όρων «βιοδιασπώμενο» και «κομποστοποιήσιμο» απαιτεί προσεκτική αξιολόγηση. Η επιτυχής διάθεση και αποσύνθεση αυτών των υλικών

εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ύπαρξη κατάλληλων υποδομών και την ευαισθητοποίηση των καταναλωτών. Τα πλαστικά που φέρουν πιστοποιήσεις για βιομηχανική κομποστοποίηση, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα στην *Εικόνα 3*, απαιτούν συγκεκριμένες συνθήκες για να διασπαστούν αποτελεσματικά. Αντίστοιχα, τα πλαστικά που είναι σχεδιασμένα για διάσπαση σε οικιακό κομποστοποιητή ή σε υδάτινο περιβάλλον, παρουσιάζουν διαφορετικούς ρυθμούς αποσύνθεσης. Είναι κρίσιμο να γίνει κατανοητό ότι καμία από αυτές τις κατηγορίες δεν αποτελεί οριστική λύση για την πλαστική ρύπανση, και η αποτελεσματικότητά τους συνδέεται άρρηκτα με τη σωστή διαχείριση του τέλους του κύκλου ζωής τους. Η αυστηρή τήρηση των προδιαγραφών και η επαρκής ενημέρωση είναι απαραίτητες για τη διασφάλιση των περιβαλλοντικών οφελών που υποτίθεται ότι προσφέρουν.



*Εικόνα 3 (Agency, Biodegradable and compostable plastics — challenges and opportunities, 2020)*

### **Προκλήσεις εφαρμογής:**

Η υιοθέτηση των κομποστοποιήσιμων και βιοδιασπώμενων πλαστικών, παρόλο που αποτελεί μια ελπιδοφόρα λύση, αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις τόσο σε τεχνικό όσο και σε κοινωνικό επίπεδο. Μία από τις κυριότερες δυσκολίες είναι η έλλειψη κατάλληλων υποδομών. Σε πολλές χώρες, δεν υπάρχουν αρκετές βιομηχανικές μονάδες κομποστοποίησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πολλά κομποστοποιήσιμα υλικά να καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής ή ακόμα και στη θάλασσα, όπου δεν υπάρχουν

οι απαραίτητες συνθήκες για τη σωστή αποσύνθεσή τους. Επίσης, επικρατεί σύγχυση στους καταναλωτές. Οι όροι «βιοδιασπώμενο» και «κομποστοποιήσιμο» συχνά χρησιμοποιούνται εναλλακτικά, οδηγώντας σε λανθασμένες επιλογές απόρριψης. Η ελλιπής πληροφόρηση και η ανεπαρκής σήμανση στα προϊόντα επιδεινώνουν το πρόβλημα, μειώνοντας την περιβαλλοντική αξία των υλικών. Επιπλέον, η έλλειψη διεθνών προτύπων για την πιστοποίηση και τον έλεγχο της αποσύνθεσης καθιστά δύσκολη την αξιολόγηση της πραγματικής αποτελεσματικότητας αυτών των προϊόντων. Τέλος, υπάρχει ο κίνδυνος ρύπανσης από υπολείμματα πλαστικών, ιδιαίτερα όταν τα προϊόντα δεν διασπώνται πλήρως ή απορρίπτονται σε ακατάλληλα περιβάλλοντα, όπως οι ωκεανοί. Για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων, είναι απαραίτητες επενδύσεις σε υποδομές, εκτενής ενημέρωση των καταναλωτών και η ανάπτυξη ενιαίων, παγκόσμιων προτύπων. (Commission., Biobased, biodegradable and compostable plastics, 2024) (Agency, Biodegradable and compostable plastics □ challenges and opportunities, 2020)

### **Περιβαλλοντική αξία:**

Η περιβαλλοντική αξία των κομποστοποιήσιμων και βιοδιασπώμενων πλαστικών δεν καθορίζεται μόνο από την υλική τους σύνθεση, αλλά κυρίως από τον τρόπο που διαχειρίζονται στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Σχεδιασμένα ως μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στα συμβατικά πλαστικά, τα υλικά αυτά έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τη συσσώρευση πλαστικών αποβλήτων στο περιβάλλον. Ωστόσο, η πραγματική τους επίδραση ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με τον προορισμό τους μετά τη χρήση. (Commission., Biobased, biodegradable and compostable plastics, 2024) (Agency, Biodegradable and compostable plastics □ challenges and opportunities, 2020). Τα κομποστοποιήσιμα πλαστικά, όταν διατίθενται σωστά σε βιομηχανικές μονάδες κομποστοποίησης, μπορούν να μετατραπούν πλήρως σε ένα χρήσιμο, θρεπτικό κομπόστ. Αυτή η διαδικασία αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα κυκλικής οικονομίας, όπου τα απόβλητα μετατρέπονται σε νέα πηγή πλούτου, ενισχύοντας την υγεία του εδάφους και μειώνοντας την ανάγκη για τεχνητά λιπάσματα. (Commission., Biobased, biodegradable and compostable plastics, 2024) (Agency, Biodegradable and compostable plastics □ challenges and opportunities, 2020)

### **Προκλήσεις και Λανθασμένες Πρακτικές:**

Δυστυχώς, σε πολλές περιοχές, η έλλειψη των απαραίτητων υποδομών βιομηχανικής κομποστοποίησης αποτελεί ένα σημαντικό εμπόδιο. Όταν αυτά τα προϊόντα καταλήγουν σε χωματερές, η διάσπασή τους είναι ελλιπής και πολύ πιο αργή από ό,τι θα έπρεπε, λόγω της έλλειψης οξυγόνου και των κατάλληλων μικροοργανισμών. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή μεθανίου, ενός ισχυρού αερίου του θερμοκηπίου, και στη δημιουργία μικροπλαστικών που μολύνουν το περιβάλλον. Επιπλέον, η σύγχυση μεταξύ των καταναλωτών σχετικά με το τι είναι «κομποστοποιήσιμο» και τι «βιοδιασπώμενο» οδηγεί σε λανθασμένη διάθεση. Συχνά, τα υλικά αυτά καταλήγουν μαζί με τα συμβατικά πλαστικά, με αποτέλεσμα να «μολύνουν» τις ροές ανακύκλωσης και να καθιστούν τη διαδικασία πιο δύσκολη ή και αδύνατη (Commission., Biobased, biodegradable and compostable plastics, 2024) (Agency, Biodegradable and compostable plastics □ challenges and opportunities, 2020).

### **Ο Δρόμος προς την αποτελεσματικότητα:**

Για να επιτευχθεί ουσιαστική περιβαλλοντική ωφέλεια, απαιτείται μια συνδυασμένη προσπάθεια σε πολλαπλά επίπεδα. Πρώτον, είναι απαραίτητες σημαντικές επενδύσεις σε υποδομές κομποστοποίησης. Δεύτερον, η εκπαίδευση των καταναλωτών είναι ζωτικής σημασίας για να κατανοήσουν τη διαφορά μεταξύ των υλικών και να μάθουν τον σωστό τρόπο απόρριψης. Τέλος, η υιοθέτηση ενιαίων, διεθνών προτύπων για την πιστοποίηση και τη σήμανση των προϊόντων είναι κρίσιμη, ώστε να διασφαλίζεται η σωστή διάθεση και η πλήρης διάσπασή τους. Χωρίς αυτές τις ενέργειες, τα βιοπλαστικά κινδυνεύουν να μην εκπληρώσουν τον σκοπό για τον οποίο δημιουργήθηκαν και να συνεχίσουν να αποτελούν ένα μέρος του ευρύτερου προβλήματος της πλαστικής ρύπανσης (Commission., Biobased, biodegradable and compostable plastics, 2024) (Agency, Biodegradable and compostable plastics □ challenges and opportunities, 2020).

Συμπερασματικά, Η ανάπτυξη των βιοπλαστικών, των βιοδιασπώμενων και των κομποστοποιήσιμων πλαστικών αντανάκλα την ανάγκη για βιώσιμες λύσεις στην αντιμετώπιση της πλαστικής ρύπανσης και της κλιματικής αλλαγής. Τα βιοπλαστικά,

παράγονται από ανανεώσιμες πηγές και παρουσιάζουν μειωμένο αποτύπωμα άνθρακα σε σχέση με τα συμβατικά πλαστικά (Farah Syazwani Shahar, 2015). Τα βιοδιασπώμενα πλαστικά έχουν τη δυνατότητα αποικοδόμησης σε διάφορα περιβάλλοντα, αν και η ταχύτητα και η πληρότητα της διάσπασης εξαρτώνται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Shirui Huang, 2015). α κομποστοποιήσιμα πλαστικά, με σαφείς προδιαγραφές και πρότυπα, προσφέρουν τον πιο ελεγχόμενο μηχανισμό διάσπασης, αλλά η πραγματική τους αποτελεσματικότητα προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλων υποδομών βιομηχανικής ή οικιακής κομποστοποίησης (Monick Cruz Nazareth, 2022)

Η ολοκληρωμένη αξιοποίηση αυτών των υλικών απαιτεί ένα ισχυρό θεσμικό πλαίσιο, επαρκή υποδομή διαχείρισης αποβλήτων, σαφή επισήμανση προϊόντων και συνεχή εκπαίδευση των καταναλωτών (Monjurul Islam, 2014). Μόνο με μια ολιστική προσέγγιση που συνδυάζει καινοτομία, περιβαλλοντική πολιτική και κοινωνική υπευθυνότητα, τα βιοπλαστικά μπορούν να αποτελέσουν πυλώνες μιας βιώσιμης κυκλικής οικονομίας και να συμβάλλουν ουσιαστικά στην προστασία του περιβάλλοντος για τις μελλοντικές γενιές (Afshar, 2024).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Πλαίσιο Πολιτικών και Κανονισμών για τη Βιώσιμη Διαχείριση των Πλαστικών

#### 4.1 Ρυθμιστικό και νομικό πλαίσιο αναφορικά με τη διαχείριση των πλαστικών υλικών

Η διαχείριση των πλαστικών υλικών αποτελεί έναν από τους πιο κρίσιμους τομείς της σύγχρονης περιβαλλοντικής πολιτικής, καθώς η εκτεταμένη χρήση τους έχει οδηγήσει σε σοβαρές περιβαλλοντικές προκλήσεις, όπως η ρύπανση των οικοσυστημάτων και η επιβάρυνση των αποβλήτων. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, το ρυθμιστικό και νομικό πλαίσιο διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο, θέτοντας κανόνες που αφορούν την παραγωγή, τη χρήση, τη συλλογή, την ανακύκλωση και την τελική διάθεση των πλαστικών προϊόντων. Οι νομοθεσίες αυτές, τόσο σε διεθνές όσο και σε εθνικό επίπεδο, αποσκοπούν στην προώθηση της κυκλικής οικονομίας, στην ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης και στην προστασία της δημόσιας υγείας. Επιπλέον, το πλαίσιο αυτό προσαρμόζεται συνεχώς ώστε να ανταποκρίνεται στις νέες τεχνολογικές εξελίξεις και στις μεταβαλλόμενες κοινωνικές απαιτήσεις. Στο παρόν κεφάλαιο, θα αναλυθούν οι βασικές νομικές ρυθμίσεις που διέπουν τη διαχείριση των πλαστικών υλικών, οι κύριοι φορείς και μηχανισμοί ελέγχου, καθώς και οι προκλήσεις και προοπτικές που συνοδεύουν την εφαρμογή τους στην πράξη. Με την πάροδο των ετών, έχουν θεσπιστεί και εξελιχθεί διάφορα νομοθετικά πλαίσια που στοχεύουν στη ρύθμιση της παραγωγής, χρήσης και διαχείρισης των πλαστικών υλικών. Αυτές οι ρυθμίσεις περιλαμβάνουν απαγορεύσεις ή περιορισμούς στη χρήση ορισμένων τύπων πλαστικών, όπως τα πλαστικά μιας χρήσης, καθώς και κανονισμούς που προωθούν την ανακύκλωση

και την επαναχρησιμοποίηση. Επιπλέον, πολλές χώρες και διεθνείς οργανισμοί έχουν υιοθετήσει στρατηγικές για τη μείωση της πλαστικής ρύπανσης, ενισχύοντας τη συλλογή αποβλήτων, την ευαισθητοποίηση του κοινού και την ανάπτυξη βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων.

Η εκτεταμένη χρήση των πλαστικών υλικών τις τελευταίες δεκαετίες έχει αναμφίβολα προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στην κοινωνία και την οικονομία, καθώς χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος παραγωγής, ανθεκτικότητα και ευρύ φάσμα εφαρμογών. Ωστόσο, οι ίδιες αυτές ιδιότητες έχουν καταστήσει τα πλαστικά μία από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές προκλήσεις της εποχής μας. Η δυσκολία βιοαποδόμησής τους, η αυξημένη κατανάλωση προϊόντων μίας χρήσης και η ανεπαρκής διαχείριση των αποβλήτων οδηγούν στη συσσώρευση πλαστικών στο περιβάλλον, με ιδιαίτερα ορατές επιπτώσεις στα θαλάσσια οικοσυστήματα, στην ανθρώπινη υγεία και στη βιοποικιλότητα. Οι διεθνείς και ευρωπαϊκές αρχές έχουν αναγνωρίσει ότι η ανεξέλεγκτη παραγωγή και διάθεση πλαστικών όχι μόνο επιβαρύνει τα φυσικά οικοσυστήματα, αλλά υπονομεύει και τις προσπάθειες μετάβασης προς ένα πιο βιώσιμο και κυκλικό οικονομικό μοντέλο. Για τον λόγο αυτό, η ρύθμιση της παραγωγής, χρήσης και διαχείρισης των πλαστικών υλικών θεωρείται επιτακτική. Η εφαρμογή ολοκληρωμένων νομοθετικών πλαισίων συμβάλλει στη μείωση της ρύπανσης, στην ενίσχυση της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης, καθώς και στη δημιουργία νέων ευκαιριών και κινήτρων για την καινοτομία. Σε αυτό το πλαίσιο, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αναλάβει πρωτοβουλίες για την ανάπτυξη στρατηγικών και ρυθμιστικών εργαλείων που αντιμετωπίζουν τις προκλήσεις που συνδέονται με τα πλαστικά, εναρμονίζοντας τις εθνικές πολιτικές των κρατών μελών με τους ευρύτερους στόχους της πράσινης ανάπτυξης και της βιώσιμης διαχείρισης πόρων. Η αναδρομή στις σημαντικότερες νομοθετικές εξελίξεις καθίσταται απαραίτητη προκειμένου να κατανοηθεί η πορεία της ευρωπαϊκής πολιτικής και να αναδειχθεί ο τρόπος με τον οποίο διαμορφώνεται σήμερα το ρυθμιστικό πλαίσιο για τα πλαστικά υλικά.

#### **4.1.1 Ιστορική αναδρομή των ρυθμιστικών πλαισίων της ΕΕ για τα πλαστικά**

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αναγνωρίσει από νωρίς τον σημαντικό ρόλο που διαδραματίζουν τα πλαστικά τόσο στην οικονομία όσο και στην καθημερινότητα των πολιτών, αλλά και τις σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνεπάγεται η αλόγιστη

χρήση και η ανεπαρκής διαχείρισή τους. Η προσέγγιση της ΕΕ διαμορφώθηκε σταδιακά, μέσα από μια σειρά νομοθετικών και κανονιστικών παρεμβάσεων, οι οποίες αποσκοπούν στη μείωση των αρνητικών συνεπειών των πλαστικών, την ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας και την προστασία του περιβάλλοντος. Ήδη από τη δεκαετία του 1990 τέθηκαν οι πρώτες βάσεις με την Οδηγία 94/62/ΕΚ για τις συσκευασίες και τα απορρίμματα συσκευασίας, η οποία καθιέρωσε στόχους για την πρόληψη δημιουργίας αποβλήτων και την προώθηση της ανακύκλωσης. Η Οδηγία αυτή αποτέλεσε το θεμέλιο πάνω στο οποίο οικοδομήθηκαν οι μεταγενέστερες πολιτικές για τα πλαστικά. Σημαντική τομή αποτέλεσε η Στρατηγική της ΕΕ για τα Πλαστικά (2018), η οποία παρουσίασε για πρώτη φορά μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, θέτοντας συγκεκριμένους στόχους για τη μείωση των επιπτώσεων τους, όπως: το σύνολο των πλαστικών συσκευασιών στην αγορά να είναι επαναχρησιμοποιήσιμο ή ανακυκλώσιμο έως το 2030. Η στρατηγική αυτή ανέδειξε την ανάγκη για καινοτομία, επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες και αλλαγή στον τρόπο σχεδιασμού των προϊόντων. Το 2019, με την Οδηγία (ΕΕ) 2019/904 για τα πλαστικά μίας χρήσης, η ΕΕ έκανε ένα αποφασιστικό βήμα προς τον περιορισμό συγκεκριμένων πλαστικών προϊόντων, τα οποία αντιπροσωπεύουν μεγάλο ποσοστό των θαλάσσιων απορριμμάτων. Η Οδηγία απαγορεύει τη διάθεση στην αγορά προϊόντων όπως καλαμάκια, μαχαιροπίρουνα, πιάτα και μπατονέτες από πλαστικό, ενώ παράλληλα θεσπίζει μέτρα για τη μείωση της κατανάλωσης άλλων προϊόντων, την ευθύνη των παραγωγών και την ενίσχυση της ευαισθητοποίησης των καταναλωτών. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal, 2019) έδωσε περαιτέρω ώθηση, συνδέοντας τη μείωση της ρύπανσης από πλαστικά με τους ευρύτερους στόχους για κλιματική ουδετερότητα έως το 2050. Στο πλαίσιο αυτό, το Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική Οικονομία (2020) ενίσχυσε περαιτέρω τις απαιτήσεις για ανακύκλωση, οικολογικό σχεδιασμό προϊόντων και περιορισμό της χρήσης μικροπλαστικών. Πρόσφατα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε την αναθεώρηση της νομοθεσίας για τις συσκευασίες και τα απορρίμματα συσκευασίας (2022), θέτοντας αυστηρότερους στόχους για τη μείωση των συσκευασιών, την αύξηση της ανακυκλωσιμότητας και την υποχρέωση χρήσης ανακυκλωμένου περιεχομένου σε ορισμένα πλαστικά προϊόντα.

Η πορεία αυτή αποτυπώνει την εξέλιξη της πολιτικής της ΕΕ: από την απλή διαχείριση απορριμμάτων στη δεκαετία του 1990, στη σύγχρονη ολιστική προσέγγιση που

συνδέει την καινοτομία, την κυκλική οικονομία και την προστασία του περιβάλλοντος, με στόχο την σταδιακή μετάβαση σε ένα βιώσιμο σύστημα παραγωγής και κατανάλωσης (Commission, 2019) (Key 2025 Targets of the EU Single-Use Plastics Directive, 2025) (Commission, Packaging waste) (Union, 2024)

**1.** Οδηγία για τα Πλαστικά Μίας Χρήσης (Single-Use Plastics Directive, 2019/904) Από τον Ιούλιο του 2021 εφαρμόζονται νέοι κανόνες για την απαγόρευση συγκεκριμένων πλαστικών προϊόντων όπως καλαμάκια, πιάτα, μαχαιροπίρουνα και μαστουνάκια από βαμβάκι, καθώς και για την απαγόρευση πλαστικών από διοξυδεξτρόνη (oxo-degradable) Ο κανονισμός θέτει σαφείς στόχους για συλλογή πλαστικών μπουκαλιών στη χωριστή ροή: 77 % έως το 2025 και 90 % έως το 2029, και για περιεχόμενο ανακυκλωμένου υλικού: 25 % στα PET μπουκάλια μέχρι το 2025, και 30 % σε όλα τα πλαστικά μπουκάλια έως το 2030. Επιπλέον, εισάγονται μέτρα ευθύνης των παραγωγών (EPR), απαιτήσεις σήμανσης, επισήμανσης, καθώς και κανόνες για τη σύνδεση του καπακιού με το σώμα του μπουκαλιού.

**2.** Κανονισμός για τη Συσκευασία και τα Απόβλητά, PPWR (Regulation (EU) 2025/40). Ο νέος PPWR, δημοσιεύθηκε στις 22 Ιανουαρίου 2025, τέθηκε σε ισχύ στις 11 Φεβρουαρίου 2025 και αντικαθιστά την προηγούμενη Οδηγία 94/62/EK Η εφαρμογή του ξεκινά σταδιακά και πλήρως θα καταστεί υποχρεωτικός σε όλα τα κράτη-μέλη από 12 Αυγούστου 2026, ενώ ορισμένα άρθρα θα ισχύσουν σε μεταγενέστερες ημερομηνίες. Το πλαίσιο αυτό στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της ποσότητας συσκευασιών (βάρος και όγκος), στην προώθηση επαναχρησιμοποίησης, ανακυκλωσιμότητας και στην ενσωμάτωση ανακυκλωμένων υλικών: π.χ., ορισμένα είδη πλαστικών συσκευασιών θα πρέπει να περιέχουν έως και 65 % ανακυκλωμένο περιεχόμενο μέχρι το 2040. Ο κανονισμός εισάγει επίσης την αρχή του «Design for Recycling» (DfR) για τη σχεδίαση συσκευασιών που εύκολα ανακυκλώνονται, θέτει αυστηρούς περιορισμούς σε βλαβερές ουσίες όπως PFAS, και εξορθολογίζει το νομοθετικό πλαίσιο στην εσωτερική αγορά.

## 4.2 Στρατηγικές και κανονισμοί σε ισχύ σήμερα

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, αναγνωρίζοντας τη σοβαρότητα της πλαστικής ρύπανσης και τις επιπτώσεις της στο περιβάλλον και τη δημόσια υγεία, έχει θεσπίσει ένα σύνολο στρατηγικών και κανονισμών που αποσκοπούν στη σταδιακή μετάβαση προς ένα πιο βιώσιμο παραγωγικό και καταναλωτικό μοντέλο. Οι πολιτικές αυτές δεν επικεντρώνονται μόνο στην απαγόρευση συγκεκριμένων προϊόντων, αλλά καλύπτουν ένα ευρύτερο φάσμα δράσεων που περιλαμβάνουν τη μείωση της χρήσης πλαστικών, την αύξηση της ανακύκλωσης και την ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας. Στόχος είναι να περιοριστεί η εξάρτηση από τα παρθένα ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή πλαστικών, να μειωθεί η διαρροή μικροπλαστικών στο περιβάλλον και να προωθηθεί η καινοτομία στον σχεδιασμό συσκευασιών και υλικών. Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτής της προσπάθειας αποτελεί η Οδηγία (ΕΕ) 2019/904 για τα Πλαστικά Μίας Χρήσης, η οποία εφαρμόζεται από το 2021. Με την οδηγία αυτή, η Ευρωπαϊκή Ένωση προχώρησε στην απαγόρευση διάθεσης στην αγορά προϊόντων που θεωρούνται ότι έχουν μεγάλο περιβαλλοντικό αποτύπωμα και χαμηλή αξία χρήσης, όπως τα καλαμάκια, τα πλαστικά πιάτα, τα μαχαιροπίρουνα και οι μπατονέτες. Παράλληλα, τέθηκαν δεσμευτικοί στόχοι για τη συλλογή πλαστικών φιαλών ποτών, οι οποίοι φτάνουν το 77% έως το 2025 και το 90% έως το 2029. Σημαντική καινοτομία της οδηγίας είναι η πρόβλεψη για ενσωμάτωση ανακυκλωμένου περιεχομένου στα πλαστικά μπουκάλια, με στόχο 25% έως το 2025 και 30% έως το 2030. Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται ένα νέο πλαίσιο ευθύνης τόσο για τις επιχειρήσεις παραγωγής όσο και για τους καταναλωτές, ενθαρρύνοντας τη μείωση των αποβλήτων και την προώθηση πιο υπεύθυνων πρακτικών κατανάλωσης. Περαιτέρω, η θέσπιση του Κανονισμού (ΕΕ) 2025/40 για τη Συσκευασία και τα Απόβλητά της (Packaging and Packaging Waste Regulation – PPWR) σηματοδοτεί την πιο φιλόδοξη και ολοκληρωμένη προσπάθεια της Ένωσης για την αναμόρφωση του τρόπου παραγωγής και διαχείρισης συσκευασιών. Ο νέος κανονισμός αντικαθιστά την παλαιότερη Οδηγία 94/62/ΕΚ και εισάγει ενιαίους, δεσμευτικούς κανόνες για όλα τα κράτη-μέλη. Στόχος του είναι να μειωθεί η χρήση περιττών συσκευασιών, να αυξηθεί η επαναχρησιμοποίηση και να διασφαλιστεί ότι όλες οι συσκευασίες που διατίθενται στην αγορά της ΕΕ θα είναι ανακυκλώσιμες. Παράλληλα, θέτει συγκεκριμένες απαιτήσεις για την περιεκτικότητα σε

ανακυκλωμένα υλικά, οι οποίες θα αυξάνονται σταδιακά έως το 2040, και εφαρμόζει την αρχή του «Design for Recycling», που επιβάλλει τον σχεδιασμό συσκευασιών με τρόπο που να διευκολύνει την ανακύκλωσή τους. Επιπλέον, περιλαμβάνει περιορισμούς για επικίνδυνες ουσίες, όπως οι PFAS, ενισχύοντας την προστασία της υγείας των καταναλωτών και του περιβάλλοντος. Συνολικά, οι στρατηγικές και οι κανονισμοί που βρίσκονται σήμερα σε ισχύ καταδεικνύουν την πρόθεση της Ευρωπαϊκής Ένωσης να επιτύχει μια ισορροπία ανάμεσα στην οικονομική ανάπτυξη και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Μέσα από την υιοθέτηση αυστηρότερων στόχων, την εναρμόνιση των κανόνων στην εσωτερική αγορά και την ενίσχυση της ευθύνης των παραγωγών, η Ένωση επιχειρεί να δημιουργήσει τις προϋποθέσεις για μια πραγματική μετάβαση προς την κυκλική οικονομία. Το θεσμικό πλαίσιο που εφαρμόζεται σήμερα αποτελεί έναν κρίσιμο μηχανισμό για τη μείωση της πλαστικής ρύπανσης και την προστασία των οικοσυστημάτων, ενώ ταυτόχρονα λειτουργεί ως καταλύτης για την καινοτομία και την ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων που εναρμονίζονται με τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης (Commission, 2019) (Union, 2024) .

### 4.3 Διεθνές Πλαίσιο

Η πλαστική ρύπανση έχει λάβει τα τελευταία χρόνια διαστάσεις παγκόσμιας κρίσης, επηρεάζοντας τόσο τα θαλάσσια οικοσυστήματα όσο και την ανθρώπινη υγεία. Η φύση του προβλήματος είναι διασυνοριακή, καθώς τα πλαστικά απορρίμματα μεταφέρονται μέσω θαλάσσιων ρευμάτων και ατμοσφαιρικών διεργασιών, καθιστώντας αδύνατη την αποτελεσματική αντιμετώπισή του αποκλειστικά σε εθνικό επίπεδο. Για τον λόγο αυτόν, ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 2000, διεθνείς οργανισμοί όπως ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών και το Πρόγραμμα για το Περιβάλλον τόνισαν την ανάγκη για συντονισμένη διεθνή δράση, με στόχο την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης από πλαστικά υλικά. Σημαντικό ορόσημο αποτέλεσε η απόφαση της Συνόδου του UNEA-5.2 το 2022, όπου τα κράτη-μέλη συμφώνησαν ομόφωνα να εκκινήσουν διαδικασίες για τη δημιουργία μιας νομικά δεσμευτικής διεθνούς συμφωνίας που θα καλύπτει ολόκληρο τον κύκλο ζωής των πλαστικών. Η απόφαση αυτή ήταν ιστορικής σημασίας, καθώς για

πρώτη φορά επιχειρήθηκε μια συνολική και κοινή παγκόσμια προσέγγιση, που δεν περιορίζεται μόνο στη διαχείριση των απορριμμάτων, αλλά και στην παραγωγή, τον σχεδιασμό και την κατανάλωση πλαστικών προϊόντων. Στο πλαίσιο αυτό, ιδρύθηκε η Διακυβερνητική Διαπραγματευτική Επιτροπή (INC), με εντολή να καταλήξει σε τελικό κείμενο έως το 2024. Η πορεία των διαπραγματεύσεων, ωστόσο, υπήρξε περίπλοκη. Παρά τις αρχικές φιλοδοξίες, οι συνεδριάσεις της INC αποκάλυψαν έντονες αποκλίσεις μεταξύ κρατών. Από τη μία πλευρά, η Ευρωπαϊκή Ένωση και μια ομάδα χωρών υποστήριξαν τη μείωση της πρωτογενούς παραγωγής πλαστικών, την εφαρμογή μηχανισμών παρακολούθησης και τη θέσπιση σαφών νομικών υποχρεώσεων. Από την άλλη, κράτη με ισχυρή πετροχημική βιομηχανία, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Κίνα και ορισμένες χώρες της Μέσης Ανατολής, επέμειναν σε μια πιο ήπια προσέγγιση, εστιάζοντας κυρίως στην ανακύκλωση και την εθελοντική εφαρμογή μέτρων. Σημαντικό ρόλο στις καθυστερήσεις διαδραμάτισε και η έντονη άσκηση πίεσης από βιομηχανικά λόμπι, τα οποία αντιτάχθηκαν σε κάθε προσπάθεια περιορισμού της παραγωγής πλαστικών. Η πέμπτη σύνοδος της INC, που πραγματοποιήθηκε το 2024 στο Μπουσάν και συνεχίστηκε το 2025 στη Γενεύη, δεν κατέληξε σε συμφωνία, αναδεικνύοντας τη δυσκολία γεφύρωσης των διαφορών. Η αδυναμία επίτευξης προόδου προκάλεσε απογοήτευση στη διεθνή κοινότητα, αλλά ταυτόχρονα ανέδειξε και την πολυπλοκότητα του προβλήματος: τα πλαστικά δεν αποτελούν μόνο περιβαλλοντική απειλή, αλλά συνδέονται άμεσα με την ενεργειακή ασφάλεια, την οικονομία και το εμπόριο. Παρά τις δυσκολίες, η διαδικασία παραμένει ενεργή και οι διαπραγματεύσεις συνεχίζονται, με στόχο τη σύναψη συμφωνίας στα επόμενα έτη. Παράλληλα με τις διεθνείς πρωτοβουλίες υπό την αιγίδα του ΟΗΕ, έχουν αναπτυχθεί και περιφερειακά πλαίσια συνεργασίας που επικεντρώνονται στην καταπολέμηση της πλαστικής ρύπανσης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η Σύμβαση της Βαρκελώνης για την προστασία της Μεσογείου, η οποία περιλαμβάνει δεσμευτικά μέτρα για τον περιορισμό της θαλάσσιας ρύπανσης από πλαστικά και μικροπλαστικά. Αντίστοιχες πρωτοβουλίες υπάρχουν και σε άλλες περιοχές, όπως ο Ειρηνικός και ο Ατλαντικός, δείχνοντας ότι σε περιφερειακό επίπεδο είναι δυνατή η επίτευξη πιο άμεσων και συγκεκριμένων αποτελεσμάτων. Τέλος, το διεθνές πλαίσιο διαχείρισης των πλαστικών διασταυρώνεται και με άλλες πολυμερείς συμφωνίες περιβαλλοντικής προστασίας, όπως η Σύμβαση της Βασιλείας για τη διασυνοριακή

μεταφορά επικίνδυνων αποβλήτων, η οποία έχει επεκταθεί ώστε να καλύπτει και τα πλαστικά απορρίμματα. Αυτό καταδεικνύει ότι η αντιμετώπιση του προβλήματος απαιτεί όχι μόνο νέα νομικά εργαλεία, αλλά και καλύτερη αξιοποίηση των υφιστάμενων. Η διαμόρφωση ενός ισχυρού διεθνούς πλαισίου παραμένει κρίσιμη προϋπόθεση για την ουσιαστική μείωση της πλαστικής ρύπανσης, καθώς μόνο μέσα από συνεργασία και δέσμευση όλων των κρατών μπορεί να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά μια κρίση που αφορά ολόκληρο τον πλανήτη (UNEP, Intergovernmental Negotiating Committee on Plastic Pollution, 2025) (Forum, INC-5.2: The global plastics treaty talks - here's what just happened , 2025).

#### **4.4 Εθνικό πλαίσιο (Ελλάδα)**

Η Ελλάδα, ως κράτος-μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, έχει προχωρήσει σε σημαντικές μεταρρυθμίσεις τα τελευταία χρόνια με στόχο την προσαρμογή στο κοινοτικό δίκαιο που αφορά τη μείωση της ρύπανσης από πλαστικά. Η πιο καθοριστική παρέμβαση έγινε με τον Νόμο 4736/2020 (ΦΕΚ 200/Α/20-10-2020), μέσω του οποίου ενσωματώθηκε στο εθνικό δίκαιο η Οδηγία (ΕΕ) 2019/904 για τα πλαστικά προϊόντα μιας χρήσης. Ο νόμος αυτός εισήγαγε σειρά απαγορεύσεων για συγκεκριμένες κατηγορίες πλαστικών (όπως μαχαιροπίρουνα, καλαμάκια, πιάτα, μπατονέτες, αναδευτήρες ποτών), οι οποίες χαρακτηρίζονταν ως προϊόντα με υψηλό ποσοστό ανεύρεσης σε θαλάσσια απορρίμματα. Παράλληλα, τέθηκαν οι βάσεις για την υιοθέτηση πιο βιώσιμων εναλλακτικών προϊόντων και την καλλιέργεια οικολογικής συνείδησης στους καταναλωτές. Πέραν των απαγορεύσεων, ο ίδιος νόμος εισήγαγε και ποσοτικούς στόχους μείωσης της κατανάλωσης πλαστικών μιας χρήσης. Συγκεκριμένα, προβλέφθηκε μείωση κατά 30% έως το 2024 και κατά 60% έως το 2026, σε σχέση με τα επίπεδα κατανάλωσης του 2022. Επιπλέον, θεσπίστηκε ειδική περιβαλλοντική εισφορά ύψους 0,04 ευρώ ανά τεμάχιο (πλέον ΦΠΑ) σε ορισμένα προϊόντα, με στόχο την ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας και την αλλαγή της καταναλωτικής συμπεριφοράς. Τα έσοδα της εισφοράς αυτής κατευθύνονται σε δράσεις που στηρίζουν την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση, ώστε να υπάρξει πραγματικό περιβαλλοντικό όφελος. Το εθνικό πλαίσιο ενισχύθηκε περαιτέρω με τον

Νόμο 4819/2021 (ΦΕΚ 129/Α/23-07-2021), ο οποίος περιέλαβε πιο εκτεταμένες διατάξεις για τη διαχείριση των αποβλήτων, την πρόληψη παραγωγής απορριμμάτων και την προώθηση της κυκλικής οικονομίας. Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στην ευθύνη του παραγωγού (Extended Producer Responsibility – EPR), ώστε οι εταιρείες που διαθέτουν πλαστικά προϊόντα στην αγορά να αναλαμβάνουν και το κόστος της διαχείρισής τους στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Επίσης, θεσπίστηκαν μηχανισμοί για την ενίσχυση των συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης συσκευασιών και επιβλήθηκαν αυστηρά πρόστιμα για περιπτώσεις μη συμμόρφωσης, ώστε να διασφαλιστεί η ορθή εφαρμογή του θεσμικού πλαισίου. Κλείνοντας, το εθνικό ρυθμιστικό πλαίσιο συμπληρώνεται από το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική Οικονομία (2021–2025), το οποίο θέτει οριζόντιους στόχους για τη μείωση της πλαστικής ρύπανσης και την ενίσχυση της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης υλικών. Η Ελλάδα, αν και αντιμετωπίζει διαχρονικά προβλήματα στην αποτελεσματική εφαρμογή των περιβαλλοντικών πολιτικών (όπως χαμηλά ποσοστά ανακύκλωσης και ανεπαρκείς υποδομές), επιχειρεί με τα νέα νομοθετικά εργαλεία να συνδέσει την περιβαλλοντική προστασία με την οικονομική ανάπτυξη. Σε αυτό το πλαίσιο, το εθνικό νομικό καθεστώς για τα πλαστικά συνιστά όχι μόνο υποχρέωση συμμόρφωσης με το ευρωπαϊκό δίκαιο, αλλά και ένα ουσιαστικό βήμα προς την κατεύθυνση μιας πιο βιώσιμης ανάπτυξης.

## 4.5 Συμπέρασμα

Η ρύθμιση της χρήσης των πλαστικών υλικών στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στην Ελλάδα εντάσσεται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο μετάβασης προς την κυκλική οικονομία. Η παραδοσιακή γραμμική προσέγγιση «παραγωγή – κατανάλωση – απόρριψη» οδηγεί σε σημαντικά περιβαλλοντικά και κοινωνικά κόστη, καθώς τα πλαστικά απορρίμματα συσσωρεύονται στο περιβάλλον και επηρεάζουν αρνητικά τα οικοσυστήματα και την ανθρώπινη υγεία. Η εισαγωγή κανονισμών που στοχεύουν στη μείωση, επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση των πλαστικών, μετατοπίζει το παραγωγικό και καταναλωτικό πρότυπο προς μια κυκλική λογική, όπου τα υλικά διατηρούνται στην οικονομία για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και μειώνεται η εξάρτηση από πρωτογενείς

πόρους. Η σύνδεση με τη βιώσιμη ανάπτυξη είναι εξίσου καθοριστική. Η υπεύθυνη διαχείριση των πλαστικών συμβάλλει τόσο στον Περιβαλλοντικό Πυλώνα, μειώνοντας τη ρύπανση και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όσο και στον Κοινωνικό Πυλώνα, καθώς προστατεύεται η δημόσια υγεία και διασφαλίζεται η ποιότητα ζωής των πολιτών. Επιπλέον, ενισχύεται ο Οικονομικός Πυλώνας, μέσω της ανάπτυξης νέων αγορών για ανακυκλωμένα υλικά, καινοτόμων τεχνολογιών και επιχειρηματικών μοντέλων που βασίζονται στην κυκλικότητα. Με τον τρόπο αυτό, οι πολιτικές για τα πλαστικά λειτουργούν ως μοχλός για την επίτευξη των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (SDGs), ιδιαίτερα του Στόχου 12 (Υπεύθυνη κατανάλωση και παραγωγή), του Στόχου 13 (Δράση για το κλίμα) και του Στόχου 14 (Ζωή κάτω από το νερό). Σημαντικό στοιχείο είναι ότι οι ρυθμίσεις για τα πλαστικά δεν αντιμετωπίζονται πλέον μεμονωμένα, αλλά εντάσσονται σε ένα ολοκληρωμένο θεσμικό πλαίσιο που περιλαμβάνει την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, το Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική Οικονομία και τις εθνικές στρατηγικές διαχείρισης αποβλήτων. Αυτό δείχνει πως η διαχείριση των πλαστικών έχει μετατραπεί από ένα μεμονωμένο περιβαλλοντικό ζήτημα σε έναν κρίσιμο πυλώνα στρατηγικού σχεδιασμού για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Η σταδιακή απαγόρευση των πλαστικών μιας χρήσης, η εφαρμογή συστημάτων διευρυμένης ευθύνης παραγωγού (EPR) και η θέσπιση οικονομικών κινήτρων και αντικινήτρων αποτελούν πολιτικές που επιταχύνουν τη μετάβαση σε μια οικονομία με μειωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Τελικά, η αντιμετώπιση του προβλήματος των πλαστικών υλικών δεν περιορίζεται στη συμμόρφωση με τις ευρωπαϊκές οδηγίες, αλλά συνιστά πυλώνα ενός νέου αναπτυξιακού μοντέλου για την Ελλάδα και την Ευρώπη συνολικά. Μέσα από την προώθηση της κυκλικής οικονομίας, δημιουργούνται ευκαιρίες για καινοτομία, νέες θέσεις εργασίας και ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας, ενώ ταυτόχρονα προστατεύεται το φυσικό περιβάλλον και διασφαλίζονται οι ανάγκες των μελλοντικών γενεών. Συνεπώς, οι πολιτικές για τα πλαστικά πρέπει να θεωρηθούν ως στρατηγικό εργαλείο που γεφυρώνει το χάσμα ανάμεσα στην οικονομική ανάπτυξη και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, οδηγώντας σε μια πιο ανθεκτική και ισορροπημένη κοινωνία.

#### 4.5.1 Μελλοντικές προοπτικές

Η μελλοντική πορεία της διαχείρισης των πλαστικών υλικών καθορίζεται από την ανάγκη να συνδυαστούν οι περιβαλλοντικοί στόχοι με την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη. Οι ευρωπαϊκές στρατηγικές δείχνουν ότι η τάση θα επικεντρωθεί στην ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας, με τη δημιουργία κλειστών κύκλων ζωής για τα υλικά. Αυτό σημαίνει ότι τα πλαστικά προϊόντα θα πρέπει να σχεδιάζονται εξ αρχής ώστε να είναι πιο ανθεκτικά, επαναχρησιμοποιήσιμα και ανακυκλώσιμα. Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναμένεται να επεκτείνει το πεδίο εφαρμογής της οδηγίας για τα πλαστικά μιας χρήσης, ενσωματώνοντας νέα προϊόντα και αυστηρότερες υποχρεώσεις για τους παραγωγούς (Commission, A new Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe., 2020). Η τεχνολογία θα αποτελέσει έναν από τους βασικότερους μοχλούς αλλαγής. Οι παραδοσιακές μέθοδοι μηχανικής ανακύκλωσης συχνά παρουσιάζουν περιορισμούς, γι' αυτό και το ενδιαφέρον στρέφεται σε νέες τεχνολογίες όπως η χημική ανακύκλωση και η παραγωγή βιοπλαστικών. Η χημική ανακύκλωση υπόσχεται να μετατρέπει τα πλαστικά απόβλητα σε πρώτες ύλες υψηλής ποιότητας, μειώνοντας την ανάγκη για ορυκτούς πόρους. Παράλληλα, η ανάπτυξη βιοδιασπώμενων και κομποστοποιήσιμων υλικών δημιουργεί νέες δυνατότητες υποκατάστασης, ιδιαίτερα σε προϊόντα συσκευασίας. Ωστόσο, η εφαρμογή τους θα πρέπει να συνοδεύεται από σαφή κανονιστικά πλαίσια ώστε να διασφαλιστεί ότι πράγματι μειώνουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα (OECD, 2022). Σε κοινωνικό επίπεδο, οι μελλοντικές πολιτικές αναμένεται να δώσουν μεγαλύτερη έμφαση στην ευαισθητοποίηση και συμμετοχή των πολιτών. Η αλλαγή καταναλωτικών συνηθειών –όπως η αποφυγή περιττών πλαστικών προϊόντων, η σωστή ανακύκλωση και η προτίμηση βιώσιμων επιλογών– θα είναι καθοριστική για την επιτυχία των στρατηγικών. Προγράμματα εκπαίδευσης και ενημέρωσης, αλλά και οικονομικά κίνητρα για βιώσιμη κατανάλωση, προβλέπεται να ενισχυθούν σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο. Η κοινωνική αποδοχή των νέων ρυθμίσεων θα καθορίσει σε μεγάλο βαθμό την αποτελεσματικότητά τους (UNEP, From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution , 2021). Τέλος, οι προοπτικές διαμορφώνονται και από τον διεθνή διάλογο. Η διεθνής κοινότητα προχωρά προς τη σύναψη μιας παγκόσμιας νομικά δεσμευτικής συμφωνίας για τα πλαστικά έως το 2024,

υπό την αιγίδα του UNEP, η οποία θα λειτουργήσει αντίστοιχα με τη Συμφωνία του Παρισιού για το κλίμα. Η συμφωνία αυτή αναμένεται να θέσει κοινά πρότυπα, να ενισχύσει τη συνεργασία για τη μείωση της πλαστικής ρύπανσης και να διευκολύνει τη μεταφορά τεχνολογίας και χρηματοδότησης προς τις αναπτυσσόμενες χώρες. Εάν επιτευχθεί, θα αποτελέσει ένα σημαντικό βήμα προς μια παγκόσμια, συντονισμένη δράση που θα στηρίξει την κυκλική οικονομία και θα ενδυναμώσει τις προοπτικές βιώσιμης ανάπτυξης (UNEP, End plastic pollution-Towards an international legally binding instrument, 2022).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### Συμπεράσματα διπλωματικής εργασίας

#### 5.1 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, η παρούσα ερευνά, ανέδειξε τη διττή φύση των πλαστικών: αφενός αποτελούν μια από τις σημαντικότερες εφευρέσεις του 20ού αιώνα, χάρη στην ευελιξία, την ανθεκτικότητα και το χαμηλό κόστος τους, αφετέρου, η μαζική χρήση τους έχει δημιουργήσει σοβαρές περιβαλλοντικές προκλήσεις. Τα πλαστικά έχουν ενσωματωθεί βαθιά στην καθημερινή ζωή και τη βιομηχανία, καλύπτοντας ανάγκες από τη συσκευασία και τα οικιακά προϊόντα μέχρι τη βιομηχανία και την τεχνολογία. Η παραγωγή τους έχει αυξηθεί δραματικά τις τελευταίες δεκαετίες, φτάνοντας τους 338 εκατομμύρια τόνους το 2019, γεγονός που έχει επιφέρει σημαντική πίεση στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία. Η διάχυση των πλαστικών στο φυσικό περιβάλλον έχει οδηγήσει σε εκτεταμένη και πολύπλοκη μορφή ρύπανσης, με τα απορρίμματα να συσσωρεύονται σε παράκτιες περιοχές, θαλάσσια οικοσυστήματα και χώρους ταφής. Επιπλέον, τα πλαστικά υποβάλλονται σε διαδικασίες φθοράς, όπως η έκθεση σε ηλιακή ακτινοβολία, η τριβή, τα κύματα και η χημική διάσπαση, οδηγώντας στη δημιουργία μικροπλαστικών και νανοπλαστικών, τα οποία διεισδύουν σε ευρύτερα οικοσυστήματα και επηρεάζουν τη βιοποικιλότητα. Η έλλειψη κατάλληλων υποδομών διαχείρισης, τα ανεπαρκή συστήματα συλλογής και οι λανθασμένες πρακτικές διάθεσης έχουν επιδεινώσει το πρόβλημα, καθιστώντας τα πλαστικά και τα μικροπλαστικά ένα από τα μεγαλύτερα και πιο σύνθετα περιβαλλοντικά ζητήματα παγκοσμίως. Η παρουσία μικροπλαστικών στον ανθρώπινο οργανισμό έχει προκαλέσει αυξανόμενη ανησυχία για τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία. Τα μικροπλαστικά προέρχονται τόσο από τη φθορά μεγαλύτερων πλαστικών αντικειμένων στο περιβάλλον, όσο και από καθημερινές ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η χρήση καλλυντικών, απορρυπαντικών ή συνθετικών υφασμάτων. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα

σωματίδια αυτά μπορούν να εισέλθουν στον οργανισμό μέσω της τροφής, του νερού ή του αέρα, και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και στον εγκέφαλο, προκαλώντας συμπτώματα παρόμοια με εκείνα της νόσου Αλτσχάιμερ. Επιπλέον, η ανίχνευσή τους στον ανθρώπινο πλακούντα υποδηλώνει ότι μπορεί να επηρεάζουν την ανάπτυξη του εμβρύου, θέτοντας σε κίνδυνο ευαίσθητες φάσεις της ανθρώπινης ζωής. Τα ευρήματα αυτά υπογραμμίζουν την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα, καθώς και για την ανάπτυξη στρατηγικών που θα περιορίζουν την έκθεση του ανθρώπου στα μικροπλαστικά και θα μειώνουν τους κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Στο πλαίσιο της αντιμετώπισης της πλαστικής ρύπανσης, η ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνολογιών ανακύκλωσης, όπως το upcycling, προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για την επαναχρησιμοποίηση πλαστικών και τη μείωση των απορριμμάτων. Μέσω της μετατροπής χρησιμοποιημένων πλαστικών σε νέα προϊόντα, μειώνεται η ανάγκη παραγωγής νέων πλαστικών, ενώ παράλληλα περιορίζεται η συσσώρευση απορριμμάτων στο περιβάλλον. Η αποτελεσματικότητα αυτών των μεθόδων εξαρτάται όμως από την ύπαρξη κατάλληλων υποδομών, τη σωστή εκπαίδευση των χρηστών και την ορθή διαχείριση σε κάθε περιοχή. Οι τεχνολογίες αυτές δεν αποτελούν μόνο πρακτική λύση, αλλά συνιστούν και μια στρατηγική που ενισχύει την κυκλική οικονομία, μειώνοντας την εξάρτηση από νέες πρώτες ύλες και προωθώντας τη βιώσιμη κατανάλωση. Παράλληλα, η χρήση βιοδιασπώμενων και κομποστοποιήσιμων πλαστικών υλικών προσφέρει περαιτέρω δυνατότητες μείωσης της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, καθώς τα υλικά αυτά μπορούν να αποικοδομηθούν υπό συγκεκριμένες συνθήκες, περιορίζοντας τη συσσώρευση απορριμμάτων. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα αυτών των υλικών εξαρτάται από τις συνθήκες διάσπασής τους, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η ύπαρξη βιομηχανικών μονάδων κομποστοποίησης, γεγονός που σημαίνει ότι η σωστή διαχείριση των απορριμμάτων παραμένει κρίσιμη. Η επιτυχία της εφαρμογής τους απαιτεί συνεργασία σε επίπεδο βιομηχανίας, πολιτικής και κοινωνίας, ώστε να διασφαλίζεται η ορθή χρήση τους, η ενημέρωση του κοινού και η μεγιστοποίηση του περιβαλλοντικού οφέλους, ενισχύοντας συνολικά τη βιώσιμη παραγωγή και κατανάλωση. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και το ρυθμιστικό και νομικό πλαίσιο στη διαχείριση των πλαστικών απορριμμάτων. Σε διεθνές επίπεδο, οι συμφωνίες και οι κατευθυντήριες οδηγίες επιδιώκουν τη μείωση της χρήσης πλαστικών, την προώθηση της ανακύκλωσης και την προστασία των θαλάσσιων και χερσαίων οικοσυστημάτων από την πλαστική ρύπανση. Σε

ευρωπαϊκό επίπεδο, η οδηγία για τα απορρίμματα συσκευασίας (PPWD) και ο κανονισμός PPWR θέτουν συγκεκριμένους ποσοτικούς στόχους για τη μείωση, την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση των πλαστικών προϊόντων, ενώ παράλληλα εισάγουν μέτρα για τον περιορισμό των πλαστικών μιας χρήσης και την αύξηση της υπευθυνότητας των παραγωγών.

Στην Ελλάδα, η εφαρμογή πολιτικών που ενισχύουν την ανακύκλωση, η ανάπτυξη συστημάτων συλλογής και διαλογής απορριμμάτων, καθώς και η ευαισθητοποίηση του κοινού, συνεισφέρουν ουσιαστικά στην αντιμετώπιση της πλαστικής ρύπανσης και στην προώθηση βιώσιμων πρακτικών. Επιπλέον, η ενσωμάτωση ρυθμιστικών μέτρων στον ιδιωτικό τομέα, όπως η υποχρεωτική αναφορά ποσοτών ανακύκλωσης, η τήρηση προτύπων για βιοδιασπώμενα υλικά και η εφαρμογή ελέγχων συμμόρφωσης, επιτρέπει μια πιο στοχευμένη και ελεγχόμενη εφαρμογή στρατηγικών διαχείρισης πλαστικών. Παράλληλα, η ανάπτυξη εκπαιδευτικών προγραμμάτων και εκστρατειών ευαισθητοποίησης συμβάλλει στην αλλαγή καταναλωτικών συμπεριφορών και στην ενίσχυση της κοινωνικής υπευθυνότητας, ενθαρρύνοντας τη μείωση χρήσης πλαστικών, την επαναχρησιμοποίηση και τη σωστή ανακύκλωση. Η συνεργασία μεταξύ κυβερνήσεων, βιομηχανίας, πανεπιστημιακών ιδρυμάτων και κοινωνίας των πολιτών μπορεί να δημιουργήσει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο δράσης, όπου η τεχνολογική καινοτομία συνδυάζεται με πολιτικές και κοινωνικές στρατηγικές. Τέλος, η μελλοντική ενίσχυση της νομοθεσίας θα πρέπει να εστιάσει στην εφαρμογή πιο αυστηρών μέτρων για τα πλαστικά μιας χρήσης, στη θέσπιση κινήτρων για παραγωγή και χρήση βιοδιασπώμενων και κομποστοποιήσιμων πλαστικών, καθώς και στην προώθηση κυκλικών μοντέλων παραγωγής. Η συνεχής αξιολόγηση και προσαρμογή των πολιτικών, σε συνδυασμό με επενδύσεις στην έρευνα και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών ανακύκλωσης, μπορεί να διασφαλίσει ότι οι στρατηγικές διαχείρισης πλαστικών θα είναι αποτελεσματικές και βιώσιμες μακροπρόθεσμα.

Συνολικά, η εργασία αυτή καταδεικνύει την αναγκαιότητα μιας ολοκληρωμένης, πολυδιάστατης προσέγγισης στη διαχείριση των πλαστικών απορριμμάτων. Η πρόληψη στη χρήση πλαστικών, η εκπαίδευση του κοινού και η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών αποτελούν θεμέλια για τη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, ενώ η ανάπτυξη και

εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών ανακύκλωσης, όπως το upcycling, η αξιοποίηση βιοδιασπώμενων και κομποστοποιήσιμων υλικών και η προώθηση βιοπλαστικών, μπορούν να προσφέρουν πρακτικές λύσεις και να μειώσουν την εξάρτηση από μη ανανεώσιμες πρώτες ύλες. Η επιτυχής εφαρμογή αυτών των μέτρων απαιτεί συνεργασία σε όλα τα επίπεδα: μεταξύ κυβερνήσεων, βιομηχανίας και κοινωνίας των πολιτών, με σκοπό την ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας και τη διασφάλιση βιώσιμων αποτελεσμάτων. Επιπλέον, η παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας των πολιτικών και των τεχνολογικών λύσεων, σε συνδυασμό με συνεχή επιστημονική έρευνα για τις επιπτώσεις των μικροπλαστικών στον άνθρωπο και το περιβάλλον, είναι κρίσιμη. Η δημιουργία συστημάτων μέτρησης, η συλλογή δεδομένων και η ανάπτυξη προληπτικών στρατηγικών μπορούν να οδηγήσουν σε στοχευμένες παρεμβάσεις που μειώνουν την έκθεση σε πλαστικά και βελτιώνουν την περιβαλλοντική ποιότητα. Τέλος, η ενσωμάτωση αυτών των στρατηγικών σε ευρύτερες πολιτικές βιώσιμης ανάπτυξης και κυκλικής οικονομίας καθιστά δυνατή τη μακροπρόθεσμη προστασία των φυσικών πόρων και της ανθρώπινης υγείας, καθιστώντας τη διαχείριση των πλαστικών όχι μόνο τεχνικό, αλλά και κοινωνικό και ηθικό ζήτημα.

Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί σε πολλαπλούς άξονες, ώστε να αντιμετωπιστεί ολοκληρωμένα η πρόκληση της πλαστικής ρύπανσης. Καταρχάς, είναι απαραίτητη η συνεχής παρακολούθηση και αξιολόγηση των επιπτώσεων των μικροπλαστικών στην ανθρώπινη υγεία, συμπεριλαμβανομένων των μακροχρόνιων συνεπειών στον εγκέφαλο, το ανοσοποιητικό σύστημα και την ανάπτυξη του εμβρύου, με στόχο τη δημιουργία επιστημονικά τεκμηριωμένων οδηγιών και ορίων έκθεσης. Παράλληλα, η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών ανακύκλωσης, όπως βιοκαταλυτές, εξειδικευμένα ένζυμα και προηγμένα συστήματα upcycling, μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της επαναχρησιμοποίησης πλαστικών και να μειώσει την εξάρτηση από ορυκτές πρώτες ύλες. Επιπρόσθετα, η αξιολόγηση και η ενίσχυση της αποτελεσματικότητας των πολιτικών διαχείρισης απορριμμάτων σε διεθνές, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο είναι κρίσιμη για την εξασφάλιση πραγματικών αποτελεσμάτων. Η έρευνα θα πρέπει να συνδυάζει τεχνολογικές λύσεις με κοινωνικές και εκπαιδευτικές στρατηγικές, προωθώντας την ενημέρωση του κοινού, την υπεύθυνη κατανάλωση και την ενσωμάτωση βιώσιμων πρακτικών στη βιομηχανία και την καθημερινή ζωή. Ταυτόχρονα,

η ανάπτυξη εργαλείων παρακολούθησης και μέτρησης των απορριμμάτων, η συλλογή δεδομένων για την κατανομή και τις επιπτώσεις των μικροπλαστικών, καθώς και η εφαρμογή στρατηγικών πρόληψης, μπορούν να οδηγήσουν σε στοχευμένες παρεμβάσεις που μειώνουν ουσιαστικά την περιβαλλοντική και ανθρώπινη επιβάρυνση. Σε μακροπρόθεσμο επίπεδο, η έρευνα θα πρέπει να εξετάσει και την οικονομική και κοινωνική διάσταση της διαχείρισης των πλαστικών, προκειμένου να δημιουργηθούν βιώσιμα μοντέλα κυκλικής οικονομίας που θα ισορροπούν τις ανάγκες της βιομηχανίας, της κοινωνίας και του περιβάλλοντος. Μόνο μέσω μιας συντονισμένης, πολυδιάστατης και διεπιστημονικής προσέγγισης μπορεί να επιτευχθεί η ουσιαστική μείωση της πλαστικής ρύπανσης, η προστασία του περιβάλλοντος, η διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας και η δημιουργία συνθηκών για έναν πιο βιώσιμο και ασφαλή πλανήτη. Η ενσωμάτωση τεχνολογικών, πολιτικών, κοινωνικών και εκπαιδευτικών στρατηγικών αποτελεί τον δρόμο προς ένα μέλλον όπου η χρήση πλαστικών θα συνδυάζεται με υπευθυνότητα, καινοτομία και σεβασμό στους φυσικούς πόρους.

Συνοψίζοντας, η πτυχιακή αυτή εργασία αναδεικνύει ότι τα πλαστικά αποτελούν τόσο εργαλείο προόδου όσο και πρόκληση για τον πλανήτη. Η χρήση τους καλύπτει βασικές ανάγκες της καθημερινότητας και της βιομηχανίας, όμως η αλόγιστη κατανάλωση και η ανεπαρκής διαχείρισή τους οδηγούν σε σοβαρές περιβαλλοντικές και υγειονομικές επιπτώσεις, όπως η διάχυση μικροπλαστικών σε θαλάσσια οικοσυστήματα και στον ανθρώπινο οργανισμό. Από την ανάλυση των τεχνολογιών ανακύκλωσης, των βιοδιασπώμενων υλικών και των ρυθμιστικών πλαισίων προκύπτει ότι η λύση δεν είναι μονοδιάστατη: απαιτείται συνεργασία ανάμεσα στην επιστημονική κοινότητα, τη βιομηχανία, τους φορείς λήψης αποφάσεων και την κοινωνία των πολιτών, ώστε η διαχείριση των πλαστικών να γίνει βιώσιμη, αποτελεσματική και υπεύθυνη. Ωστόσο, η πρόκληση για το μέλλον παραμένει σημαντική. Είναι αναγκαίο να επενδύσουμε στην έρευνα για νέες τεχνολογίες που θα βελτιώσουν την αποικοδόμηση και την ανακύκλωση των πλαστικών, αλλά και στην κατανόηση των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων των μικροπλαστικών στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Επιπλέον, η αλλαγή της καταναλωτικής κουλτούρας και η ενίσχυση της εκπαίδευσης σχετικά με τη βιώσιμη χρήση πλαστικών μπορεί να αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα για τη μελλοντική μείωση της ρύπανσης. Μια ενδιαφέρουσα οπτική για τον αναγνώστη είναι ότι η πλαστική ρύπανση

δεν είναι μόνο πρόβλημα τεχνολογικό ή πολιτικό, αλλά και κοινωνικό και ηθικό· η επιλογή μας να μειώσουμε, να επαναχρησιμοποιούμε και να ανακυκλώνουμε πλαστικά σήμερα, διαμορφώνει τον πλανήτη που θα παραδώσουμε στις επόμενες γενιές. Η πρόκληση είναι να συνδυάσουμε καινοτομία, υπευθυνότητα και συνεργασία, ώστε τα πλαστικά να συνεχίσουν να προσφέρουν αξία, χωρίς να θυσιάζουν το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία.

## Βιβλιογραφία:

- (EEA), E. E. (2020). Plastics, the circular economy and Europe's environment — A priority for action.
- (EPA), U. E. (2015). *Microbead-Free Waters Act of 2015*. Ανάκτηση από <https://www.fda.gov/cosmetics/cosmetics-laws-regulations/microbead-free-waters-act-faqs>
- Abdullah Al Mamun, T. A. ( 2023, February). Microplastics in human food chains: Food becoming a threat to health safety. *Science of The Total Environment*.
- Adil Bakir, A. B. ( 2012, December). Competitive sorption of persistent organic pollutants onto microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* .
- Afshar, S. V. (2024). Degradation of biodegradable plastics in waste management environments. *Journal of Cleaner Production* .
- Agency, E. E. (2020). Biodegradable and compostable plastics □ challenges and opportunities. *European Environment Agency*.
- Agency, E. E. (2020). *Biodegradable and compostable plastics — challenges and opportunities*. Ανάκτηση από European Environment Agency: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/biodegradable-and-compostable-plastics-challenges-and-opportunities>
- Ali, S. S. (2023, February 19). Bioplastic production in terms of life cycle assessment: A state-of-the-art review. *Environmental Science and Ecotechnology*.
- Andrady, A. L. (2009). Applications and societal benefits of plastics. *Biological Sciences*.
- Antonio Ragusa, A. S. (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environmental International*.
- ASTM. (2023). Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities. *ASTM International*.
- Baird, E. A. (2016, November 25). The Concept of Waste and Waste Management. *Journal of Management and Sustainability*.
- Bakker, C. W. (2014). Products that go round: Exploring product life extension through design. *Journal of Cleaner Production*.
- Bioplastics, E. (2023). Bioplastics – facts and figures.
- Bioplastics, E. (2023). Certifications for bioplastics. *European Bioplastics*.

- bioplastics, e. (2023). HOME COMPOSTING. *european bioplastics*.
- Brahney, J. H. (2020). Plastic rain in protected areas of the United States. *Science*.
- Camacho-Otero, J. B. (2018). Consumption in the circular economy: A literature review. *Sustainability*.
- Centre, J. R. (2024). *New methodology to measure microplastics in EU's drinking water*.  
Ανάκτηση από European Commission: [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/new-methodology-measure-microplastics-eus-drinking-water-2024-04-23\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/new-methodology-measure-microplastics-eus-drinking-water-2024-04-23_en)
- Charter, M. &. (2016). Upcycling and the circular economy: Research report. *Centre for Sustainable Design, University for the Creative Arts*.
- Commission, E. (2019). Single-use plastics. *European Commission*.
- Commission, E. (2020). A new Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe. *European Commission*.
- Commission, E. (2023). *Regulation (EU) 2023/2055 on intentionally added microplastics*.  
Ανάκτηση από European Commission: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX%3A32023R2055>
- Commission, E. (χ.χ.). Packaging waste. *European Commission*.
- Commission., E. ((2023b)). *Overview of EU policies and initiatives on microplastics*. Ανάκτηση από European Commission.:  
[https://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/microplastics\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/microplastics_en.htm)
- Commission., E. (2023). *Commission adopts restriction on intentionally added microplastics*.  
Ανάκτηση από European Commission.:  
[https://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/microplastics\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/microplastics_en.htm)
- Commission., E. (2024). biobased, biodegradable and compostable plastics.
- Commission., E. (2024). Biobased, biodegradable and compostable plastics.
- Commission., E. (2024). *New methodology to measure microplastics in EU's drinking water*.  
Ανάκτηση από European Commission. : (Commission, 2023)
- Danso, D. S. (2018). The growing world of plastic-degrading microorganisms and their enzymes. *Applied and Environmental Microbiology*.
- Dong-Wook Lee, J. J. (2024). Microplastic particles in human blood and their association with coagulation markers. *Scientific reports*.
- Dutchen, S. (2023). Microplastics Everywhere. *HARVARD medicine*.

- Eswar Marcharla, S. V. ( 2024, September ). Microplastics in marine ecosystems: A comprehensive review of biological and ecological implications and its mitigation approach using nanotechnology for the sustainable environment. *Environmental Research* .
- Evangelidou, N. G.-A. (2022). Sources and fate of atmospheric microplastics revealed by models and observations. *Environment International*.
- Farah Syazwani Shahar, T. S. (2015). The Evolution and Environmental Prospects of Renewable Bioplastics. *Journal of Renewable Materials*.
- Forum, W. E. (2023). *World Economic Forum* . Ανάκτηση από <https://www.weforum.org>
- Forum, W. E. (2025). *Global Plastic Action Partnership: new members join*. Ανάκτηση από World Economic Forum.: <https://www.weforum.org/platforms/global-plastic-action-partnership>
- Forum, W. E. (2025). INC-5.2: The global plastics treaty talks - here's what just happened .
- Foundation, E. M. (2016). *he New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics*. Ανάκτηση από Ellen MacArthur Foundation: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org>
- Foundation, E. M. (2016). Towards circular economy implementation: a comprehensive review of existing concepts and future directions. *Journal of Cleaner Production*.
- Fu Gu, J. G. (2017, June 9). From waste plastics to industrial raw materials: A life cycle assessment of mechanical plastic recycling practice based on a real-world case study. *Science of the Total Environment* .
- Geyer, R. J. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*.
- Geyer, R. J. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science*.
- Hong Giang Hoang, N. S. (2025). A review of microplastic pollution and human health risk assessment: current knowledge and future outlook. *Frontiers*.
- Hopewell, J. D. (2009). Plastics recycling: Challenges and opportunities. Philosophical Transactions of the Royal Society. *Biological Sciences*.
- Horton, A. A. (2022, January 15). Plastic pollution: When do we know enough? *Journal of Hazardous Materials* .
- Howard, J. (2024, August). Marine pollution, explained. *NATIONAL GEOGRAPHIC*.
- Key 2025 Targets of the EU Single-Use Plastics Directive. (2025). *Plastics engineering*.
- King, S. (2017). Η Κυκλική Οικονομία: Μια ανασκόπηση των θεωρητικών θεμελίων και της εξέλιξης της έννοιας.

- Klára Cverenkárová, M. V. (2021). Microplastics in the Food Chain. *Life* .
- Lieder, M. &. (2016). Towards circular economy implementation: a comprehensive review of existing concepts and future directions. . *Journal of Cleaner Production*.
- Lieder, M. &. (2016). Towards circular economy implementation: a comprehensive review of existing concepts and future directions. *Journal of Cleaner Production*.
- Mikaël Kedzierski, D. F. (2020, October 20). Why is there plastic packaging in the natural environment? Understanding the roots of our individual plastic waste management behaviours. *Science of the Total Environment* .
- Monick Cruz Nazareth, M. R. (2022). Key issues for bio-based, biodegradable and compostable plastics. *Journal of Environmentatl Management* .
- Monjurul Islam, T. X. (2014). Impact of bioplastics on environment from its production to disposal. *Process Safety and Environmental Protection* .
- Mulder, K. F. (1998). Sustainable Consumption and Production of Plastics? *sgsgsgsgse*.
- Nations., U. (2022). *UN Environment Assembly 2022: Agreement to end plastic pollution*.  
Ανάκτηση από United Nations.: <https://www.unep.org/resources/resolution/end-plastic-pollution>
- Natur-Bag. (2022). Home Composting vs. Industrial Composting.
- Nizamuddin, S. e. (2024). Advances in bioplastics and their potential environmental impacts.
- NOAA. (2024). *What are microplastics?* Ανάκτηση από The National Ocean Service:  
<https://oceanservice.noaa.gov/facts/microplastics.html>
- Nur Sakinah Roslan, Y. Y. (2024). Detection of microplastics in human tissues and organs: A scoping review. *National Center for Biotechnology Information* .
- Nur Sakinah Roslan, Y. Y. (2024). Detection of microplastics in human tissues and organs: A scoping review . *Journal of global heath*.
- OECD. (2022). Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060. *OECD*.
- P., S. (2019). *The Guardian*. Ανάκτηση από The Guardian:  
<https://www.theguardian.com/environment/2018/oct/22/microplastics-found-in-human-stools-for-the-first-time>
- P.G.C. Nayanathara Thathsarani Pilapitiya, A. S. (2024, March ). The world of plastic waste: A review. *Cleaner Materials* .
- Parker, L. (2022). Microplastics are in our bodies. How much do they harm us? *National Geographic* .

- Piao, Y. e. (2024). Biodegradation of microplastics and environmental implications. *Nature*.
- Policy Department for Citizens. (2020, October). *The environmental impacts of plastics and micro-plastics use, waste and pollution: EU and national measures*. Ανάκτηση από [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL\\_STU\(2020\)658279](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL_STU(2020)658279)
- Ragaert, K. D. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*.
- Ritchie, H. (2023, September 26,). *Our World*. Ανάκτηση από <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>
- Rodriguez, F. (2024, Sep 26). *Plastic*. Retrieved from Britannica: <https://www.britannica.com/science/plastic>
- Rujnić-Sokele, M. P. (2017). Challenges and opportunities of biodegradable plastics: A review. *National Center for Biotechnology Information*.
- Sadia Mehmood Satti, M. H. (2024, June 02). Bio-upcycling of plastic waste: a sustainable innovative approach for circular economy. *Water, Air, & Soil Pollution*.
- Science History Institute. (n.d.). *Science History Institute*. Retrieved from <https://www.sciencehistory.org/education/classroom-activities/role-playing-games/case-of-plastics/history-and-future-of-plastics/>
- Shen, L. W. (2020). Bioplastic production in terms of life cycle assessment: A state-of-the-art review. *Environmental Science and Ecotechnology*.
- Shen, L. W. (2020). Present and future development in plastics from biomass. . *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*.
- Shirui Huang, Q. D. (2015). Bioplastics and biodegradable plastics: A review of recent developments. *Science of The Total Environment*.
- Solutions, P. (2022). *Biodegradable and compostable plastics*. Ανάκτηση από Plastic Solutions Review: <https://plasticsolutionsreview.com/biodegradable-and-compostable-plastics/#>
- Solutions, P. (2022). *Break Free From Plastic. Biodegradable and compostable plastics*. Ανάκτηση από Plastic Solutions Review: <https://plasticsolutionsreview.com/biodegradable-and-compostable-plastics/>
- Stahel, W. R. (2016). The circular economy. *Nature*.
- Stahel, W. R. (2016). The circular economy. *Nature*.
- Sung, K. C. (2019). Individual upcycling practice: Exploring the possible determinants of upcycling based on a literature review. *Sustainable Production and Consumption*.

- The Editors of Encyclopaedia Britannica. (1998, July 20). *Britannica* . Ανάκτηση από <https://www.britannica.com/biography/Leo-Baekeland>
- The Editors of Encyclopaedia Britannica. (1998, July 20). *Celluloid*. Ανάκτηση από Britannica: <https://www.britannica.com/technology/celluloid>
- Toffler, A. (1980). *The Third Wave*. New York: Bantam Books.
- Tournier, V. e. (2020). An engineered PET depolymerase to break down and recycle plastic bottles. *Nature*.
- UNEP. (2021). *From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution* . *UNEP* .
- UNEP. (2021). *From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution*. *UNEP*.
- UNEP. (2021). *From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution*. . Ανάκτηση από UNEP.
- UNEP. (2021). *Global Plastics Outlook*.
- UNEP. (2022). *End plastic pollution-Towards an international legally binding instrument*.
- UNEP. (2022). *NEA 5.2: Historic resolution to end plastic pollution. United Nations Environment Programme*. . Ανάκτηση από UNEP: <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/>
- UNEP. (2025). *Intergovernmental Negotiating Committee on Plastic Pollution*. *UNEP*.
- Union, E. (2024). *REGULATION (EU) 2025/40 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL*. *European Union*.
- United Nations. (χ.χ.). *UN Environment Programme : UNEP*. Ανάκτηση από UN Environment Programme : UNEP: <https://www.unep.org/interactives/beat-plastic-pollution/>
- Yudong Feng, C. T. (2023). A systematic review of the impacts of exposure to micro- and nano-plastics on human tissue accumulation and health. *Eco- Environment & Health*.