ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“Θαλάσσια ρύπανση από μικροπλαστικά στην Μεσόγειο. Διερεύνηση της τύχης τους και τρόποι αντιμετώπισης στην πηγή. ”

“Microplastic marine pollution in the Mediterranean. A deep dive into the problem and ways to deal with it at the source.”

Ονοματεπώνυμο Φοιτήτριας: Αναστασίου Ραφαήλα

Αριθμός Μητρώου: 3019119

Επιβλέπων: Κ. Μιλτιάδης Ζαμπάρας

Λάρισα, Σεπτέμβριος 2023

Θαλάσσια ρύπανση από μικροπλαστικά στην Μεσόγειο. Διερεύνηση της τύχης τους και τρόποι αντιμετώπισης στην πηγή.

Περίληψη

Δεδομένου ότι το νερό καλύπτει περίπου τα 3/4 της γήινης επιφάνειας, η σημασία του είναι ευρέως αναγνωρισμένη . Οι ωκεανοί και οι θάλασσες αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της υδρόσφαιρας, η οποία καλύπτει το 97,3% της επιφάνειας του πλανήτη και το 71% του όγκου του. Το υπόλοιπο τμήμα (2,7%) καλύπτεται από το ατμοσφαιρικό και το ηπειρωτικό νερό . Η μεγάλη ποσότητα ρύπων που εισέρχονται στο θαλάσσιο οικοσύστημα ως αποτέλεσμα της εντατικής αστικοποίησης, της ραγδαίας βιομηχανικής ανάπτυξης, της αντικατάστασης του πετρελαίου ως κύριας πηγής ενέργειας ,της αυξανόμενης χρήσης των θαλάσσιων μεταφορών , της καθημερινής χρήσης φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων, της τεχνολογικής προόδου και άλλων παραγόντων έχει προσελκύσει μεγάλη επιστημονική προσοχή τα τελευταία χρόνια. Οποιαδήποτε διάβρωση της φυσικής ποιότητας του νερού αναφέρεται ως ρύπανση. Η ρύπανση του περιβάλλοντος αναφέρεται ως ρύπανση στην οδηγία 2000/60/ΕΚ της ΕΕ. Σύμφωνα με την πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα ύδατα, η ρύπανση χαρακτηρίζεται ως το αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της άμεσης ή έμμεσης εισαγωγής ουσιών ή θερμότητας στον αέρα, το νερό ή το έδαφος που μπορεί να είναι επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία ή την ποιότητα των υδάτινων οικοσυστημάτων ή των χερσαίων οικοσυστημάτων που εξαρτώνται άμεσα από τα υδάτινα οικοσυστήματα, να προκαλέσει την υποβάθμιση της υλικής ιδιοκτησίας ή να επηρεάσει αρνητικά ή να παρεμποδίσει τις δραστηριότητες αναψυχής ή άλλες νόμιμες χρήσεις του περιβάλλοντος. Η ρύπανση συνιστά μόλυνση μόνο εάν θέτει σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία. Έχει μικροβιολογική προέλευση και συνδέεται με την ύπαρξη επιβλαβών μικροβίων ως αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Κάθε υδατοδιαλυτή ύλη που όταν εισάγεται στο περιβάλλον από ανθρώπινες δραστηριότητες, δημιουργεί αρνητικές περιβαλλοντικές συνέπειες λόγω υψηλότερης συγκέντρωσης από την κανονικά *μετρούμενη σε επίπεδο θαλασσινού νερού/ιζήματος ή θαλάσσιου οργανισμού, αναφέρεται ως ρύπος, μολυσματική ουσία ή ρύπος. Στη Μεσόγειο πιστεύεται ότι υπάρχουν 2000 πλαστικές σακούλες και μπουκάλια ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο και χιλιάδες θαλάσσια πτηνά μπλέκονται σε πλαστικές σακούλες και πνίγονται ως*

αποτέλεσμα. Κάθε χρόνο, 200 θαλάσσια είδη χάνονται ως αποτέλεσμα της κατάποσης πλαστικών συσκευασιών. Το 15% όλων των "σκουπιδιών" που ξεβράζονται στις παραλίες κάθε χρόνο αποτελείται από πλαστικές σακούλες.

Abstract

Since water covers almost ¾ of the surface of the globe, its significance is well known. 71% of the surface of the planet is covered by the hydrosphere, which is primarily composed of oceans and seas and makes up around 97.3% of it. Continental and atmospheric water make up the remaining amount (2.7%). Recent years have seen a significant increase in scientific interest in the large quantity of pollutants that are entering the marine ecosystem as a result of intense urbanization, rapid industrial development, the replacement of oil as the primary source of energy, the increasing use of maritime transportation, the daily use of pesticides and fertilizers, technological advancement and other factors. Any reduction in the waters inherent quality is considered pollution. In accordance with EU Directive 2000/60/EC, pollution is referred to as environmental contamination. According to EU water policy pollution is the result of human activities, including the direct or indirect introduction of chemicals or heat into the air, water or soil that may be harmful to human health or the quality of aquatic ecosystems or terrestrial ecosystems that are directly dependent on aquatic ecosystems, deteriorate material property or negatively impact or obstruct recreational activities or other legal uses of the environment. Only when endangering human health does pollution constitute contamination. Its source is microbiological, and it's associated with the existence of harmful microbes resulting from human activity. Any water-soluble substance that, when released into the environment through human activity, causes negative environmental effects because it is present in higher concentrations that are naturally measured in marine organisms, sediment, or sea water is referred to as a pollutant, contaminant, or pollutant. The Mediterranean is thought to contain 2000 plastic bags and bottles per square kilometer, and thousands of sea birds become entangled in and drowned in plastic bags. Since they eat plastic packaging, some 200 marine animals perish every year. 15% of the" rubbish" that annually washes up on beaches is made-up of plastic bags.

Πίνακας Περιεχομένων

Περιεχόμενα

Περίληψη....1
Abstract....2
Πίνακας Περιεχομένων....2
Εισαγωγή....4
Κεφάλαιο 1^{ο} : Πλαστικά και μικροπλαστικά....5

1.1 Γενικά για τα πλαστικά και τα μικροπλαστικά 6
1.2 Ρύπανση από μικροπλαστικά 12
1.3 Πηγές & Τρόποι μεταφοράς μικροπλαστικών 13
Κεφάλαιο 2ο : Πλαστικά & Μικροπλαστικά στο Υδάτινο Περιβάλλον 20
2.1 Ρύπανση στα υγρά απόβλητα 23
2.2 Ιστορική αναδρομή στα δίκτυα λυμάτων-ομβρίων 26
2.3 Δημιουργία, ανίχνευση και απομάκρυνση μικροπλαστικών 30
2.4 Μορφές ανίχνευσης και απομάκρυνσης 34
2.5 Επιπτώσεις μικροπλαστικών στους πληθυσμούς 37
Κεφάλαιο 3ο: Μικροπλαστικά στη Μεσόγειο Θάλασσα 42
3.1 Ερευνητικά στοιχεία 42
3.2 Θεσμικές ρυθμίσεις για την προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος 45
3.3 Μέτρα πρόληψης της ρύπανσης από μικροπλαστικά 47
Συμπεράσματα 49
Βιβλιογραφία 50

Εικόνα 1. Σύμφωνα με την WWF, 22 μεσογειακές χώρες απορρίπτουν 600.000 τόνους πλαστικού στη θάλασσα κάθε χρόνο. Retrieved from www.facebook.com/WWF

Εισαγωγή

Στους σύγχρονους πολιτισμούς, τα πλαστικά και τα μικροπλαστικά έχουν ενσωματωθεί στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, μόνο η Ευρωπαϊκή Ένωση παράγει πάνω από 27 εκατομμύρια τόνους πλαστικών, εκ των οποίων το 32,4% ανακυκλώνεται και το υπόλοιπο 67,6% είναι υπολείμματα που μένουν και καταλήγουν στις χωματερές και κυρίως στο θαλάσσιο περιβάλλον. Τα μικροπλαστικά είναι πολύ μικρά πλαστικά σωματίδια μεγέθους έως 5 mm που είναι αόρατα στο ανθρώπινο μάτι και χαρακτηρίζονται ως συνθετικά οργανικά πολυμερή που παράγονται με πολυμερισμό μονομερών που προέρχονται από φυσικό αέριο και πετρέλαιο (UNEP,2016). Είναι μια πραγματικότητα ότι τις τελευταίες δεκαετίες η ανθρώπινη δραστηριότητα στους ωκεανούς έχει αυξηθεί σημαντικά. Αναμφισβήτητα, η αύξηση των παράκτιων και θαλάσσιων δραστηριοτήτων είχε αρνητική επίδραση στο θαλάσσιο περιβάλλον και επηρέασε αρνητικά τα προϊόντα του οικοσυστήματος.

Εικόνα 2 Μικροπλαστικά στην άμμο. Retrieved from www.europa.eu

Επιπλέον, τεράστιες ποσότητες αποβλήτων και θαλάσσιων απορριμμάτων έχουν παραχθεί από τις ανθρώπινες δραστηριότητες στις ακτές και στον ωκεανό , οι οποίες θα μπορούσαν να βλάψουν το θαλάσσιο οικοσύστημα. Ένα μεγάλο μέρος αυτών των σκουπιδιών θα παραμείνει στον ωκεανό για δεκαετίες, αιώνες ή και περισσότερο. Τα πλαστικά, τα οποία είναι γνωστό ότι είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά, αποτελούν περίπου τα 3/4 όλων των θαλάσσιων σκουπιδιών. Τα θαλάσσια σκουπίδια έχουν βρεθεί σε βαθιά νερά, ακτές, ιζήματα και κυκλοφορούντα (περιστρεφόμενα) ωκεάνια ρεύματα σε όλο τον κόσμο. Επιπλέον, τα απορρίμματα συσσωρεύονται σε τοποθεσίες που είναι τόσο απομακρυσμένες όσο και εντατικά κατοικημένες, όπως η Ανταρκτική (Barnes et al., 2009). Ιδιαίτερα τεράστιες ποσότητες πλαστικών απορρίπτονται κάθε χρόνο στο υδάτινο περιβάλλον, με αποτέλεσμα η συσσώρευση τους να έχει ιδιαίτερα επιζήμιες επιπτώσεις στην οικολογία και τη θαλάσσια ζωή. Η διεθνής παρατήρηση της συσσώρευσης σημαντικών ποσοτήτων πλαστικού στο θαλάσσιο περιβάλλον που χρονολογείται από το 1970 οδήγησε στην έντονη ανησυχία της ερευνητικής κοινότητας για τη μεταφορά, την τύχη και τις επακόλουθες επιπτώσεις στο θαλάσσιο οικοσύστημα, ιδιαίτερα τα τελευταία δέκα χρόνια.

Στο υδάτινο περιβάλλον εισάγονται πλαστικά διαφορετικού μεγέθους. Δεν μπορούν να εξαλειφθούν πλήρως τα μεγαλύτερα και συχνότερα χρησιμοποιούμενα από αυτά, αλλά διασπώνται σε μικροπλαστικά. Οι αιτίες που το προκαλούν είναι πολλές και περιλαμβάνουν μηχανισμούς βιολογικής δράσης, έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία, μηχανική καταπόνηση από κύματα, άνεμο ή άμμο, έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες και έκθεση σε πλαστικά. Για παράδειγμα, ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα πολυμερή υψηλού μοριακού βάρους, το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), έχει καλή αντοχή στην πλειονότητα των βιομηχανικών και βιολογικών χημικών ουσιών και αντέχει στην διάβρωση καθώς και στην διάλυση ισχυρών οξειδωτικών, όξινων αλάτων και οργανικών διαλυτών. Εξαιτίας αυτού, είναι δύσκολο να διασπαστεί εκτός από τη φυσική γήρανση, και είναι άγνωστο πόσος χρόνος θα χρειαστεί για να αποικοδομηθεί πλήρως το πολυαιθυλένιο στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Κεφάλαιο 1^{ο} : Πλαστικά και μικροπλαστικά

1.1 Γενικά για τα πλαστικά και τα μικροπλαστικά

Τα συνθετικά πολυμερή που ονομάζονται πλαστικά χρησιμοποιούνται για περισσότερο από έναν αιώνα. Είναι μια εύκαμπτη ουσία που μπορεί να μορφοποιηθεί σε στερεά αντικείμενα και αποτελείται από μια ποικιλία συνθετικών ή ημισυνθετικών οργανικών χημικών ουσιών. Τα πλαστικά δημιουργούνται με τη μετατροπή φυσικών πόρων σε αυτά ή με τη σύνθεσή τους από βασικές χημικές ουσίες, συνήθως από πετρέλαιο, φυσικό αέριο ή άνθρακα (Thompson, 2009). Αν και συνήθως ενσωματώνουν άλλα υλικά, τα πλαστικά είναι οργανικά πολυμερή με μεγάλη μοριακή μάζα. Η πλειονότητα των πλαστικών δημιουργείται μέσω της μεθόδου του βιομηχανικού πολυμερισμού από συνθετικές ρητίνες (πολυμερή). Με πολυάριθμες εμπορικές, βιομηχανικές, φαρμακευτικές και άλλες εφαρμογές, το πλαστικό έχει αποκτήσει σημαντικότερο ρόλο στη σύγχρονη ζωή και είναι πλέον ένα από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα υλικά παγκοσμίως (Hammer et al., 2012).

Εικόνα 3 One bottle at the time. Retrieved from www.nationalgeographic.com

Το πλαστικό έχει εξελιχθεί τα τελευταία 60 χρόνια σε ένα πρακτικό και προσαρμόσιμο υλικό με ποικίλες χρήσεις. Σε παγκόσμιο επίπεδο, περισσότεροι από 300 εκατομμύρια τόνοι νέου πλαστικού χρησιμοποιούνται συνήθως κάθε χρόνο. Τις περισσότερες φορές, λιγότερο από 12 λεπτά δαπανώνται για το πρώτο μισό αυτών.

Οκτώ εκατομμύρια τόνοι πλαστικών απορριμμάτων εισέρχονται κάθε χρόνο στον ωκεανό γεγονός που είναι ένα άλλο κρίσιμο στατιστικό στοιχείο που καταδεικνύει το πρόβλημα(UNEP,2016). Στην πραγματικότητα, η ποσότητα πλαστικού που εισέρχεται στον ωκεανό είναι τόσο μεγάλη που σε ορισμένες περιοχές η αναλογία των πλαστικών σωματιδίων προς το πλαγκτόν είναι 26:1 (Plastic Ocean Foundation, 2017). Σύμφωνα με μια έρευνα του UNEP από το 2018, 8 εκατομμύρια πλαστικά σκουπίδια απελευθερώνονται στο περιβάλλον κάθε μέρα. Πρέπει να σημειωθεί ότι όλες αυτές οι εκτιμήσεις δεν έχουν αναφερθεί συγκεκριμένα, επομένως θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή. Η εξαγωγή σαφών συμπερασμάτων σχετικά με το εκτιμώμενο μέσο επίπεδο πλαστικών σκουπιδιών είναι μια πολύ δύσκολη αποστολή, επειδή οι ωκεανοί του κόσμου είναι διαφορετικοί και τεράστιοι. Η σύνθεση και η εξαιρετική ανθεκτικότητα του 49% περίπου του συνόλου των πλαστικών που έχουν δημιουργηθεί, τους επιτρέπουν να επιπλέουν και έτσι να μετακινούνται στα ωκεάνια ρεύματα παντού στη γη (USEPA, 2017). Από 1,5 εκατομμύρια τόνους τη δεκαετία του 1950 σε περίπου 280 εκατομμύρια τόνους το 2011, η ετήσια παραγωγή πλαστικών προϊόντων έχει επεκταθεί σημαντικά (Koushal et al., 2014).

Μέχρι το 2020, αναμένεται ότι η ετήσια παραγωγή πλαστικών προϊόντων θα ξεπεράσει τους 400 εκατομμύρια τόνους(UNEP, 2018). Τα 3 πιο συχνά χρησιμοποιούμενα πολυμερή είναι το πολυαιθυλένιο (PE), το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο(PET) και το πολυπροπυλένιο(PP) (Koushal et al., 2014). Το ίδρυμα Plastic Ocean Foundation (2017) υποστηρίζει ότι η ευελιξία και η ανθεκτικότητα είναι τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά των πλαστικών που τα καθιστούν πολύτιμα. Αυτές οι ιδιότητες καθιστούν τα πλαστικά απλά στη χρήση στην καθημερινή ζωή, αλλά προκαλούν επίσης προβλήματα όταν τα πλαστικά απορρίπτονται στο περιβάλλον. Τα πλαστικά μπορούν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην οικολογία λόγω του σχεδόν άφθαρτου σχήματός τους και των στοιχείων που περιέχουν(UNEP, 2018). Τα τρία πιο συχνά χρησιμοποιούμενα πολυμερή είναι το πολυαιθυλένιο (PE), το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET), και το πολυπροπυλένιο (PP) (Koushal et al., 2014). Το ίδρυμα Plastic Ocean Foundation (2017) υποστηρίζει ότι η ευελιξία και η ανθεκτικότητα είναι τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά των πλαστικών που τα καθιστούν πολύτιμα. Αυτές οι ιδιότητες καθιστούν τα πλαστικά απλά στη χρήση στην καθημερινή ζωή, αλλά

προκαλούν επίσης προβλήματα όταν τα πλαστικά απορρίπτονται στο περιβάλλον. Τα πλαστικά μπορούν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην οικολογία λόγω του σχεδόν άφθαρτου σχήματός τους και των στοιχείων που περιέχουν (UNEP,2018). Τα ωκεάνια ρεύματα μεταφέρουν το μεγαλύτερο μέρος των πλαστικών και των μικροπλαστικών απορριμμάτων. Για παράδειγμα, τα κέντρα περιστροφής των κυκλώνων στο Βόρειο Ειρηνικό Ωκεανό, όπου συγκεντρώνεται πλέον η πλειονότητα των πλαστικών απορριμμάτων, εκτείνονται σε μια περιοχή μεγέθους όσο η Γαλλία και η Ισπανία μαζί. Λόγω της θέσης μας στην κορυφή της τροφικής αλυσίδας, οι άνθρωποι επηρεάζονται επίσης από την απόρριψη πλαστικών και μικροπλαστικών στον ωκεανό(Hammer, et al., 2012). Υπάρχουν ενδείξεις ότι η σημερινή κατασκευή, χρήση, μεταφορά και απόρριψη πλαστικών υλικών έχει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στα ζώα και δεν είναι βιώσιμη δεκαετίες μετά την έναρξη της ραγδαίας αύξησης της χρήσης πλαστικών (Hammer et al., 2012).

Ένα συνθετικό οργανικό πολυμερές , γνωστό ως πλαστικό , δημιουργείται όταν πολυμερίζονται μονομερή που προέρχονται από φυσικό αέριο και πετρέλαιο. Ο βακελίτης, το πρώτο συνθετικό πλαστικό που παρήχθη, πιστώνεται με την έναρξη της παγκόσμιας βιομηχανίας πλαστικών το 1907. Ωστόσο, μόλις τη δεκαετία του 1950 η παραγωγή πλαστικών σε παγκόσμια κλίμακα άρχισε να επεκτείνεται γρήγορα. Η ετήσια παραγωγή πλαστικών επεκτάθηκε περίπου 200 φορές κατά τα επόμενα 60 χρόνια , φθάνοντας τους 381 εκατομμύρια τόνους το 2015. Αυτό είναι περίπου ίσο με τη μάζα των δύο τρίτων του παγκόσμιου πληθυσμού σε ότι αφορά το περιβάλλον. Τόσο η υγεία της άγριας ζωής όσο και τα νερά μας επηρεάζονται αρνητικά από τα πλαστικά απορρίμματα. Μελέτες σχετικά με τις συνέπειες του πλαστικού στα θαλάσσια οικοσυστήματα έχουν βρει αρκετά παραδείγματα. Άρθρα ανασκόπησης σχετικά με τις επιπτώσεις του πλαστικού εμφανίστηκαν για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1980. Τα αποτελέσματα μιας ενδελεχούς βιβλιογραφικής αξιολόγησης σχετικά με τις επιπτώσεις των πλαστικών απορριμμάτων στους ωκεανούς και τα ζώα εξετάζονται σε μια ανάλυση των Rochman και συν (2016). Ωστόσο, είναι κοινώς αποδεκτό ότι ολόκληρη η έκταση των επιπτώσεων στα οικοσυστήματα παραμένει άγνωστη, παρά τα πολυάριθμα καταγεγραμμένα περιστατικά.

Το 2010, ο κόσμος παρήγαγε 270 εκατομμύρια τόνους πρωτογενούς πλαστικού και 275 εκατομμύρια τόνους πλαστικών απορριμμάτων , σύμφωνα με τους Eriksen και συν.(2014) και Jambeck και συν. (2015). (Μπορεί να υπερβαίνει την ετήσια πρωτογενή παραγωγή μέσω των πλαστικών απορριμμάτων των προηγούμενων ετών). Οι παράκτιοι πληθυσμοί είναι εκεί όπου παράγεται η πλειονότητα των πλαστικών απορριμμάτων που θα μπορούσαν να καταλήξουν στον ωκεανό (σε ακτίνα 50 χιλιομέτρων από την ακτογραμμή). Ως αποτέλεσμα, τα παράκτια πλαστικά απορρίμματα έφτασαν τα 99,5 εκατομμύρια τόνους το 2010. 8 εκατομμύρια τόνοι από αυτήν την ποσότητα, ή το 3% των παγκόσμιων ετήσιων πλαστικών απορριμμάτων, κατέληξαν στον ωκεανό(μέσω πολλαπλών σημείων εισόδου, συμπεριλαμβανομένων των ποταμών). Επιπλέον, 10.000-100.000 τόνοι πλαστικού πιστεύεται ότι υπάρχουν στα επιφανειακά ύδατα των ωκεανών (αρκετές τάξεις μεγέθους λιγότεροι από τις εισροές πλαστικού στον ωκεανό).

Η κακή διαχείριση των αποβλήτων σε πολλά κράτη μεσαίου και χαμηλού εισοδήματος τα καθιστά τους κύριους συντελεστές της παγκόσμιας πλαστικής ρύπανσης στον ωκεανό. Ως εκ τούτου, η αντιμετώπιση της πλαστικής ρύπανσης απαιτεί τη βελτίωση των πρακτικών διαχείρισης αποβλήτων σε παγκόσμιο επίπεδο. Περίπου το 80% των πλαστικών στους ωκεανούς προέρχεται από χερσαίες πηγές και το 20% από θαλάσσιες πηγές. Οι θαλάσσιες πηγές, ωστόσο, είναι πιο διαδεδομένες σε άλλες περιοχές. Είναι επίσης ζωτικής σημασίας να θυμόμαστε ότι το πλαστικό είναι μια ειδική ουσία με πολλά πλεονεκτήματα, όπως η οικονομική προσιτότητα, η προσαρμοστικότητα, το μικρό βάρος και η ανθεκτικότητα. Εξαιτίας αυτού είναι πολύτιμο ως υλικό για διάφορους σκοπούς. Μέσω συγκεκριμένων αλυσίδων εφοδιασμού, μπορεί επίσης να ωφελήσει το περιβάλλον, επειδή διατηρεί τα τρόφιμα ασφαλή, θρεπτικά και συμβάλλει στην πρόληψη των αποβλήτων. Τα πλαστικά σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 5 mm αναφέρονται ως μικροπλαστικά (UNEP, 2016). Η Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (NOAA) των Ηνωμένων Πολιτειών ορίζει τα μικροπλαστικά ως κάθε είδους πλαστικό τεμάχιο που έχει μήκος μικρότερο από 5mm (Collignon et al, 2014). Τα μικροπλαστικά προέρχονται από διάφορες πηγές, μεταξύ άλλων από καλλυντικά, ρούχα και βιομηχανικές

δραστηριότητες και εισβάλλουν στα φυσικά οικοσυστήματα, ιδίως στις θάλασσες. Οι επιπτώσεις των μικροπλαστικών στο περιβάλλον αποτελούν αντικείμενο αυξανόμενης επιστημονικής και πολιτιστικής ανησυχίας (Isobe et al., 2014).

Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους, τα μικροπλαστικά μπορούν να χαρακτηριστούν ως κύρια ή δευτερεύοντα. Τα μικρά πλαστικά σωματίδια που είναι γνωστά ως κύρια μικροπλαστικά είναι εκείνα που είτε άμεσα είτε έμμεσα απορρίπτονται στο περιβάλλον, μέσω οικιακών και βιομηχανικών σκουπιδιών, διαρροών και απόρριψης λυμάτων (π.χ. μέσω απορροής). Τα μικροσφαιρίδια, οι ίνες, τα σφαιρίδια, οι μεμβράνες και τα θραύσματα είναι μεταξύ των βασικών ειδών μικροπλαστικών (Li et al., 2016). Οι βιομηχανίες φαρμακευτικών προϊόντων και καλλυντικών συνδέονται συχνά με τα μικροσφαιρίδια. Τα δευτερογενή μικροπλαστικά παράγονται όταν τα μεγαλύτερα πλαστικά σωματίδια που ήδη υπάρχουν στο περιβάλλον σταδιακά αλλοιώνονται ή θρυμματίζονται λόγω παραγόντων όπως υπεριώδης ακτινοβολία (φωτοοξείδωση), η μηχανική αλλαγή (όπως η τριβή των κυμάτων) και η βιολογική διάσπαση από μικροοργανισμούς. Οι πλαστικές σακούλες, τα δίχτυα αλιείας και τα μπουκάλια νερού και αναψυκτικών είναι μερικές από τις πηγές δευτερογενών μικροπλαστικών. Ορισμένα καλλυντικά και είδη προσωπικής φροντίδας, βιομηχανικά λιπαντικά, υλικά “αμμοβολής” και υλικά εφαρμογής κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων αποτελούν πρόσθετες πηγές μικροπλαστικών (μικρόσφαιριδίων) (Boucher and Friot, 2017). Είναι γνωστό ότι και οι δύο τύποι μικροπλαστικών μολύνουν σοβαρά το περιβάλλον, ιδίως το υδάτινο και το θαλάσσιο περιβάλλον. Επιπλέον, τα πολυμερή αλλοιώνονται σταδιακά, συχνά σε διάστημα εκατοντάδων ή και χιλιάδων ετών. Αυτό εγείρει την πιθανότητα τα μικροπλαστικά να καταποθούν και να ενσωματωθούν στους ιστούς και τα σώματα πολυάριθμων πλασμάτων (Conkle et al., 2018). Θα πρέπει να τονιστεί ότι γίνονται περισσότερες έρευνες για την κατανόηση ολόκληρου του κύκλου ζωής, της κίνησης και των επιπτώσεων των μικροπλαστικών στο περιβάλλον. Όταν τα περιβαλλοντικά μικροπλαστικά διασπώνται περαιτέρω, μπορούν να μετατραπούν σε νανοπλαστικά (1-100nm), τα οποία διαφέρουν από άλλους τύπους πλαστικών απορριμμάτων στο ότι έχουν άγνωστα χαρακτηριστικά και τοξικολογικές ιδιότητες (da Costa et al., 2016).

Τα πλαστικά είναι μια ποικίλη ομάδα οργανικών, εύπλαστων συνθετικών ή ημισυνθετικών υλικών που μπορούν να μορφοποιηθούν σε στερεά αντικείμενα διαφόρων μεγεθών και σχημάτων. Για την παρασκευή πλαστικών χρησιμοποιούνται συχνά πετροχημικά, τα οποία έχουν υψηλές μοριακές μάζες. Τα πλαστικά χρησιμοποιούνται σε αγαθά που μπορούν να αναγνωριστούν στα πιο συνηθισμένα αντικείμενα, ακόμη και σε περίπλοκες μηχανολογικές κατασκευές, λόγω του χαμηλού κόστους, της ευκολίας κατασκευής και των διακριτικών χαρακτηριστικών τους (Da Costa et al., 2018). Για τη σύγχρονη κοινωνία, τα πλαστικά προϊόντα αποτελούν πολύτιμα υλικά. Παίζουν καθοριστικό ρόλο σε κάθε βιομηχανία, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που σχετίζονται με τις μεταφορές, τις κατασκευές, την υγειονομική περίθαλψη, τη συσκευασία, τις δραστηριότητες αναψυχής, τον αθλητισμό και τις υποδομές νερού και υγιεινής. Το πολυαιθυλένιο (29,4%), το πολυπροπυλένιο(19,1%), το πολυβινυλοχλωρίδιο (10,1%), η πολυουρεθάνη (7,5%), το πολυ(τερεφθαλικό αιθυλένιο)(7,1%) και το πολυστυρένιο (6,9%) είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα πολυμερή. Η χρήση πλαστικών έχει το μειονέκτημα ότι κινδυνεύει να μολύνει το περιβάλλον. Αυτό προκαλείται από την ακατάλληλη διάθεση και διαχείριση των σκουπιδιών, την απρόσεκτη ανθρώπινη συμπεριφορά και την αναπόφευκτη απώλεια ή φθορά. Η παρουσία των μακροπλαστικών στο θαλάσσιο περιβάλλον δεν αποτελεί μόνο πρόβλημα αισθητικής υποβάθμισης, αλλά και πρόβλημα με οικονομικές επιπτώσεις για την τουριστική βιομηχανία, τις θαλάσσιες βιομηχανίες(π.χ. Ναυτιλία, αλιεία , παραγωγή ενέργειας, υδατοκαλλιέργειες) λόγω των κινδύνων για τον εξοπλισμό και τις δραστηριότητές τους, ενώ προκαλεί και νέφος στην ατμόσφαιρα (OSPAR Commission, 2017). Ως αποτέλεσμα, οι θάλασσες και οι ωκεανοί εκτίθενται σε άμεσες ή έμμεσες εισροές πλαστικών, όπως οι θαλάσσιες δραστηριότητες ή οι ποτάμιες εισροές, αντίστοιχα (Cole et al., 2011).

Μετά τη δημιουργία και παραγωγή του πρώτου σύγχρονου πλαστικού, γνωστού ως “βακελίτης”, το 1907, η βιομηχανική παραγωγή πλαστικών ξεκίνησε τη δεκαετία του 1940. Καθώς η ποσότητα του παραγόμενου πλαστικού αυξήθηκε γρήγορα, καταναλώθηκε όλο και περισσότερο πετρέλαιο ως πρώτη ύλη, φθάνοντας το 2009 στο 8% της παγκόσμιας παραγωγής πετρελαίου (Cole et al., 2011). Η ποσότητα πλαστικού που καταναλώνεται παγκοσμίως προβλεπόταν να είναι 62

εκατομμύρια τόνοι το 1979 και 160 εκατομμύρια τόνοι το 2000. Σύμφωνα με πιο πρόσφατα στοιχεία, η παγκόσμια παραγωγή αυξήθηκε από 299 εκατομμύρια τόνους το 2013 σε 311 εκατομμύρια τόνους το 2014, δηλαδή κατά 4% (Besley et al., 2017). Τα πλαστικά είτε απορρίπτονται και χάνονται στο περιβάλλον (71%), είτε ανακυκλώνονται (9%), είτε αξιοποιούνται για ανάκτηση ενέργειας (12%), είτε απορρίπτονται σε χωματερές. Τα πλαστικά προϊόντα συσσωρεύονται και παραμένουν στο περιβάλλον για χρόνια έως δεκαετίες, επειδή είναι δύσκολο να αποσυντεθούν (Enfrin et al., 2019). Καθώς όμως τα πλαστικά παράγονται σε μεγαλύτερες ποσότητες, όλο και περισσότερα από αυτά πετιούνται. Αυτό οδηγεί στη συσσώρευση πλαστικών αποβλήτων σε διάφορα οικοσυστήματα, συμπεριλαμβανομένων των θαλάσσιων οικοτόπων (Talvitie et al., 2015).

Τα πλαστικά συσσωρεύονται στο περιβάλλον με ανεξέλεγκτο ρυθμό λόγω της εκτεταμένης χρήσης τους, του χαμηλού ποσοστού ανάκτησης και της υψηλής ανθεκτικότητας τους. Τα υλικά αυτά στη συνέχεια διαβρώνονται και ταξιδεύουν σε διάφορα οικοσυστήματα (Rocha-Santos & Duarte, 2015). Έτσι , μια σημαντική ποσότητα πλαστικών καταλήγει τελικά στο περιβάλλον. Περισσότεροι από 8 εκατομμύρια τόνοι πλαστικού πιστεύεται ότι εισέρχονται στον ωκεανό κάθε χρόνο. Μάλιστα, το 2014 προβλέφθηκε ότι τα θαλάσσια συστήματα περιλαμβάνουν μεταξύ 15 και 51 τρισεκατομμυρίων σωματιδίων που μπορεί να ζυγίζουν έως και 236.000 τόνους (Besley et al., 2017). Μέχρι και 13 εκατομμύρια τόνοι από τους 359 εκατομμύρια τόνους πλαστικού που παρήχθησαν το 2018 απορρίφθηκαν στους ωκεανούς. Μάλιστα, αναμένεται ότι μέχρι το 2025 θα πεταχτούν συνολικά 250 εκατομμύρια τόνοι πλαστικού (Shen et al., 2020).

1.2 Ρύπανση από μικροπλαστικά

Τα μεγαλύτερα πλαστικά θραύσματα προσέλκυσαν αρχικά την προσοχή των επιστημόνων και του κοινού. Ωστόσο, από τις αρχές της δεκαετίας του 1970, είχε διαπιστωθεί ότι μικροπλαστικά σωματίδια υπήρχαν στο θαλάσσιο περιβάλλον (Duis & Coors 2016). Στη δεκαετία του 1970, μικροπλαστικά που έμοιαζαν με σφαιρίδια ανακαλύφθηκαν για πρώτη φορά στη βόρεια Αμερική σε πλαγκτόν στα ανοικτά των ακτών της Νέας Αγγλίας. Έκτοτε, μικροπλαστικά έχουν ανακαλυφθεί στην

πλειονότητα των μεγάλων υδάτινων σωμάτων (λίμνες, ποτάμια, ωκεανοί και θάλασσες) (Masura et al., 2015). Λόγω της συνεχιζόμενης αύξησης της κατασκευής πλαστικών, καθώς και της επακόλουθης διάθεσης και συσσώρευσης τους στο θαλάσσιο περιβάλλον, η μικροπλαστική ρύπανση των θαλασσών αποτελεί αυξανόμενη ανησυχία για τη σύγχρονη κοινωνία. Ακόμη και αν σταματήσουν να εισέρχονται νέα πλαστικά απόβλητα στους ωκεανούς, ο κατακερματισμός των ήδη υπαρχόντων πλαστικών αποβλήτων θα προκαλέσει αύξηση της μικροπλαστικής ρύπανσης (Virek et al., 2016). Το 10% του συνόλου των πλαστικών που δημιουργούνται καταλήγει στους ωκεανούς, όπου αποτελεί το 80-85% των θαλάσσιων απορριμμάτων.

Τα μικροπλαστικά είναι διάχυτα πλαστικά σωματίδια μεγέθους μικρότερου των 5mm και πιστεύεται ότι αποτελούν το 92% των 5,25 τρισεκατομμυρίων πλαστικών σωματιδίων στην επιφάνεια των ωκεανών. Η υδάτινη στήλη, τα ιζήματα και τα ενδιαιτήματα των παράκτιων υδάτινων οδών, των ανοικτών ωκεανών και των γλυκών υδάτων μολύνονται από αυτά (Coyle et al., 2020). Σύμφωνα με την ανάλυση ιζημάτων κατά μήκος της βελγικής ακτής, η μόλυνση από μικροπλαστικά τετραπλασιάστηκε μεταξύ των ετών 2005 και 2008, αυξάνοντας από 55 μικροπλαστικά/kg ξηρού ιζήματος το 1993 σε 156 μικροπλαστικά/kg ξηρού ιζήματος το 2008 (Cole et al., 2011). Τα μικροπλαστικά αποτελούν ένα αναπτυσσόμενο ζήτημα στα οικοσυστήματα γλυκού νερού και θαλασσίων υδάτων. Η κατανόηση των επιπτώσεων των μικροπλαστικών στα υδρόβια είδη γίνεται όλο και πιο σημαντική, επειδή οι επιπτώσεις αυτές δεν είναι ακόμη καλά κατανοητές (Masura et al., 2015).

1.3 Πηγές & Τρόποι μεταφοράς μικροπλαστικών

Αρκετές μελέτες έχουν διαπιστώσει ότι το 80% των μικροπλαστικών στους ωκεανούς προέρχεται από χερσαίες πηγές, όπως γεωργικές εφαρμογές (δεμάτια για ενσίρωμα, σακούλες και μεμβράνες κηπευτικών), χωματερές, αστικές και γεωργικές απορροές (έντονες βροχοπτώσεις, πλημμύρες) ή την άμεση απόρριψη υγρών

αποβλήτων εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων σε ποτάμια, όπου τα μικροπλαστικά καταλήγουν στα υδάτινα οικοσυστήματα. Υπάρχει σημαντική επικράτηση της μόλυνσης από μικροπλαστικά στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων ως αποτέλεσμα της παρουσίας πολυάριθμων μικροπλαστικών σε προϊόντα προσωπικής φροντίδας και καλλυντικά, όπως οδοντόκρεμα, κρέμα απολέπισης, καθαριστικά χεριών, καθαριστικά προσώπου και αφρούς ξυρίσματος (Coyle et al., 2020). Το 70% των μικροπλαστικών στα υγρά σαπούνια που πωλούνται στην ευρωπαϊκή αγορά θεωρούνταν ότι ήταν μεγαλύτερα από 450m. Ωστόσο, ανακαλύφθηκε ότι αρκετά προϊόντα προσωπικής φροντίδας περιείχαν μικρότερα μεγέθη σωματιδίων.

Μικροπλαστικά σωματίδια με μέσο μέγεθος μεταξύ 2m και 5m ανακαλύφθηκαν σε οδοντόκρεμα σε μελέτη Ολλανδών ερευνητών. Σύμφωνα με τους Da Costa και συν., (2018), τα πλαστικά σφαιρίδια χάνονται κατά τη διάρκεια βιομηχανικών διεργασιών που έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή πλαστικών προϊόντων και εξαρτημάτων. Οι απώλειες αυτές μπορεί να συμβούν πριν από την παραγωγή, όπως κατά τον χειρισμό μικροσφαιριδίων που προορίζονται ως πρώτες ύλες, κατά τη διάρκεια της παραγωγής ή ακόμη και μετά την παραγωγή, κατά τη μεταφορά και την παράδοση των τελικών προϊόντων. Οι μεγαλύτερες απώλειες παρατηρούνται στα δύο πρώτα στάδια, συμπεριλαμβανομένης της σκόνης και των “ούρων” του λιωμένου πλαστικού κατά τη διάρκεια της παραγωγής και των μικροσκοπικών θραυσμάτων της πλαστικής ρητίνης (μικροσφαιρίδια, ροδέλες, δάκρυα γοργόνας, σπασμένες χάντρες) κατά τη διάρκεια της προ παραγωγής (Oladejo, 2017).

Χωρίς να είναι σε θέση να υπολογίσουν τις ποσότητες που καταλήγουν τελικά στην θάλασσα, Σουηδοί επιστήμονες εκτίμησαν ότι οι ετήσιες απώλειες βιομηχανικών μικροπλαστικών σφαιριδίων σε σχέση με τον χειρισμό τους κατά την παραγωγή πλαστικών αντικειμένων στην Σουηδία κυμαίνονται μεταξύ 300 και 530 τόνων (Magnusson et al., 2016). Λόγω της ήπιας λειαντικής τους δράσης, τα μικροπλαστικά σωματίδια χρησιμοποιούνται επίσης ως λειαντικά καθαριστικά σε προϊόντα που προορίζονται για τον καθαρισμό ευαίσθητων επιφανειών. Λόγω της φυσιολογικής φθοράς κατά την χρήση (καιρικές συνθήκες) ή κατά την αφαίρεση των

παλαιών στρώσεων χρώματος (τριβή) , τα μικροπλαστικά από τα χρώματα μπορούν δυνητικά να απορριφθούν στο περιβάλλον (Verschoor et al., 2016). Για τον καθαρισμό σκαφών και άλλων μεγάλων μηχανημάτων όπου έχουν συμβεί διαρροές είτε των ίδιων των σφαιριδίων είτε σκόνης πλαστικής ρητίνης, τα μικροσφαιρίδια χρησιμοποιούνται επίσης σε εργασίες καθαρισμού μέσω εκτόξευσης υπό πίεση (πεπιεσμένος αέρας) (Da Costa et al., 2018).

Ο χλοοτάπητας που χρησιμοποιείται σε αθλητικές εγκαταστάσεις και γήπεδα συμβάλλει επίσης στην παραγωγή και εξάπλωση μικροπλαστικών στο περιβάλλον (Oladejo, 2017). Τα "τεχνητά χόρτα" επικολλώνται σε ένα υπόστρωμα -χαλί- για να δημιουργήσουν έναν χλοοτάπητα. Ένας συνδυασμός πολυπροπυλενίου, πολυαμιδίων, πολυολεφινών και/ή πολυουρεθάνης συνθέτουν αυτόν τον τάπητα. Ως υπόστρωμα χρησιμοποιούνται κόκκοι καουτσούκ. Ανάλογα με τις επιθυμητές ιδιότητες της επιφάνειας, οι κόκκοι καουτσούκ μπορούν να κατασκευαστούν από διάφορα υλικά. Κατά συνέπεια, οι πηγές μικροπλαστικών περιλαμβάνουν το ίδιο το τεχνητό γρασίδι, το υπόστρωμα- χαλί και το υπόστρωμα από κόκκους καουτσούκ. Έτσι, τα προαναφερθέντα συστατικά διαβρώνονται και παράγουν μικροπλαστικά , τα οποία στη συνέχεια μεταφέρονται είτε ακούσια από τους χρήστες του χλοοτάπητα είτε μέσω έκπλυσης λόγω της ικανότητας διείσδυσης του χλοοτάπητα στο νερό και συνήθως καταλήγουν στο σύστημα όμβιων υδάτων. Στην πραγματικότητα, έρευνες για τη Σουηδία αποκάλυψαν ότι δεν υπήρχαν πληροφορίες σχετικά με το φορτίο που φτάνει στη θάλασσα και η προβλεπόμενη απώλεια ήταν μεταξύ 1.640 και 2.460 τόνων ετησίως (Magnusson et al ., 2016) . Τα πλαστικά μικροσωματίδια αποτελούν επίσης υποπροϊόν της αποσύνθεσης εσωτερικών πλαστικών προϊόντων, όπως παιχνίδια , ηλεκτρονικά είδη, σκεύη κουζίνας και χαλιά(Oladejo , 2017). Επιπλέον, η προοδευτική παραγωγή μικροπλαστικών στα υφάσματα, κυρίως στα ρούχα που πλένονται και καταστρέφονται συχνότερα, έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση αυτών των σωματιδίων στα υγρά απόβλητα (Masura et al., 2015).

Ένα ρούχο από συνθετικό ύφασμα μπορεί στην πραγματικότητα να απελευθερώσει περισσότερες από 1900 μικροΐνες ανά πλύση , σύμφωνα με μία μελέτη (Magnusson et al., 2016). Μία άλλη μελέτη που δημοσιεύτηκε το 2016 απεικονίζει το ζήτημα της απελευθέρωσης μικροπλαστικών κατά τη διάρκεια της

πλύσης των ρούχων . Διαπίστωσε ότι 220 κιλά ρούχων πλένονται στα πλυντήρια ετησίως ανά άτομο, το 30% όλων των υφασμάτων που χρησιμοποιούνται στα ρούχα μας είναι συνθετικά και ο μικρότερος αριθμός ινών που απελευθερώνεται από συνθετικά ρούχα ήταν περίπου 23.000 ίνες ανά κιλό ρούχου με μάζα 0,53g.(Magnusson et al., 2016). Επιπλέον, τα μικροπλαστικά χρησιμοποιούνται σε διάφορες ιατρικές διαδικασίες (Duis & Coors, 2016), συμπεριλαμβανομένης της χρήσης μικροσφαιριδίων σε φάρμακα που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση και σε ζώα εκτροφής (χερσαία και υδρόβια) (Magnusson et al., 2016). Οι εμβολιασμοί με μικροσφαιρίδια από το στόμα χορηγούνται συχνά σε ζώα εκτροφής.

Η διαδικασία αυτή είναι γρήγορη, φθηνή αυξάνει την απορρόφηση και ελαχιστοποιεί τυχόν αρνητικές επιπτώσεις. Τα μικροσωματίδια χρησιμοποιούνται κυρίως στον άνθρωπο για εμβολιασμούς και χορήγηση φαρμάκων. Όμως δεν αποτελούνται όλα τα μικροσφαιρίδια που χρησιμοποιούνται για την χορήγηση φαρμάκων από πλαστικά πολυμερή – ορισμένα μπορούν επίσης να κατασκευαστούν από πιο σύνθετα υλικά , όπως λιποσώματα, λατέξ, ορυκτά ή άλλα. Σχεδόν όλοι οι τύποι πολυμερών, συμπεριλαμβανομένων των πλαστικών, των πρωτεϊνών και των πολυσακχαριτών, τα οποία είναι φυσικά πολυμερή και θεωρούνται βιοδιασπώμενα, καλύπτονται από πολυμερή σωματίδια(Magnusson et al., 2016). Μία άλλη πηγή μικροπλαστικών είναι η απρόσεκτη απόρριψη πλαστικών προϊόντων. Τα μικροπλαστικά σωματίδια δημιουργούνται όταν μεγάλα κομμάτια πλαστικού σπάνε λόγω μηχανικής διάβρωσης, ακτινών UV και βιολογικής φθοράς από βακτήρια ή μύκητες (Oyanedel-Craver, 2020). Η αυξημένη κατανάλωση πλαστικών μιας χρήσης και ο αυξανόμενος όγκος των πλαστικών απορριμμάτων που παράγονται κάθε χρόνο συμβάλλουν στην επιδείνωση αυτής της κατάστασης. Ο κακός χειρισμός των πλαστικών υλικών μπορεί να οδηγήσει σε επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων λόγω υπερφόρτωσης στις εγκαταστάσεις ανακύκλωσης πλαστικών όπου συλλέγονται απόβλητα για ανακύκλωση από διάφορες πηγές, όπως τα δημοτικά κέντρα ανακύκλωσης, οι σταθμοί ανακύκλωσης αποβλήτων συσκευασίας, οι αυτόματοι πωλητές (φιάλες PET) και οι ιδιωτικές εταιρείες (Magnusson et al., 2016).

Η φθορά των ελαστικών θεωρείται ότι αποτελεί την πηγή του 5-10% όλων των μικροπλαστικών στα γλυκά νερά. Με μεγέθη σωματιδίων που κυμαίνονται από 5m

έως περίπου 100m, με το μεγαλύτερο μέρος των σωματιδίων να κυμαίνεται από 5m έως 25m, η φθορά των ελαστικών θεωρείται ότι αποτελεί σημαντική αιτία (Coyle et al., 2020)(Elkhatib & Oyanedel-Craver, 2020). Επιπλέον, τα μικροπλαστικά που θα αποικοδομηθούν με την πάροδο του χρόνου και θα δημιουργήσουν δευτερογενή μικροπλαστικά αποτελούν έμμεση πηγή μικροπλαστικών που εισέρχονται στο θαλάσσιο περιβάλλον, όπως είναι η αλιεία, τα θαλάσσια σκάφη, η θαλάσσια βιομηχανία (ιχθυοκαλλιέργειες) και οι θαλάσσιες δραστηριότητες αναψυχής (Coyle et al., 2020). Το εύρος των πηγών είναι σημαντικό. Τα αλιευτικά εργαλεία που έχουν χαθεί ή απορριφθεί, τα πλωτά αντικείμενα, η φθορά των χρωμάτων και των επιστρώσεων στα πλοία ή τα μεγάλα πλαστικά θραύσματα που απορρίπτονται στον ωκεανό συμβάλλουν στην παραγωγή μικροπλαστικών (Oladejo, 2017). Ποικίλα πλαστικά πετιούνται κατά μήκος των παραλιών και στα παράκτια θέρετρα λόγω του τουρισμού και της αναψυχής επίσης (Magnusson et al., 2016).

Ένα από τα κύρια σημεία εισόδου των μικροπλαστικών στο περιβάλλον είναι οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Οι αποχετεύσεις μεταφέρουν μικροπλαστικά στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, τα οποία απελευθερώνονται κατά τη διάρκεια εμπορικών ή οικιακών εργασιών καθαρισμού. Ωστόσο, λόγω των τεράστιων όγκων λυμάτων που υποβάλλονται σε επεξεργασία καθημερινά, ο συνολικός αριθμός των μικροπλαστικών που απελευθερώνονται στα φυσικά υδάτινα σώματα θα μπορούσε να φτάσει σε αρκετά εκατομμύρια ημερησίως, παρά τα υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης 95-99% που καταδεικνύουν ορισμένες μελέτες (Elkhatib & Oyanedel-Craver, 2020). Στην πραγματικότητα, οι πολυεστερικές και ακρυλικές ίνες βρέθηκαν να κυριαρχούν και στους δύο τύπους δειγμάτων, ενώ τα μικροπλαστικά ήταν επίσης μορφολογικά παρόμοια μεταξύ τους, σύμφωνα με μια σύγκριση μεταξύ μικροπλαστικών που ανιχνεύθηκαν σε δείγματα παράκτιων ιζημάτων και μικροπλαστικών που συλλέχθηκαν σε χώρο διάθεσης επεξεργασμένων λυμάτων.

Η συγκρισιμότητα των μικροπλαστικών ινών στους δύο τύπους δειγμάτων υποστήριξε την ιδέα ότι οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων χρησιμεύουν ως οδός για τα μικροπλαστικά που φτάνουν στα υδάτινα σώματα και υποδηλώνει ότι τα μικροπλαστικά στα παράκτια ιζήματα μπορεί να σχετίζονται με την απορροή από

αυτές τις εγκαταστάσεις . Ωστόσο, σημαντική ποσότητα μικροπλαστικών μπορεί να βρεθεί στην παραγόμενη λυματολάσπη. Σε ορισμένα έθνη, εξακολουθεί να είναι αποδεκτή η χρήση της λυματολάσπης στη γεωργία για τη βελτίωση του εδάφους. Λειτουργώντας ως αγωγός προς τα επιφανειακά ύδατα, τα μικροπλαστικά επανεισάγονται έτσι στο περιβάλλον (Gundodu et al., 2018). Η μέθοδος αυτή απαγορεύεται στις Κάτω Χώρες , όπου η λυματολάσπη αντ' αυτού υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία πριν καεί (Verschoor et al., 2016). Έτσι, τα μικροπλαστικά καταλήγουν στους ωκεανούς.. Τα μικροπλαστικά έχουν σημαντική πιθανότητα να εισέλθουν στο θαλάσσιο περιβάλλον μέσω των ποταμών ή των συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων, επειδή πάνω από το ήμισυ του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε ακτίνα 50 μιλίων από τις ακτές.(Cole et al, 2011).

Ο ποταμός Ρήνος είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα. Εκτείνεται σε έξι έθνη και έχει σημαντική πυκνότητα πληθυσμού στην περιοχή της λεκάνης απορροής του. Στην περιοχή της λεκάνης απορροής κατοικούν 50 εκατομμύρια άνθρωποι και το 10% της παγκόσμιας χημικής βιομηχανίας. Στον ποταμό Ρήνο συλλέχθηκαν δείγματα επιφανειακών υδάτων από έντεκα τοποθεσίες σε απόσταση 820 χιλιομέτρων. Η μέση συγκέντρωση μικροπλαστικών προσδιορίστηκε σε 890.000 μικροπλαστικά ανά km^2, ενώ η υψηλότερη συγκέντρωση εκτιμήθηκε σε 3,9 εκατομμύρια μικροπλαστικά ανά km^2. Αυτό υπολογίστηκε ότι ισοδυναμεί με ένα μέσο όρο 17 μικροπλαστικών μεγέθους 300 μέτρων ανά m^3. Η ποσότητα των μικροπλαστικών (μεγέθους μικρότερου από 300m) που μεταφέρει ο ποταμός Ρήνος στη Βόρεια Θάλασσα, εκτιμάται ότι ξεπερνά τα 190 εκατομμύρια μικροπλαστικά κάθε μέρα. Αυτό μεταφράζεται σε 36 τόνους ή περίπου 100kg μικροπλαστικών ετησίως στη Βόρεια Θάλασσα. Τα τελευταία σαράντα χρόνια, τα μικροπλαστικά έχουν συσσωρευτεί στους ωκεανούς σε όλο τον κόσμο. Μπορούν να βρεθούν σε ιζήματα , σε παραλίες, σε επιφανειακά ύδατα, σε όλη τη στήλη του νερού και σε θαλάσσια είδη(Rocha-Santos & Duarte , 2015). Τα μικροπλαστικά έχουν διάφορα σχήματα , μεγέθη και πυκνότητες, γεγονός που τα διευκολύνει να διανύουν μεγάλες αποστάσεις στο εσωτερικό των υδάτινων συστημάτων και να διασκορπίζονται εκεί (Padervand et al., 2020).

Οι παρατηρούμενες διαφορές στους τύπους και τις ποσότητες των μικροπλαστικών στα κυριότερα θαλάσσια οικοσυστήματα υποδηλώνουν ότι οι ιδιότητες αυτές, ιδίως το μέγεθος και το ειδικό βάρος των πολυμερών, μπορεί να επηρεάζουν τους χρόνους εισαγωγής, παραμονής και εξαγωγής από αυτά. Λόγω της ικανότητας τους να επιπλέουν , τα μικροπλαστικά χαμηλής πυκνότητας είναι πιθανό να περνούν πολύ χρόνο στην επιφάνεια του ωκεανού ή στη στήλη του νερού, όπου μπορεί να μεταφέρονται σε εξαιρετικά μεγάλες αποστάσεις. Ως αποτέλεσμα, ενδέχεται να ανακαλυφθούν σε απομονωμένες περιοχές όπως αμμώδεις παραλίες , μακριά από τις πηγές τους. Ωστόσο, έχουν επίσης ανακαλυφθεί ιζήματα βυθού που περιέχουν σωματίδια χαμηλής πυκνότητας. Η ανάπτυξη μικροβίων στην επιφάνεια τους μπορεί να κάνει τα μικροπλαστικά, να γίνουν πυκνότερα, να χάσουν την άνωση τους και τελικά να βυθιστούν. Από την άλλη πλευρά, η σκουριά μπορεί να προκαλέσει μείωση της πυκνότητας τους, αυξάνοντας την πλευστότητα τους. Επειδή στερούνται αυτή την ικανότητα, τα μικροπλαστικά υψηλής πυκνότητας βυθίζονται στον πυθμένα πιο γρήγορα. Δεδομένου ότι δεν είναι σε θέση να “ταξιδέψουν” πολύ μακριά από την προέλευσή τους, αναμένεται ότι θα συγκεντρωθούν σε ιζήματα κοντά στις πηγές αυτές. (Hidalgo-Ruz et al., 2012).

Παρά το γεγονός ότι είναι γνωστό σε όλους τους επιστήμονες που ασχολούνται με την ανάλυση μικροπλαστικών σε περιβαλλοντικά δείγματα, η ατμοσφαιρική απόθεση ως μηχανισμός για το μικροπλαστικά δεν λαμβάνεται σχεδόν ποτέ υπόψη. Επιπλέον, επειδή ενδέχεται να επιμολύνουν τα δείγματα που χρησιμοποιούνται για την εξέταση, τα αερομεταφερόμενα μικροπλαστικά σωματίδια μπορούν να αποτελέσουν σοβαρή πρόκληση για την ίδια τη μελέτη. Πολλές ανθρώπινες ενέργειες μπορούν να παράγουν σωματίδια. Τα κλάσματα σωματιδίων που μπορούν να ταξιδέψουν στον αέρα κυμαίνονται σε μέγεθος από μερικά νανόμετρα έως πάνω από 100m. Σύμφωνα με μια μελέτη, η ατμοσφαιρική εναπόθεση ανθρωπογενών σωματιδίων σε μία αστική περιοχή του Παρισιού κυμαινόταν από 29 έως 280 σωματίδια ανά m^2 ανά ημέρα. Οι ίνες αποτελούσαν περισσότερο από το 90% των πλαστικών μικροσωματιδίων. Στα δείγματα του Παρισιού η εναπόθεση μικροπλαστικών εκτιμήθηκε μεταξύ 60 και 600g ανά m^2και κάθε μέρα. Αυτά τα μικροσωματίδια θα μπορούσαν να εναποτεθούν σε ένα υδάτινο

αποδέκτη αν βρέξει και στη συνέχεια να παρασυρθούν από τα νερά της βροχής. Πιθανή είναι επίσης η άμεση εναπόθεση μικροπλαστικών που μεταφέρονται με τον αέρα στην επιφάνεια του ωκεανού, ιδίως σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Τα καιρικά φαινόμενα θεωρείται ότι έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην τύχη αυτών των μικροσωματιδίων και στην αέρια εναπόθεση μικροπλαστικών. (Magnusson et al., 2016). Η συμπεριφορά των μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον, η οποία ποικίλλει ανάλογα με τη φύση, το μέγεθος και τη σύνθεσή τους, καθορίζεται γενικά από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ υδροδυναμικών παραγόντων (όπως ρεύματα, ταχύτητα, τύρβη), ανθρωπογενών παραγόντων (όπως αστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες), μετεωρολογικών παραγόντων (όπως θερμοκρασία, άνεμος) και γεωγραφικών συνθηκών (όπως τοπογραφία, φαράγγια, κόλποι, όρμοι, ακρωτήρια και παραλίες)(Rocha-Santos & Duarte,2015).

Κεφάλαιο 2ο : Πλαστικά & Μικροπλαστικά στο Υδάτινο Περιβάλλον

Η ετήσια ζήτηση πλαστικών σε όλο τον κόσμο αυξάνεται σταθερά τα τελευταία χρόνια και σήμερα εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 245 εκατομμύρια τόνους. (PlasticsEurope,2009). Τα πλαστικά είναι άριστα για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, επειδή είναι ευπροσάρμοστα, ισχυρά και ενδεχομένως διαφανή υλικά που είναι επίσης σχετικά ελαφριά. Αποτελούν ανώτερα υλικά συσκευασίας λόγω του χαμηλού κόστους, της βιοδραστικότητας και της ελαφρότητας τους. Τα πλαστικά χρησιμοποιούνται εκτενώς στη σύγχρονη κοινωνία και στο περιβάλλον, ιδίως σε θαλάσσια περιβάλλοντα, όπου τα πλαστικά απόβλητα συσσωρεύονται σε μεγάλες ποσότητες. Σχεδόν το 1/3 της παραγωγής πλαστικών ρητινών χρησιμοποιείται για την κατασκευή συσκευασιών για καταναλωτικά αγαθά μιας χρήσης, τα οποία συνήθως απορρίπτονται στις παραλίες (Andrady,2003). Υπάρχουν πολύ λίγες διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με τους κινδύνους για τους ανθρώπους, το περιβάλλον και τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στα διάφορα πλαστικά προϊόντα. Η πλειονότητα των χημικών ουσιών, πολλές από τις οποίες είναι επικίνδυνες, χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία πλαστικών πολυμερών από μη ανανεώσιμες πηγές αργού πετρελαίου. Κατά την κατασκευή, τη χρήση και την απόρριψη των

πλαστικών προϊόντων, αυτά μπορεί να απελευθερωθούν. Δεν υπάρχει αξιόπιστη εκτίμηση για το πόσο από τους 75 έως 80 εκατομμύρια τόνους πλαστικών συσκευασιών που χρησιμοποιούνται ετησίως σε όλο τον κόσμο καταλήγουν στους ωκεανούς. Τα ελαστομερή (γνωστά και ως καουτσούκ) πολυμερή, τα θερμοπλαστικά και τα θερμοσκληρυνόμενα είναι όλα είδη πλαστικών. Όταν χρησιμοποιούμε τον όρο "πολυμερές", αναφερόμαστε σε χημικές ενώσεις με μεγάλα μόρια ή "μακρομόρια", τα οποία αποτελούν το κύριο χαρακτηριστικό τους και είναι αποτέλεσμα της χημικής αντίδρασης που είναι γνωστή ως "πολυμερισμός" μεταξύ μονομερών (Χρονοπούλου, 2011). Η πλειονότητα των θερμοπλαστικών είναι γραμμικά πολυμερή χωρίς διασταυρώσεις. Οι δευτερογενείς δεσμοί σπάνε καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, με αποτέλεσμα το υλικό να ρέει ως ρευστό υψηλού ιξώδους, γι' αυτό και τείνουν να μαλακώνουν. Διαμορφώνονται εύκολα εν θερμώ χάρη σε αυτό το χαρακτηριστικό.

Σε θερμοκρασία δωματίου είναι είτε σκληροελαστικά είτε εύθραυστα. Τα θερμοπλαστικά, όπως το PVC, το PET, το PEN, το PC, το PS, το PE, το LLDPE και το HDPE, είναι διαλυτά, λιώνουν, συγκολλούνται και μπορούν να στερεοποιηθούν με επανειλημμένη ψύξη (Χρονοπούλου, 2011). Τα θερμοσκληρυνόμενα είναι πολυμερή που έχουν εκτεταμένη μοριακή δικτύωση. Οι πρωτογενείς δεσμοί συνδέουν μεταξύ τους τα μακρομόρια. Κανονικά, είναι ιδιαίτερα άκαμπτα και σκληρά σε θερμοκρασία δωματίου. Δεν είναι διαλυτά, δεν πλαστικοποιούνται, δεν λιώνουν σε υψηλές θερμοκρασίες και δεν δεσμεύονται. Τα εποξικά, οι περισσότερες πολυουρεθάνες και η φαινολική φορμαλδεΰδη είναι άλλα παραδείγματα. Αποτελούνται από μεγάλα μόρια που είναι έτοιμα να αντιδράσουν όταν είναι υγρά. Με την προσθήκη θερμότητας και πίεσης, γίνονται πιο σκληρά. Η διασύνδεση των μακρομορίων προκαλεί την σκλήρυνση.

Λόγω του υψηλού βαθμού ευκαμψίας τους και της πυκνότητας της εμπλοκής των μοριακών αλυσίδων, τα ελαστομερή διαθέτουν δικτυωμένες δομές με μεγάλη δυνατότητα παραμόρφωσης και ικανότητα ανάκτησης του αρχικού τους σχήματος (πχ. φυσικό καουτσούκ, όπου τα μόρια είναι δικτυωμένα με χημικούς δεσμούς). Σπάνια τα πλαστικά χρησιμοποιούνται στην καθαρότερη μορφή τους. Έχουν τη μορφή σφαιριδίων, κόκκων, σκόνης, νιφάδων, διαλυμάτων ή συνδυάζονται μηχανικά με άλλα υλικά σε θερμοκρασίες πάνω από το σημείο τήξης. Η πλειονότητα των

θερμοπλαστικών έχουν μεγάλο μοριακό βάρος και δευτερογενείς δεσμούς, όπως δεσμοί van der Waals, ισχυρότερες διπολικές αλληλεπιδράσεις, δεσμοί υδρογόνου ή ακόμη και δεσμοί που δημιουργούνται μεταξύ αρωματικών δακτυλίων- διατηρούν τις αλυσίδες τους συνδεδεμένες. Τα θερμοπλαστικά πολυμερή περιλαμβάνουν το πολυκαρβονικό (PC), το ναφθαλικό πολυαιθυλένιο (PEN) ,το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET) και το χλωριούχο πολυβινύλιο(PVC). Αποτελούνται από επιμήκη μακρομόρια. Είναι είτε εύθραυστα είτε σκληρά-ελαστικά σε θερμοκρασία δωματίου (Χρονοπούλου, 2011).

Τα πλαστικά υλικά έχουν υψηλή αντοχή στη διάβρωση και βρίσκονται συχνά σε ανεξέλεγκτη κατάσταση στον φυσικό κόσμο, γεγονός που έχει αντιαισθητικό και δυσάρεστο αποτέλεσμα. Δεδομένου ότι τα πλαστικά υλικά κατασκευάζονται από πετρέλαιο, η χρήση τους επιβαρύνει σημαντικά το περιβάλλον, διότι χρειάζονται 10 έως 20 χρόνια για να αποσυντεθούν στον ωκεανό. Αποτελούν σοβαρή απειλή για το περιβάλλον αν δεν ανακυκλωθούν. Επειδή είναι βολική στη χρήση και δεδομένη σε πολλές πτυχές της καθημερινής ζωής, η πλαστική συσκευασία είναι ο κύριος παράγοντας που συμβάλλει στα πλαστικά απόβλητα. Στη Μεσόγειο, πιστεύεται ότι ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο βρίσκονται 2.000 πλαστικές σακούλες και μπουκάλια και ότι χιλιάδες θαλασσοπούλια μπλέκονται σε πλαστικές σακούλες και πεθαίνουν ως αποτέλεσμα. Κάθε χρόνο, 200 θαλάσσια είδη χάνονται ως αποτέλεσμα της κατάποσης πλαστικών συσκευασιών. Το 15% των “σκουπιδιών” που ξεβράζονται στις παραλίες κάθε χρόνο αποτελείται από πλαστικές σακούλες. Οι μελλοντικές αυξήσεις στην αλιεία, η κυκλοφορία σκαφών αναψυχής και οι δημογραφικές αλλαγές που ενθαρρύνουν τη μετανάστευση σε παράκτιες περιοχές θα συμβάλλουν στην αύξηση της ποσότητας των πλαστικών απορριμμάτων που εισέρχονται στον ωκεανό (Ribic et al., 2010). Ολόκληρος ο παγκόσμιος αλιευτικός στόλος χρησιμοποιεί πλαστικό εξοπλισμό που είναι επιρρεπής στο να τοποθετηθεί λανθασμένα ή ακόμη και να απορριφθεί απρόσεκτα στην θάλασσα κατά τη χρήση του. Το νάιλον και οι πολυολεφίνες (PE και PP) χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές αλιευτικού εξοπλισμού. Η αλιεία ευθύνεται για το 18% περίπου των θαλάσσιων πλαστικών αποβλήτων στους ωκεανούς. Μια άλλη σημαντική πηγή πλαστικών αποβλήτων στους ωκεανούς είναι οι υδατοκαλλιέργειες. Το υπόλοιπο προέρχεται κυρίως από χερσαίες

πηγές, όπως τα απορρίμματα στις παραλίες και η απορροή από εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Μια πρόσφατη σημαντική ανακάλυψη είναι ότι μικροσκοπικά κομμάτια πλαστικών σκουπιδιών, γνωστά ως μικροπλαστικά, υπάρχουν στους ωκεανούς σε όλο τον κόσμο, ακόμη και στην Ανταρκτική(Barnes et al.,2009)(Zarfl & Matthies, 2010). Μπορούν να βρεθούν στα πιο απομακρυσμένα θαλάσσια περιβάλλοντα, καθώς και σε παραλίες, σε επιφανειακά ύδατα σε ολόκληρη τη στήλη του νερού και σε οργανισμούς του βένθους. Η Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (NOAA) περιγράφει τα μικροπλαστικά σωματίδια ως σωματίδια με μέγεθος μικρότερο από 5 mm και προερχόμενα είτε από πρωτογενή (σκόπιμη παραγωγή λόγω μικρού μεγέθους) είτε από δευτερογενή (λόγω κατακερματισμού μεγαλύτερων πλαστικών) προέλευση.

Εικόνα 4 Πελαργός παγιδευμένος σε πλαστική συσκευασία. Retrieved from www.nationalgeographic.com

2.1 Ρύπανση στα υγρά απόβλητα

Οποιαδήποτε αλλοίωση της χημικής σύνθεσης βασικών στοιχείων του περιβάλλοντος, όπως ο αέρας, το νερό και το έδαφος, αναφέρεται ως ρύπανση. Αυτή η αλλαγή στην εποχή μας, με όποια μορφή και αν εμφανίζεται, είναι πρωτίστως προϊόν της ανθρώπινης εξέλιξης και του πολιτισμού. Συγκεκριμένα, η ρύπανση στα λύματα, σύμφωνα με τον ΟΗΕ, ορίζεται ως “η άμεση ή έμμεση εισαγωγή από τον άνθρωπο υλικών ή ενέργειας στο υδάτινο περιβάλλον που έχει επιβλαβείς

επιπτώσεις στα είδη". Η επιστημονική κοινότητα έχει επικεντρωθεί σε μεγάλο βαθμό σε ορισμένα θέματα που σχετίζονται με τη ρύπανση, όπως η διαχείριση των αποβλήτων, η ανακύκλωση, οι εγκαταστάσεις διαχείρισης αποβλήτων, τα απόβλητα, η επεξεργασία των λυμάτων και η αντιμετώπιση της ρύπανσης, καθώς η ικανότητα της φύσης να αυτοθεραπεύεται έχει πλέον ξεπεραστεί (National Geographic Society,2013). Οι αρχές προσδιορισμού των υγρών αποβλήτων αναπτύχθηκαν στην Ελλάδα με την Υπουργική Απόφαση με αριθμό Ε1β.221/65 (ΦΕΚ 138/Β'/24-2-65) σχετικά με τη διάθεση υγρών αποβλήτων και βιομηχανικών αποβλήτων. Ως εκ τούτου, περιγράφονται ως εξής: Τα λύματα είναι τα τυπικά υγρά απόβλητα από σπίτια, επιχειρήσεις, σχολεία και άλλες επιχειρήσεις σε οποιαδήποτε περιοχή. Αλλά και ο ορισμός των "βιομηχανικών απορριμμάτων" ως "απόβλητα από διάφορες επιχειρήσεις ή άλλες εγκαταστάσεις, εξαιρουμένων των αποβλήτων από χώρους εξυπηρέτησης του προσωπικού, ανεξάρτητα από το αν περιέχουν ή όχι υπολείμματα των υλικών που χρησιμοποιούνται ή παράγονται σε αυτές" (τουαλέτες, λουτρά, πλυντήρια, κουζίνες).

Σήμερα, ο όρος "λύματα" [Υ.Α Ε1β 221/65, 1965] χρησιμοποιείται για να περιγράψει τόσο τα υγρά απόβλητα που παράγονται από οικιστικά κτίρια, γνωστά ως οικιακά λύματα (από την καθημερινή χρήση υγιεινής, την προετοιμασία φαγητού, τον καθαρισμό του νοικοκυριού κ.λπ.) όσο και τα υγρά απόβλητα που παράγονται από τις συνήθεις δραστηριότητες μιας πόλης, γνωστά ως αστικά λύματα (από την καθημερινή χρήση σε δημόσια κτίρια, επιχειρήσεις, νοσοκομεία κ.λπ.). Τα υγρά αστικά απόβλητα είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει καταστάσεις όπου τα λύματα μιας πόλης περιέχουν σημαντικές ποσότητες υγρών βιομηχανικών αποβλήτων. Οι συνολικές απορρίψεις είναι δύσκολο να υπολογιστούν σε αυτή την περίπτωση, λόγω της συνεχώς μεταβαλλόμενης ποιότητας και ποσότητας των βιομηχανικών αποβλήτων. Η πρόκληση αυτή επιδεινώνεται από το γεγονός ότι πολλές βιοτεχνίες και βιομηχανικές επιχειρήσεις απελευθερώνουν ακούσια τα απόβλητά τους στο σύστημα υγρών αποβλήτων μιας πόλης, συχνά χωρίς καν προκαταρκτική επεξεργασία.(Μελίδης, 2008- Λυμπεράτος, 2003).

Μπορούμε να απαριθμήσουμε συνοπτικά τις κύριες πηγές παραγωγής αστικών λυμάτων ως εξής: 1.Ανθρώπινα απόβλητα (μαύρο νερό), τα οποία παράγουν

κατά μέσο όρο 180 έως 300 λίτρα νερού ανά άτομο την ημέρα. 2.Διαρροές σηπτικών δεξαμενών, 3.Διαρροές εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, 4. Νερό πλύσης, το οποίο χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό πραγμάτων όπως σώματα, δάπεδα, σκεύη κουζίνας κ.λπ. (γκρίζο νερό), 5.Βροχή, 6. Μόλυνση των λυμάτων από τα υπόγεια ύδατα 7. Οικιακές πηγές πλεοναζόντων υγρών, όπως ποτά, μαγειρικά έλαια, εντομοκτόνα, χρώματα, λάδια οχημάτων και προϊόντα καθαρισμού. 8. Αστική απορροή βροχής από πεζοδρόμια, δρόμους, στέγες, σκουπίδια, υπολείμματα καουτσούκ ή βενζίνης, μέταλλα από τις εξατμίσεις οχημάτων. 9. Διείσδυση θαλασσινού νερού, (σημαντικά επίπεδα αλατιού). 10. Βιομηχανικά απόβλητα, 11. Νερό βιομηχανικών διεργασιών, 12. Σκουπίδια που είναι οργανικά, βιοδιασπώμενα ή μη, 13. Απόβλητα που έχουν υψηλό ή χαμηλό pH, 14. Επικίνδυνα απόβλητα και 15. Γεωργικά απόβλητα (Μελίδης, 2008).

Από όλες τις προαναφερθείσες κατηγορίες, το ανεπεξέργαστο νερό(ρεύμα) τροφοδοτείται με ρύπους ή ενώσεις που απελευθερώνονται στο περιβάλλον, είτε άμεσα είτε έμμεσα από τον άνθρωπο και μπορεί να είναι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία ή το περιβάλλον στο σύνολό του. Λόγω της ύπαρξης ζωντανών μικροοργανισμών (ιών, βακτηρίων), καθώς και των διαφόρων οργανικών συστατικών και ανόργανων ενώσεων που περιέχουν, οι ρύποι δίνουν στο νερό το χρώμα, τη γεύση και την οσμή του.

Η επεξεργασία των λυμάτων είναι ζωτικής σημασίας για τον λόγο αυτό. Επεξεργασία λυμάτων, όπως ορίζεται από το Υ.Α. Ε1β 221/65 (ΦΕΚ 138/Β'/24-2-65) είναι κάθε τεχνική διαδικασία που τροποποιεί τα επικίνδυνα χαρακτηριστικά των λυμάτων με σκοπό την πρόληψη ή την μείωση των αρνητικών συνεπειών που θα έχουν όταν διατίθενται στους αποδέκτες.

Στο παρελθόν ήταν συνήθης πρακτική η απόρριψη αστικών λυμάτων απευθείας στους αποδέκτες, γεγονός που οδηγούσε στην υποβάθμιση και την ρύπανση των υδάτων. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων γίνεται σήμερα σύμφωνα με την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ, "για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων", όπως αυτή ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με την ΚΥΑ 5673/400/97 (ΦΕΚ 192/Β'/1997), η οποία τροποποιήθηκε αργότερα με την ΚΥΑ 19661/1982/1999 (ΦΕΚ1811/Β'/1999), "Κατάλογος ευαίσθητων περιοχών για τη διάθεση αστικών

λυμάτων σύμφωνα με το άρθρο 4 του ν.4412/2016". 5 (παρ.1) της παρούσας απόφασης", και συμπληρώθηκε με την ΚΥΑ.

Σήμερα, οι ΕΕΛ, που συχνά αναφέρονται ως Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων (ΚΕΛ), αποτελούν απαίτηση και καθήκον για κάθε οργανωμένη κοινότητα. Η απαίτηση αυτή απορρέει από το γεγονός ότι η προαναφερθείσα οδηγία: α) καθορίζει ανώτατα επιτρεπτά όρια ρύπων στην εκροή επεξεργασμένων λυμάτων από εγκαταστάσεις επεξεργασίας, β) κάνει διάκριση μεταξύ τριών τύπων αποδεκτών (κοινών, ευαίσθητων και μη ευαίσθητων) και γ) υποχρεώνει τα κράτη μέλη να τηρούν την απαίτηση να υποβάλλονται τα αστικά λύματα σε τριτοβάθμια, δευτεροβάθμια ή πρωτοβάθμια επεξεργασία πριν διατεθούν στον πλησιέστερο αποδέκτη, η οποία καθορίζεται βάσει συγκεκριμένου χρονοδιαγράμματος (ΕΟΚ, 1991).

2.2 Ιστορική αναδρομή στα δίκτυα λυμάτων-ομβρίων

Υπάρχουν στοιχεία για δίκτυα αποχέτευσης που χρονολογούνται από την αρχαιότητα, όπου συλλέγονταν τόσο τα αστικά λύματα όσο και τα όμβρια ύδατα. Βασικές λέξεις όπως αστικά λύματα, λύματα ή ακάθαρτο νερό-νερό σε συνδυασμό με υγρές και στερεές ουσίες που απορρίπτονται από την καθημερινή χρήση υγιεινής, από κατοικημένες και άλλες περιοχές-χρησιμοποιούνται στον σχεδιασμό και την κατασκευή των δικτύων αποχέτευσης. Η φράση "νερό της βροχής" χρησιμοποιείται επίσης για να αναφερθεί στο νερό από το λιώσιμο του χιονιού, την απορροή από στέγες, κήπους και αυλές, καθώς και στο νερό από τα χωράφια μετά από έντονες βροχοπτώσεις. Τέλος, ως δίκτυο αποχέτευσης ορίζεται ένα σύστημα σωληνώσεων, φρεατίων συλλογής νερού, δεξαμενών συλλογής νερού, αντλιοστασίων κ.λπ. που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά λυμάτων ή/και βρόχινων νερών σε έναν τόπο διάθεσης (Κουτσογιάννης,2011).

Η πλειονότητα των συστημάτων αποχέτευσης που κατασκευάζονται εμπίπτουν στη γενικότερη κατηγορία των συμβατικών συστημάτων αποχέτευσης, με τη βαρύτητα να χρησιμεύει ως ο κύριος τρόπος μεταφοράς των προς αποχέτευση ροών. Η κατασκευή δικτύων αποχέτευσης ποικίλλει διαχρονικά και καταγράφεται σε επίπεδο κτιρίου, χωριού ή και πόλης (Λυμπεράτος,2003- Κουτσογιάννης,2011). Το σύστημα των παντορροϊκών αγωγών, το οποίο έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει τη μεταφορά τόσο

των αστικών λυμάτων όσο και των ομβρίων υδάτων σε ένα ενιαίο δίκτυο αγωγών, ήταν ένα από τα πρώτα συστήματα αποχέτευσης που αναπτύχθηκαν. Ως εκ τούτου, κατασκευάζονται με μεγαλύτερες διατομές, έτσι ώστε, παρόλο που απαιτείται να μεταφέρουν μόνο λύματα σε καθημερινή βάση, να μπορούν να διαχειριστούν αυξημένες ροές νερού τις ημέρες ή κατά τη διάρκεια περιόδων με έντονες βροχοπτώσεις. Η κατασκευή τους συνδυάζει απλότητα, σημαντικά χαμηλότερο κόστος κατασκευής, καλύτερη εποπτεία του δικτύου και μικρότερη χρήση του συνολικού οδικού δικτύου (Λυμπεράτος,2003-Κουτσογιάννης, 2011). Ωστόσο, επειδή οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, οι οποίες συχνά ενσωματώνονται σε αυτά τα συστήματα, δεν αναπτύσσονται λαμβάνοντας υπόψη τις ροές των ομβρίων υδάτων, δεν αποτελούν κατάλληλη επιλογή για τις σημερινές κατασκευές. Ως αποτέλεσμα, σε περιπτώσεις όπου η συνολική ροή υπερβαίνει το μέγιστο καθορισμένο όριο των μονάδων, επιλέγεται η υπερχείλιση του ρεύματος εισροής σε επιφανειακά υδάτινα σώματα χωρίς προηγούμενη επεξεργασία. Επίσης, αν τα όμβρια ύδατα διοχετεύονται και σε μια μονάδα επεξεργασίας λυμάτων, τα λειτουργικά έξοδα τελικά θα αυξηθούν, ενώ υπάρχουν συχνά περιπτώσεις που θα συμβάλλουν μέσω της λάσπης στην ανάπτυξη προβλημάτων στη μονάδα (Λυμπεράτος, 2003-Κουτσογιάννης, 2011).

Ωστόσο, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι λόγω της ενοποίησης των δικτύων, υπάρχει η πιθανότητα είτε να υπάρξουν πλημμύρες σε υπόγειους χώρους και οικιστικά κτίσματα, ιδιαίτερα μετά από έντονες βροχοπτώσεις, είτε οσμές που προέρχονται από ανοιχτά φρεάτια συλλογής ομβρίων υδάτων σε περιόδους ξηρασίας (Λυμπεράτος, 2003-Κουτσογιάννης, 2011). Τέλος, εάν ο τελικός αποδέκτης βρίσκεται σε αρκετά απομακρυσμένη απόσταση, ειδικά εάν υπάρχουν συστήματα επιφανειακών υδάτων κοντά στην τροφοδοτούμενη οικιστική περιοχή που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αποδέκτες ομβρίων υδάτων, το φθηνότερο κόστος κατασκευής των συστημάτων παντογράφων μπορεί τελικά να υπερβεί κατά πολύ την αρχική εκτίμηση (Κουτσογιάννης, 2011). Στην σύγχρονη εποχή, το παντορροϊκό σύστημα επιλέγεται συνήθως μόνο για μικροσκοπικές προσθήκες σε ήδη υπάρχοντα τέτοια δίκτυα, αλλά και στην περίπτωση μικρών πόλεων ή κέντρων πόλεων με στενούς δρόμους(Λυμπεράτος, 2003-Κουτσογιάννης, 2011). Το ανάκτορο της Κνωσού

διαθέτει ένα από τα παλαιότερα και πιο εκτεταμένα συστήματα αποχέτευσης που έχουν ανακαλυφθεί ποτέ στην Ελλάδα. Εκεί ανακαλύφθηκαν δίκτυα αποχέτευσης με δύο ροές που σήμερα είναι γνωστά ως διακριτά συστήματα, εκ των οποίων το ένα χρησιμοποιούνταν για το νερό της βροχής και το άλλο για την απορροή των αστικών λυμάτων. Τα κτίσματα αυτά λειτούργησαν ως πρότυπο για την ανάπτυξη των δικτύων αποχέτευσης χιλιάδες χρόνια αργότερα.

Το χωριστό σύστημα είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα αποχέτευσης στη χώρα μας και έχει πλέον κατασκευαστεί και επιλέγει σχεδόν πλήρως, ιδίως σε βιομηχανικές περιοχές και πόλεις που βρίσκονται κοντά σε πηγή νερού. Η επιλογή αυτή του σχεδιασμού οφείλεται κυρίως στη σημαντική καθυστέρηση της οργανωμένης κατασκευής δικτύων αποχέτευσης που παρατηρείται στη χώρα μας (Κουτσογιάννης, 2011). Η μεταφορά των αστικών λυμάτων σε ξεχωριστό δίκτυο αγωγών από αυτό των ομβρίων υδάτων είναι η βασική ιδέα πίσω από την κατασκευή του ξεχωριστού συστήματος. Ως αποτέλεσμα, ο κεντρικός αγωγός χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των αστικών λυμάτων από το περιφερειακό δίκτυο αγωγών στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων και τελικά στον τελικό χρήστη. Αντίθετα, τα όμβρια ύδατα συγκεντρώνονται από ένα δίκτυο ξεχωριστών αγωγών με σκοπό τη μεταφορά τους σε διάφορες θέσεις εντός του πλησιέστερου υδάτινου σώματος ή ακόμη και σε διάφορους αποδέκτες (Λυμπεράτος, 2003-Κουτσογιάννης, 2011).

Η εξάπλωση του συστήματος διαχωρισμού είναι αποτέλεσμα της ικανότητας του σχεδιασμού να μειώνει την άντληση καθώς και της επιλογής αγωγών με τις μικρότερες διαθέσιμες διατομές. Τα διαχωριστικά συστήματα προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως τη δυνατότητα σταδιακής κατασκευής συστημάτων αποχέτευσης γεγονός που διευκολύνει τα στάδια της οικιστικής ή πολεοδομικής επέκτασης και αποτρέπει τις πλημμύρες υπογείων λόγω ισχυρών βροχοπτώσεων. Τα χωριστά συστήματα επιτρέπουν επίσης τη λειτουργία εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων που συνεργάζονται με το δίκτυο με πιο ακριβή και αποτελεσματικό τρόπο (Λυμπεράτος, 2003-Κουτσογιάννης, 2011).

Ωστόσο, για να αποφευχθούν ακατάλληλες συνδέσεις από ιδιώτες, απαιτείται εκτεταμένη εποπτεία του συστήματος κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του χωριστού συστήματος. Είναι επίσης σύνηθες να συμβαίνουν σοβαρές ζημιές σε

σπίτια, επιχειρήσεις και καλλιέργειες κατά τη διάρκεια περιόδων υπερβολικής βροχόπτωσης, δεδομένου ότι τα δίκτυα ομβρίων υδάτων δεν δημιουργούνται εξαρχής, αλλά αντιθέτως διοχετεύονται για μεγάλο χρονικό διάστημα είτε απευθείας σε δρόμους είτε σε υδατορέματα. Ο σχεδιασμός των αγωγών με ελεύθερη επιφάνεια, οι βαθιές εκσκαφές που απαιτούνται για τη συλλογή των λυμάτων από υπόγειες κυρίως κατοικίες, καθώς και η κατασκευή δικτύων αποχέτευσης με κυκλικούς σωλήνες με ελάχιστη διάμετρο 20 cm για την καλή λειτουργία (αερισμός και αποφυγή αποφράξεων), συμβάλλουν στο σημαντικά υψηλότερο κόστος κατασκευής των χωριστών συστημάτων (Λυμπεράτος, 2003-Κουτσογιάννης, 2011). Διάφορες τεχνολογικές επιλογές, οι οποίες αναφέρονται ως εναλλακτικά συστήματα αποχέτευσης, είναι διαθέσιμες για τις περιπτώσεις εκείνες όπου δεν μπορούμε ή δεν θέλουμε να κατασκευάσουμε τα παραδοσιακά συστήματα αποχέτευσης, με πρωτίστως:

α) Τα αποχετευτικά συστήματα με βαρύτητα, μικρής διαμέτρου, αλλιώς γνωστά και ως βαρυτικά δίκτυα.

Β) Συστήματα αποχέτευσης υπό πίεση, που αναφέρονται επίσης ως αποχετευτικοί αγωγοί βαρύτητας.

Γ) Δίκτυα αποχέτευσης υποπίεσης, που αναφέρονται επίσης ως δίκτυα κενού(Miszta-Kruk,2015).

Η κύρια κινητήρια δύναμη πίσω από την ανακάλυψή τους ήταν η επιθυμία να μειωθεί το κόστος κατασκευής ενός αποχετευτικού συστήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μικρότερων διατομών αγωγών, τη μείωση του βάθους εκσκαφής, την αποφυγή της ανάγκης επίσκεψης φρεατίων για τον έλεγχο του δικτύου και την κατασκευή τους με χαμηλότερο κόστος από τα παραδοσιακά. Ωστόσο, τόσο για το πρωτεύον δίκτυο όσο και για τις συνδέσεις, τα λειτουργικά τους έξοδα είναι υψηλότερα. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι τα εναλλακτικά συστήματα καταγράφουν πιο περίπλοκες υδραυλικές και βιοχημικές διεργασίες, οι οποίες απαιτούν την παρακολούθηση από εξειδικευμένο προσωπικό για τη διασφάλιση της αποτελεσματικής λειτουργίας (Miszta-Kruk,2015).

2.3 Δημιουργία, ανίχνευση και απομάκρυνση μικροπλαστικών

Τα πολυμερή έχουν γίνει σταδιακά μέρος της καθημερινής ζωής των ανθρώπων από τότε που άρχισαν να παράγονται για πρώτη φορά βιομηχανικά το 1950. Κυκλοφορούν σε ένα ευρύ φάσμα σχημάτων, μεγεθών και μορφών και έχουν διάφορες εφαρμογές. Εξαιτίας αυτού, τόσο τα αστικά όσο και τα βιομηχανικά σκουπίδια περιέχουν πλέον σημαντικά περισσότερα πλαστικά από ό,τι στο παρελθόν . Το 2012 παρήχθησαν παγκοσμίως 280 μεγάτονοι (Mtons) πολυμερών-πλαστικών, τα οποία βρέθηκαν σε καθημερινά αγαθά. Εκατομμύρια τόνοι πλαστικών απορρίπτονται σήμερα μετά τη χρήση τους σε εδάφη, υδάτινα συστήματα και θάλασσες, γεγονός που συμβάλλει στη μόλυνση τους σε ολοένα αυξανόμενες ποσότητες (Carr,2016). Στοιχεία από την Ευρωπαϊκή Ένωση Κατασκευαστών Πλαστικών δείχνουν ότι η παραγωγή πλαστικών παγκοσμίως αυξάνεται με ρυθμό 3-4% κάθε χρόνο. Το κυριότερα πολυμερή που παράγονται εμπίπτουν στις ακόλουθες κατηγορίες: θερμοπλαστικά, πολυουρεθάνες, θερμοσκληρυνόμενα, ελαστομερή, κόλλες, επιστρώσεις, στεγανωτικά και ίνες πολυπροπυλενίου. Ακολουθούν οι κύριοι τύποι πλαστικών που συναντώνται συχνά στο θαλάσσιο περιβάλλον:

Α) Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE)(LDPE-LLDPE). Περιλαμβάνουν καλαμάκια, δίχτυα συσκευασίας, έξι δακτυλίους μπουκαλιών, πλαστικές σακούλες και μπουκάλια διαφόρων μεγεθών.

Β) Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE). Περιλαμβάνονται κανάτες με γάλα και χυμούς.

Γ) Το σχοινί PP είναι κατασκευασμένο από πολυπροπυλένιο. Περιλαμβάνονται δίχτυα και καπάκια μπουκαλιών.

Δ) Πλαστικά σκεύη και δοχεία τροφίμων από πολυστυρένιο (PS).

Ε) Αφρός από πολυστυρένιο, αφρός πολυουρεθάνης και αφρός που χρησιμοποιείται στην κατασκευή επίπλων.

ΣΤ) Νάιλον (PA), το οποίο χρησιμοποιείται σε αλιευτικά δίχτυα, ίνες και παγίδες.

Ζ) Θερμοπλαστικοί πολυεστέρες (PET), οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πλαστικών μπουκαλιών για ποτά.

Η) Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) γνωστά με τη μορφή πλαστικής μεμβράνης, φιαλών, σωληνώσεων, κύπελλα και

Θ) Οξεική κυτταρίνη(CA), με κύρια χρήση στα φίλτρα τσιγάρων.

Οι στατιστικές δείχνουν ότι μόλις το 30-50% αυτών των πλαστικών σκουπιδιών ανακυκλώνεται. Τα υπόλοιπα υλικά παραμένουν στα συστήματα για χρόνια και σταδιακά διασπώνται σε μικροσκοπικά κομμάτια σχηματίζοντας μικροπλαστικά (0,3-5mm), τα οποία μολύνουν τους ωκεανούς, τις παραλίες, τα ποτάμια και τις λίμνες (Karapanagioti,2016).

Υπάρχουν διαθέσιμοι διάφοροι ορισμοί για το μικροπλαστικά, καθένας από τους οποίους παραθέτει μερικά από τα χαρακτηριστικά που τα χαρακτηρίζουν.

Πιο συγκεκριμένα:

I. Τα μικροπλαστικά είναι μια κατηγορία πλαστικών σωματιδίων που παράγονται κατά τη διάρκεια ζωής ενός προϊόντος, μέσω της χρήσης και της κατάχρησης ή απελευθερώνονται ως αποτέλεσμα ακούσιων διαρροών. Παρ'όλα αυτά, ο ορισμός αυτός δεν περιλαμβάνει τύπους μικροπλαστικών που ενσωματώνονται σκόπιμα σε προϊόντα ή εκείνα που δημιουργούνται με γνώμονα την ιδέα των προϊόντων μιας χρήσης. Επιπλέον, δεν περιλαμβάνει τα μικροπλαστικά που θα μπορούσαν να παραχθούν ως αποτέλεσμα της ανεπαρκούς ή ανύπαρκτης διαχείρισης αποβλήτων ή ακόμη και της διάσπασης μεγαλύτερων πλαστικών σκουπιδιών (Brandon et al., 2016).
II. Τα υλικά με ποικίλα σχήματα και μεγέθη κάτω των 5mm αναφέρονται ως μικροπλαστικά. Αυτά δημιουργήθηκαν από τον άνθρωπο με τη χρήση κοινών πλαστικών. Τα υλικά αυτά, τα οποία συναντώνται συχνότερα στα νερά των ωκεανών, αποτελούνται από πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο,

πολυστυρένιο, πολυαμίδιο(νάιλον), χλωριούχο πολυβινύλιο, ακρυλικό, ακρυλικό πολυμερές και ελαστομερές ή σιλικονούχο καουτσούκ (Carr,2017).

III. Ως μικροπλαστικά ορίζονται οι μικροσκοπικές ίνες ή σωματίδια πλαστικού υλικού που, όταν υπόκεινται σε φυσικές δυνάμεις (όπως η ηλιακή ακτινοβολία, τα θαλάσσια κύματα και τα ωκεάνια ρεύματα), διασπώνται σε μικρότερα θραύσματα και διασκορπίζονται στον πλανήτη (Magnusson et al.,2016).

IV. Αυτά τα συνθετικά υλικά με κύρια βάση τα πολυμερή που δεν είναι υγρά ή αέρια και έχουν μέγεθος μικρότερο από 5mm σε μια τουλάχιστον κατεύθυνση αναφέρονται ως μικροπλαστικά(Mucha, 2015).

Οι ορισμοί αυτοί περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα σωματιδίων που ανήκουν στην ίδια γενική κατηγορία υλικών (πλαστικά), αλλά διαφέρουν ως προς τα χρώματα, τα μεγέθη και τις μορφές τους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα κύρια και τα δευτερεύοντα μικροπλαστικά έχουν διαχωριστεί περαιτέρω. Τα κύρια μικροπλαστικά είναι εκείνα που κατασκευάζονται στη βιομηχανία ειδικά για να προστεθούν σε διάφορες συνθέσεις εμπορικών προϊόντων. Ως εκ τούτου, βρίσκονται σε σωληνάρια οδοντόκρεμας, πανιά καθαρισμού προσώπου, επιφανειακές επιστρώσεις σε μορφή σκόνης, καλλυντικά προϊόντα απολέπισης προσώπου και άλλα αντικείμενα σε σχήμα μικρών σφαιριδίων. Με την ευρύτερη έννοια, τα δευτερογενή μικροπλαστικά χαρακτηρίζονται ως κομμάτια πλαστικών υπολειμμάτων που απομένουν μετά τη σταδιακή αποσύνθεση των απορριπτόμενων πλαστικών συσκευασιών.

Στην κατηγορία των δευτερογενών μικροπλαστικών περιλαμβάνονται επίσης οι μικροΐνες (MF), οι οποίες είναι νηματοειδή υπολείμματα με πλάτος από 6 έως 175m, μέση διάμετρο περίπου 28m και μήκος μεταξύ 250 και 6250m(Cole et al.,2014).

Είναι άμεσα σαφές ότι λόγω του μικροσκοπικού μεγέθους τους, τα μικροπλαστικά διαχέονται εύκολα σε όλα τα συστήματα και τελικά βρίσκονται είτε μόνα τους είτε σε συνδυασμό με άλλα υλικά. Εκτός από τους τύπους μικροπλαστικών που είναι ορατοί με γυμνό μάτι, υπάρχουν και άλλοι τύποι με

μεγέθη της τάξης των m που κινούνται στην επιφάνεια των υδάτινων συστημάτων χωρίς να γίνονται άμεσα αντιληπτοί. Οι επιστήμονες έχουν προσπαθήσει να δημιουργήσουν τεχνικές ανίχνευσης για την καταγραφή της συμπεριφοράς τους και του τρόπου με τον οποίο ανταποκρίνονται στα πολλά ενδιαιτήματα στα οποία βρίσκονται, επειδή μπορεί πλέον να υποστηριχθεί με μεγάλη βεβαιότητα ότι υπάρχουν(Avio et al., 2015).

Για το λόγο αυτό διεξάγονται έρευνες σε διάφορες περιστάσεις, έτσι ώστε:

1. Να προσδιοριστεί η υπογραφή φθορισμού των διαφόρων ειδών πλαστικών, ώστε να εντοπιστεί η παρουσία μικροπλαστικών στα υδάτινα οικοσυστήματα. Τα ευρήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν, μεταξύ άλλων, σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, σε αποθέματα υπόγειων υδάτων και σε ωκεανούς (Cambell et al., 2014).
2. Να ταξινομηθούν τα φυσικά, βιολογικά και χημικά στοιχεία που επηρεάζουν τον ρυθμό καθίζησης των μικροπλαστικών (Kowalski et al., 2016).
3. Να κατηγοριοποιήσει τα βιολογικά χαρακτηριστικά τους -όπως ο ρυθμός κατάποσης, η μετατόπιση και ο ρυθμός βιοαποικοδόμησης - ανά πληθυσμό, καθώς και τα φυσικά χαρακτηριστικά τους -όπως η μετανάστευση, η καθίζηση και ο ρυθμός συσσώρευσης- καθώς και τα χημικά - όπως η αποικοδόμηση και η προσρόφηση (Wang et al., 2016).
4. Αξιολόγηση διαφόρων μικροπλαστικών με τη χρήση φασματοσκοπικών και μικροσκοπικών τεχνικών ταυτοποίησης για ανάλυση σε περιβαλλοντικά δείγματα (Song et al.,2015).
5. Να δημιουργηθούν τεχνικές για την εξαγωγή από οργανισμούς, την καταμέτρηση και την ταυτοποίηση μικροπλαστικών στο περιβάλλον (Qui et al.,2016).
6. Να δημιουργηθούν νέες μέθοδοι για την ανεύρεση μικροπλαστικών σε ιζήματα και περιοχές όπου συλλέγονται οργανισμοί (Claessens et al, 2013).
7. Να δημιουργηθεί μια νέα διαδικασία για την εξαγωγή και τον εντοπισμό μικροπλαστικών από ιστούς ψαριών (Avio et al, 2015).

Ορισμένες από αυτές τις μεθόδους, μαζί με πολλές άλλες που δεν συμπεριλήφθηκαν, αρχίζουν να χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση και τον προσδιορισμό των μικροπλαστικών σε υδάτινα συστήματα. Όμως, η απαλλαγή από αυτά απαιτεί πολλή δουλειά, γεγονός που αυξάνει το κόστος εφαρμογής. Για τους λόγους αυτούς, για την απομάκρυνση των μικροπλαστικών από τα υδάτινα συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα δίχτυα περιορισμού, επιφανειακά ξεπλύματα, αποβράσματα και άλλα μέσα φιλτραρίσματος. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, ακόμη και αν απομακρυνθούν με φυσικό ή μηχανικό τρόπο, μια σημαντική ποσότητα μικροπλαστικών που δεν είναι ορατή θα εξακολουθεί σχεδόν πιθανώς να υπάρχει γύρω από την εγκατάσταση (Mulder, 2015).

2.4 Μορφές ανίχνευσης και απομάκρυνσης

Όπως προκύπτει από τα προαναφερθέντα, τα μικροπλαστικά χρησιμοποιούνται ευρέως στην καθημερινή ζωή και απελευθερώνονται στο περιβάλλον με αυξανόμενο ρυθμό σε όλες τις διαφορετικές μορφές τους. Θα μπορούσαμε να σκεφτούμε ότι οι κύριες πηγές μικροπλαστικών είναι το έδαφος και οι θαλάσσιες πηγές (GESAMP, 2012). Αυτά που προέρχονται από το έδαφος μπορούν να χωριστούν περαιτέρω σε πρωτογενή(πλαστικά σφαιρίδια, πλαστικά sticks από μπατονέτες, βιομηχανικά λειαντικά, σκόνες έγχυσης, σκόνες τρισδιάστατης εκτύπωσης και PCP), τα οποία απελευθερώνονται στο περιβάλλον είτε άμεσα, είτε τυχαία, είτε μέσω εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Από εκεί απελευθερώνονται στα υδάτινα συστήματα και στη συνέχεια τελικά στους ωκεανούς.

Οι ακόλουθες δευτερεύουσες χερσαίες πηγές απορρίπτονται επίσης στα υδάτινα συστήματα και στη συνέχεια στους ωκεανούς: α) ελαστικά οχημάτων, μέσω της φθοράς των οποίων δημιουργούνται θραύσματα, β) πλαστικές συσκευασίες, μέσω του τεμαχισμού των οποίων δημιουργούνται προοδευτικά όλο και μικρότερα

πλαστικά, και γ) υφάσματα και ρούχα, μέσω του πλυσίματος των οποίων απελευθερώνονται ίνες (GESAMP,2012).

Συγκριτικά, διαχωρίζονται οι κύριες (εμπορική ναυτιλία και κρουαζιερόπλοια) και οι δευτερεύουσες (άλλες πηγές) θαλάσσιες πηγές μικροπλαστικών (αλιεία, ιχθυοκαλλιέργειες, χρήσεις αναψυχής, κρουαζιερόπλοια) και από αυτές τις πηγές, τα μικροπλαστικά απελευθερώνονται στους ωκεανούς είτε σκόπιμα είτε τυχαία, ιδίως από τα κρουαζιερόπλοια, τα οποία τα απορρίπτουν μέσω των συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων τους. (GESAMP,2012).

Ως αποτέλεσμα των προαναφερθέντων, οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων ξεχωρίζουν ως μία από τις σημαντικότερες πηγές μικροπλαστικών στα υδάτινα συστήματα. Διαθέτουν ανεπαρκείς πληροφορίες σχετικά με την αποτελεσματική απομάκρυνση των μικροπλαστικών. Τα μικροπλαστικά παραμένουν στην επιφάνεια του ρεύματος για να καθαριστούν λόγω της χαμηλής πυκνότητας τους (Campell et al,. 2014). Επειδή οι δεξαμενές καθίζησης στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων δεν είναι σχεδιασμένες για να συλλαμβάνουν τα αιωρούμενα σωματίδια όπως αυτά που είναι κατασκευασμένα από πολυαιθυλένιο και νάιλον, τα μικροπλαστικά περνούν τόσο από την πρωτογενή καθίζηση όσο και από τα άλλα στάδια της βιολογικής επεξεργασίας. Ως αποτέλεσμα, οποιαδήποτε σωματίδια που δεν συσσωρεύονται με τα φλοκ-πλωτά απόβλητα-που δημιουργούνται από την ενεργό ιλύ για να καθιζάνουν και να αποβάλλονται, καταλήγουν στο τελικό ρεύμα εκροής.

Επιπλέον, η πρωτογενής καθίζηση δεν απομακρύνει ούτε τα μικροπλαστικά, και επί του παρόντος δεν υπάρχουν διαθέσιμα πηκτικά που να βοηθούν στη συσσωμάτωση και στην καθίζηση τους. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μια πιλοτική έρευνα που διεξήχθη στο Vrije Universiteit σε συνεργασία με το TU Delft και το Deltares διαπίστωσε ότι πάνω από το 90% των πλαστικών σωματιδίων που περιέχονταν στην εισροή ενός ΚΕΛ απομακρύνθηκαν, ενώ μόλις 20 σωματίδια ανά λίτρο εμφανίστηκαν στην τελική εκροή (Mucha,2015).

Μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο Vodokanal, την κύρια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων στην Αγία Πετρούπολη με ετήσια δυναμικότητα 350.000.000

m^3, ανακάλυψε επίσης σημαντικές ποσότητες μικροπλαστικών. Όλα τα εξετασθέντα δείγματα της εγκατάστασης περιείχαν μικροπλαστικά, αν και οι συγκεντρώσεις τους μειώνονταν καθώς το ρεύμα περνούσε από τις διάφορες φάσεις επεξεργασίας. Για παράδειγμα, ενώ στο εισερχόμενο λύμα βρέθηκαν 467 ίνες, 160 συνθετικά σωματίδια και 3.160 μαύρα σωματίδια ανά λίτρο, στην τελική θέση δειγματοληψίας και μετά τη διαδικασία επεξεργασίας, ανακαλύφθηκαν μόνο 16 ίνες, 7 συνθετικά σωματίδια και 125 μαύρα σωματίδια ανά λίτρο (Talvitie & Heinonen, 2014).

Η προαναφερθείσα μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ενώ μια σημαντική ποσότητα μικροπλαστικών συγκρατείται και καθιζάνει με την ιλύ κατά τα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, ορισμένα από αυτά διαφεύγουν ακόμη και τη βιολογική διαδικασία και καταλήγουν στο υδάτινο περιβάλλον με τα τελικά λύματα. Ως εκ τούτου, μεταξύ των πηγών εισόδου μικροπλαστικών στα υδάτινα συστήματα θα μπορούσαν να συγκαταλέγονται οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (Talvitie & Heinonen, 2014).

Παρόμοιες έρευνες ή παρατηρήσεις, έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορα κέντρα επεξεργασίας λυμάτων παγκοσμίως, με το τελικό συμπέρασμα να είναι το ίδιο: "οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας δεν μπορούν να συγκρατήσουν πλήρως τα μικροπλαστικά από τα λύματα με συμβατικούς τρόπους". Για την απομάκρυνση των μικροπλαστικών από τα προς επεξεργασία απόβλητα των εγκαταστάσεων, υπάρχουν σήμερα μερικά τεχνικά εργαλεία και εφαρμογές (λεπτή σχάρα, ενδιάμεσες δεξαμενές συγκράτησης, χρήση διαβαθμισμένων κόσκινων, μηχανισμοί απομάκρυνσης επιφανειακών υδάτων, ενσωμάτωση τριτοβάθμιας επεξεργασίας, φίλτρα άμμου πριν από την τελική εκροή), αλλά δυστυχώς δεν επαρκούν για τις κατηγορίες μικροπλαστικών μεγέθους μερικών μέτρων. Ωστόσο, ακόμη και αν ένα σημαντικό ποσοστό μικροπλαστικών εξαλειφθεί από το ρεύμα αποβλήτων με τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, αυτό δεν σημαίνει ότι θα έχουν εξαφανιστεί ή αλλάξει. Η λάσπη που ανακτάται από τις εργασίες, η οποία επίσης πρέπει να διαχειριστεί πριν από την τελική διάθεση, θα τα ενσωματώσει διατηρώντας τα αρχικά χαρακτηριστικά τους. Κατά συνέπεια, τα μικροπλαστικά θα πρέπει να εξαλειφθούν από τα αρχικά αντικείμενα που τα περιέχουν (Carr, 2016).

2.5 Επιπτώσεις μικροπλαστικών στους πληθυσμούς

Με βάση τα παραπάνω, είναι εύλογο να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι τα μικροπλαστικά, λόγω του μικροσκοπικού μεγέθους τους, αποτελούν σημαντικό ρύπο στα συστήματα επιφανειακών υδάτων, στις θάλασσες και στους ωκεανούς. Λόγω της σύστασής τους, δεν βιοδιασπώνται εύκολα σε ένα τυπικό περιβάλλον, γεγονός που αποτελεί μια πτυχή που συμβάλλει σε αυτό. Τα συνθετικά πολυμερή αποικοδομούνται πολύ αργά, συνήθως χρειάζονται από μερικές δεκαετίες έως πολλούς αιώνες για να εξαφανιστούν εντελώς, ανάλογα με το υλικό και το κλίμα. Ως αποτέλεσμα, τα μικροπλαστικά συνεχίζουν να συσσωρεύονται στο υδάτινο περιβάλλον με την πάροδο του χρόνου. Ο συνδυασμός της ανθεκτικότητας αυτών των στοιχείων και της δυνατότητας συσσώρευσης στις τροφικές αλυσίδες αποτελεί την κύρια πηγή του κινδύνου που συνδέεται με αυτό το αποτέλεσμα. Επίσης, το γεγονός ότι τα μικροπλαστικά έχουν το ίδιο μέγεθος με τα σωματίδια του εδάφους και ορισμένα πλαγκτονικά είδη αποτελεί κίνδυνο. Εξαιτίας αυτού, μπορεί να είναι βιοδιαθέσιμα σε διάφορα υδρόβια και θαλάσσια πλάσματα (Mucha, 2015).

Οι ακόλουθοι άλλοι παράγοντες επηρεάζουν επίσης το πόσο βιοδιαθέσιμα είναι τα μικροπλαστικά και πώς επηρεάζουν τους οργανισμούς:

- Μέγεθος. Είναι απλό για αυτά να είναι βιοδιαθέσιμα στα κατώτερα τροφικά είδη λόγω των μικρών μεγεθών στα οποία βρίσκονται στα συστήματα. Αρκετά από αυτά παρουσιάζουν επιλεκτικότητα για τροφές συγκεκριμένων μεγεθών και παίρνουν οτιδήποτε έχει το κατάλληλο μέγεθος. Αντίθετα, τα ανώτερα τροφικά πλάσματα είτε καταβροχθίζουν ενεργά τα μικροπλαστικά ενώ τρέφονται με αυτά είτε τα ερμηνεύουν λανθασμένα ως τροφή και κάνουν το ίδιο. Ένα από τα μεγαλύτερα θηλαστικά στη γη και χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η φάλαινα Balaenoptera physalus που ζει στη Μεσόγειο Θάλασσα. Μπορεί να καταναλώσει περίπου 70.000 λίτρα νερού ταυτόχρονα, διατρέχοντας τον κίνδυνο να φάει μικροπλαστικά τόσο άμεσα όσο και έμμεσα από το νερό και το πλαγκτόν (Fossi et al., 2014).

Εικόνα 5 Καβούρι χρησιμοποιεί πλαστικό καπάκι σαν κέλυφος. Retrieved from National Geographic

- Αυτή θα καθορίσει τη βιοδιαθεσιμότητα στη στήλη του νερού και, ως εκ τούτου, θα βοηθήσει στη διάκριση μεταξύ των διαφόρων ειδών πλαστικών που τρώνε οι οργανισμοί. Τα πλαστικά χαμηλής πυκνότητας, όπως το PE (ειδικό βάρος: 0,91-0,94), είναι επομένως πιο πιθανό να έρθουν σε επαφή με οργανισμούς που ζουν στα ανώτερα στρώματα της υδάτινης στήλης, ενώ τα πλαστικά υψηλής πυκνότητας, όπως το PVC (ειδικό βάρος: 1,38), θα γίνουν διαθέσιμα στο βενθικό αιώρημα, θα συνεχίσουν να αποσυντίθενται καθώς βυθίζονται και τελικά θα φτάσουν στο βένθος (Wesch et al., 2016).
- Η βιοδιαθεσιμότητά τους επηρεάζεται επίσης από την αύξηση των μικροπλαστικών στο θαλάσσιο περιβάλλον, δεδομένου ότι ένας οργανισμός είναι πιο πιθανό να έρθει σε επαφή με αυτά ταυτόχρονα. Αυτό είναι αποτέλεσμα του αυξανόμενου κατακερματισμού των πλαστικών συσκευασιών που απελευθερώνονται στα υδάτινα συστήματα, γεγονός που αυξάνει την ποσότητα των σωματιδίων που είναι διαθέσιμα για κατανάλωση από μεγαλύτερη ποικιλία οργανισμών (Wesch et al., 2016).
- Χρώμα. Αυτό μπορεί να ενθαρρύνει τους οργανισμούς να καταναλώνουν μικροπλαστικά, καθώς ορισμένα από αυτά μοιάζουν με τροφές που είναι άμεσα διαθέσιμες. Σύμφωνα με μελέτες, τα εμπορικά ψάρια και οι προνύμφες τους μπερδεύουν τα μικροπλαστικά με τροφή λόγω του χρώματός τους και τα τρώνε (Wesch et al., 2016).

Εικόνα 6 Θαλάσσια χελώνα παγιδευμένη σε δίχτυα από πλαστικό σε ακτή της Ισπανίας. Retrieved from National Geographic

- Τοξικότητα. Η τοξικότητα των μικροπλαστικών σχετίζεται με τα χημικά πρόσθετα και τα μονομερή που περιέχουν, καθώς και με το μέγεθος της ειδικής επιφάνειάς τους. Όταν τα μικροπλαστικά αποβάλλονται, τα μονομερή που απελευθερώνονται έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν καρκίνο σε ανθρώπους, ασπόνδυλα, πτηνά και υδρόβιους οργανισμούς (Mucha, 2015). Συνήθως, στα πλαστικά προστίθενται πολυάριθμα πρόσθετα κατά τη διαδικασία κατασκευής, όπως καταλύτες, αντιοξειδωτικά, επιβραδυντικά φλόγας, αντιμικροβιακά και άλλες ουσίες. Ο κύριος όγκος των έμμονων οργανικών ρύπων (POPs), συμπεριλαμβανομένων των πολυχλωριωμένων διφαινυλίων (PCBs), καθώς και άλλων υδρόφοβων ρύπων, απορροφάται και συγκεντρώνεται σε μεγάλες ποσότητες στο κοντινό θαλάσσιο περιβάλλον από τα πλαστικά, τα οποία συμπεριφέρονται επίσης σαν σφουγγάρια. Ως αποτέλεσμα, τα θαλάσσια είδη που καταναλώνουν τα μικροπλαστικά χρησιμεύουν ως πηγές δηλητηρίων. Επιπλέον, η κατάποση μικροπλαστικών από θαλάσσια είδη συνδέεται με βλαβερές συνέπειες υπό την έννοια του τοξικού σοκ (Luvsa et al., 2015).
- Συσσώρευση. Η συσσώρευση μικροπλαστικών απορριμμάτων στον πυθμένα της θάλασσας είναι μια άλλη πιθανή απειλή για τα θαλάσσια οικοσυστήματα. Σύμφωνα με αξιολόγηση του UNEP του 2005, το 70% όλων των θαλάσσιων απορριμμάτων βυθίζεται τελικά στον πυθμένα τόσο των ρηχών όσο και των βαθιών υδάτων. Άμμος ή άλλοι μολυσματικοί παράγοντες μπορεί να εισέλθουν

και να βυθιστούν στο εσωτερικό των δοχείων που αποτελούν την πλειονότητα των απορριπτόμενων πλαστικών συσκευασιών (μπουκάλια, κουτιά κ.λπ.). Οι κατακόρυφες ροές καθίζησης οργανικών και ανόργανων σωματιδίων κινδυνεύουν ως αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας (καθίζηση μικροπλαστικών στη στήλη του νερού). Μετά τη δημιουργία υποξίας ή ανοξίας, αυτό μπορεί να προκαλέσει επιβράδυνση της ανταλλαγής αερίων και της δέσμευσης οξυγόνου μεταξύ των υπερκείμενων υδάτων και των πορωδών ιζημάτων, γεγονός που μπορεί να διαταράξει ή να προκαλέσει ασφυξία στις βενθικές αποικίες (Mucha, 2015).

- Φυσικός κίνδυνος. Ο φυσικός κίνδυνος είναι μια συνέπεια της ρύπανσης από πλαστικό στη θαλάσσια ζωή. Η κατάποση πλαστικών μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις, όπως πιθανή μηχανική απόφραξη του εντέρου, έκκριση ενζύμων του στομάχου, μειωμένη διέγερση της τροφής, μειωμένα επίπεδα στεροειδών ορμονών, καθυστερημένη ωορρηξία και αποτυχία αναπαραγωγής των πληθυσμών. Οι οργανισμοί που είναι βυθισμένοι σε θαλάσσια συστήματα μπορεί τελικά να υποστούν σημαντικές εσωτερικές βλάβες ή ενδεχομένως να πεθάνουν ως αποτέλεσμα αυτών των επιπτώσεων. Ιδιαίτερα για συγκεκριμένες ομάδες θαλασσοπουλιών και ειδών ψαριών, ο κίνδυνος αυτός είναι τεράστιος. Ωστόσο, υπάρχουν πολυάριθμες μελέτες που αποδεικνύουν ότι ορισμένα πλάσματα μπορούν τελικά να αποβάλλουν τα μικροπλαστικά μαζί με άλλα, μη αφομοιώσιμα υλικά, μειώνοντας τις αρνητικές επιπτώσεις σε αυτά (Mucha, 2015).

Εικόνα 7 Μεσογειακή φώκια με ένα πλαστικό μπουκάλι. Τα θαλάσσια ζώα συχνά μπερδεύουν τα πλαστικά αντικείμενα με την τροφή τους. Retrieved from NationalGeographic

- Επιπτώσεις στην τροφική αλυσίδα. Ορισμένα POPs και πρόσθετα είναι επικίνδυνα και, αν ενσωματωθούν στα μικροπλαστικά, μπορεί να έχουν επιβλαβείς συνέπειες στα πλάσματα που τα έχουν καταπιεί. Η βιοδιαθεσιμότητα και το μικρό μέγεθος των μικροπλαστικών ευνοούν την έκθεση σε ένα ευρύ φάσμα ειδών. Είναι επίσης γνωστό ότι τα μικροπλαστικά μπορούν να ανέβουν στην τροφική αλυσίδα. Δεδομένου ότι τα ψάρια και τα μύδια καταναλώνονται συχνά από τους ανθρώπους, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η μόλυνση από μικροπλαστικά μπορεί επίσης να απορροφηθεί από τους ανθρώπους μέσω αυτών (Mucha, 2015).

Αν και δεν έχει τεκμηριωθεί διεξοδικά, η ποσότητα μικροπλαστικών που εντοπίζεται στους ωκεανούς και τις θάλασσες του κόσμου αυξάνεται σε επικίνδυνα επίπεδα.

Σε σύγκριση με άλλα ύδατα στον κόσμο, η Μεσόγειος θεωρείται ότι είναι η θάλασσα με τη μεγαλύτερη πλαστική ρύπανση. Μικροπλαστικές ίνες έχουν βρεθεί στα στομάχια και στους βιολογικούς ιστούς ψαριών και άλλων θαλάσσιων πλασμάτων, γεγονός που ενισχύει τη θεωρία σχετικά με το πώς αυτά τα σωματίδια διεισδύουν στην τροφική αλυσίδα και τα οικοσυστήματα.

Κεφάλαιο 3ο: Μικροπλαστικά στη Μεσόγειο Θάλασσα

3.1 Ερευνητικά στοιχεία

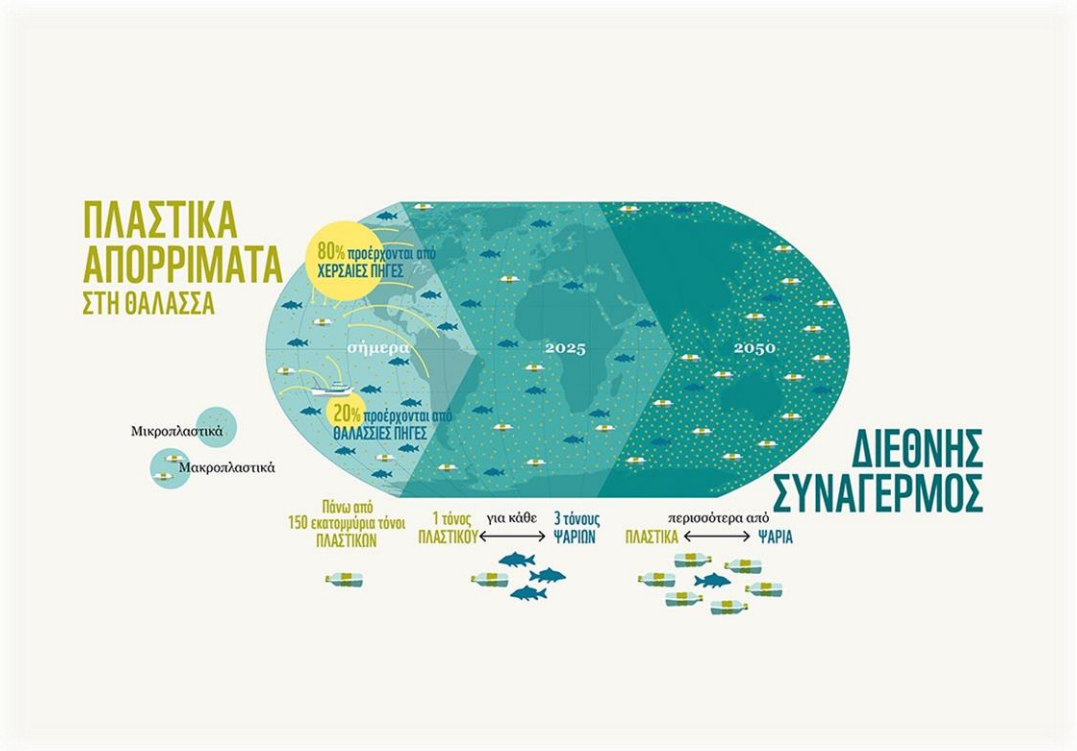
Αν και είναι μια κλειστή υδάτινη λεκάνη, η Μεσόγειος Θάλασσα δεν είναι απρόσβλητη από το περιβαλλοντικό ζήτημα της ρύπανσης από μικροπλαστικά. Σύμφωνα με τους Collignon και συν. (2012), τα επίπεδα ρύπανσης στη βορειοδυτική Μεσόγειο είναι συγκρίσιμα με εκείνα στην κεντρική σπείρα του Βόρειου Ειρηνικού Ωκεανού (0,27 σωματίδια ανά m -3), αλλά ακόμη και μακριά από τις τοποθεσίες παραγωγής μικροπλαστικών, οι συγκεντρώσεις εξακολουθούν να είναι πολύ υψηλές (0,15 σωματίδια ανά m -3 , De lucia et al., 2014). Η κατανομή των μικροπλαστικών επηρεάζεται σημαντικά από την ένταση του ανέμου, ο οποίος μπορεί επίσης να έχει αντίκτυπο στα αποτελέσματα των ερευνών, καθώς αναδιοργανώνει τα σωματίδια του ανώτερου στρώματος νερού, εμποδίζοντας τη δειγματοληψία τους (Collignon et al., 2012). Οι συγκεντρώσεις μικροπλαστικών της Μεσογείου και των Ευρωπαϊκών Θαλασσών εμφανίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Τοποθεσία	Εξοπλισμός	Συγκέντρωση Σωματιδίων (Μετρημένες τιμές)	Συγκέντρωση Μικροπλαστικών (αριθμός/m^3)	Πηγή
Δανία	Κόσκινο	0.0324g/L	-	Strand et al. (2013)
Πυθμένας Μεσογείου (1000-3500m)	Δειγματολήπτης Πυθμένα	13,4/50mL	-	Woodall et al. (2014)

Πυθμένας Μεσογείου (1176-4843m)	Δειγματολήπτης Πυθμένα	0,5/25cm^2	-	VanCauwenberghe et al. (2013)
Ιταλία (Μεσόγειος)	Δίχτυ Neuston	1.25/m^2	0.25	Suaria et al. (2016)
Βορειοδυτική Μεσόγειος	Δίχτυ Manta	0.116/m^2	0.0232	Collignon et al. (2012)
Μεσόγειος Θάλασσα	Δίχτυ Neuston	890.000/km^2	0.178	Eriksen Et al. (2014)
Δυτική Ακτή, Σουηδία	Δίχτυ Manta (80μm)	150-2.400/m^3	150-2400	Noren (2007)
	Δίχτυ Manta (450μm)	0.01-0.14/m^3	0.01-0.14	
Skagerrak, Σουηδία	Αντλίες	102,000/m^3	102,000	Noren & Naustvoll (2011)
Κόλπος Oristano, Σαρδηνία, Ιταλία	Δίχτυ Manta	0.15/m^3	0.15	De Lucia Et al. (2014)
Βόρεια Θάλασσα, Φινλανδία	Δίχτυ Manta	0-0.74/m^3	0-0.74	Magnusson (2014)
Κρητικός Κόλπος, Ελλάδα	Δίχτυ Πλαγκτόν	119±250 g/km^2	-	Kornilios, Drakopoulos & Dounas (1998)
Δυτική Μεσόγειος, Λυγιρική Θάλασσα και Θάλασσα της Σαρδηνίας	Δίχτυ Neuston Δίχτυ Πλαγκτόν	0.62 ± 2.00/m^3	0.62-2.00	Fossi et al. (2012)
Δυτική Μεσόγειος, Κόλπος Calvi	Δίχτυ Neuston	6.2/100 m^2	0.0124	Collignon Et al. (2014)

Δυτική Μεσόγειος	Δίχτυ Manta	0.26±0.33/m^3	0.26±0.33	Baini et al. (2018)

Μεσόγειος Θάλασσα	Δίχτυ Manta	147.500/Km^2	0.0295	Ruiz- Orejon et al (2016)
Μεσόγειος Θάλασσα	Δίχτυ Neuston	243.853/km^2	0.0487	Cozar et al. (2015)
Δυτική Μεσόγειος Θάλασσα	Δίχτυ Manta	112.000/Km^2	0.0224	Schmidt et al. (2018)
Δυτική Μεσόγειος Θάλασσα	Δίχτυ Manta	82.000±79.000 /km^2	0,0164±0.0158	Fossi et al. (2018)
Αιγαίο- Θάλασσα Μέσης Ανατολής	Δίχτυ Manta	16.339-520.213/km^2	0.00327-0.1040	Guven et al. (2017)
Αιγαίο- Θάλασσα Μέσης Ανατολής	Δίχτυ Manta	7.68±2.38/m^3	7.68±2.38	Van der Hal et al(2017)
Αιγαίο- Θάλασσα Μέσης Ανατολής	Δίχτυ Manta	0.376/m^2	0.0752	Gundogdu and Cevik (2017)
Βορειοανατολική Θάλασσα Μέσης Ανατολής Τουρκία	Δίχτυ Manta	1.067.120/km^2	0.213	Gundogdu (2017)



Εικόνα 8 Στη λεκάνη της Μεσογείου παρατηρείται 95% παρουσία πλαστικών σκουπιδιών. Retrieved from WWF.

3.2 Θεσμικές ρυθμίσεις για την προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος

Η ρύπανση του υδάτινου περιβάλλοντος από μικροπλαστικά, η οποία επηρεάζει τους ωκεανούς, τις θάλασσες, τις λίμνες, τα ποτάμια και τις ακτές σε όλο τον κόσμο, αποτελεί σοβαρό περιβαλλοντικό ζήτημα. Εδώ και αρκετά χρόνια, το κοινό συζητά με αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα μικροπλαστικά. Αυτό έχει ωθήσει τους νομοθέτες και τα κράτη να δημιουργήσουν εξειδικευμένους οργανισμούς σε διεθνές και εθνικό επίπεδο, καθώς και να αναλάβουν δράση για την επίλυση του ζητήματος.

Συνέδριο Ηνωμένων Εθνών για το Δίκαιο της Θάλασσας (UNCLOS)

Η UNCLOS είναι μία από τις σημαντικότερες διακυβερνητικές συμφωνίες για την εκμετάλλευση των θαλασσών, καθώς με τα 320 άρθρα και τα 9 παραρτήματά της δημιούργησε για πρώτη φορά ένα σύστημα για το δίκαιο της θάλασσας. Αν και τα μικροπλαστικά δεν αναφέρονται ρητά, το θαλάσσιο περιβάλλον προστατεύεται βάσει των άρθρων 192-237. (UNCLOS 1982)

Παράρτημα V της MARPOL

122 κράτη έχουν επικυρώσει τη Διεθνή Σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία, η οποία υιοθετήθηκε το 1973. Ένα πλαίσιο για τη διαχείριση των απορριμμάτων που παράγονται από τα πλοία περιλαμβάνεται στο παράρτημα V, το οποίο επικαιροποιήθηκε το 2011 και τέθηκε σε ισχύ το 2013. Εκτός από μικρές εξαιρέσεις που σχετίζονται με το είδος των αποβλήτων, τον τόπο απόρριψης, τις αποστάσεις από την ακτή κ.λπ., επιβάλλει μια γενική απαγόρευση της απόρριψης σκουπιδιών από τα πλοία (1973,1979).

EU MSFD

Μια οδηγία για τη διατήρηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής Κοινότητας είναι η οδηγία-πλαίσιο της ΕΕ του 2008. Όσον αφορά το θαλάσσιο περιβάλλον, η εν λόγω οδηγία θέτει ένα πλαίσιο εντός του οποίου κάθε κράτος μέλος υποχρεούται να λαμβάνει τα κατάλληλα μέτρα για τη διατήρηση ή τη βελτίωση της καλής περιβαλλοντικής κατάστασης (ΚΠΚ). Ένας από τους 11 ποιοτικούς παράγοντες που καθορίζουν την περιβαλλοντική κατάσταση κάθε χώρας είναι τα θαλάσσια απορρίμματα, στα οποία περιλαμβάνονται τα πλαστικά και συνεπώς τα μικροπλαστικά (Chen CL, 2015).

Αμερικανικό πρόγραμμα για τα θαλάσσια απορρίμματα (MDP)

Προκειμένου να διασφαλιστεί το θαλάσσιο περιβάλλον, οι φυσικοί πόροι, η οικονομία και οι άνθρωποι, η πρωτοβουλία αυτή επιδιώκει τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλούνται από τα θαλάσσια απορρίμματα. Το πρόγραμμα αυτό προσφέρει τεχνική καθοδήγηση σε έθνη γύρω από την Καραϊβική και πληρώνει πρωτοβουλίες και υπηρεσίες περιβαλλοντικής αποκατάστασης (Chen,2015). Μια από τις πρωτοβουλίες που υποστηρίζει είναι η πρωτοβουλία "Ψάρεμα για ενέργεια", η οποία μέχρι τον Μάιο του 2014 είχε αφαιρέσει περισσότερα από 1,1 κιλά αλιευτικών εργαλείων από τον ωκεανό και τα χρησιμοποίησε για να τροφοδοτήσει 183 σπίτια για ένα χρόνο (NFWF,2014)

Εθνική στρατηγική διαχείρισης των θαλάσσιων απορριμμάτων (Νότια Κορέα)

Οι στόχοι αυτού του σχεδίου, το οποίο τέθηκε σε εφαρμογή από το 2009 έως το 2013, ήταν η αύξηση του ποσοστού συλλογής από 34% σε 45% και η μείωση της ποσότητας των αποβλήτων που εισέρχονται στον ωκεανό από 159.800 τόνους σε 127.840 τόνους ετησίως. Αν και έλαβε 45 δισεκατομμύρια ευρώ σε χρηματοδότηση, το πρόγραμμα αυτό δεν πέτυχε τον στόχο του, επειδή επικεντρώθηκε στη συλλογή των αποβλήτων που ήδη υπήρχαν στο θαλάσσιο οικοσύστημα και όχι στην αποτροπή της εισόδου τους στον ωκεανό (Jung and Song,2013).

Νόμοι που διέπουν τα σκουπίδια που παράγονται από τα πλοία (Ηνωμένο Βασίλειο)

Το Ηνωμένο Βασίλειο έχει υπογράψει τη διεθνή σύμβαση για τη ρύπανση από τα πλοία. Ο νόμος περί εμπορικών πλοίων και αλιευτικών σκαφών του 2003 και ο νόμος περί εμπορικής ναυτιλίας του 2008 ψηφίστηκαν με βάση το "παράρτημα V". Ο τελευταίος νόμος καλύπτει άρθρα σχετικά με τη διαχείριση των σκουπιδιών, τα βιβλία καταγραφής αποβλήτων και την απαγόρευση της απόρριψης σκουπιδιών, ενώ ο πρώτος επιβάλλει σε όλα τα λιμάνια και τις μαρίνες να διαθέτουν εγκαταστάσεις συλλογής αποβλήτων (Chen ,2015).

Στρατηγικό σχέδιο για τη μείωση της θαλάσσιας ρύπανσης (Σκωτία)

Η Σκωτία υιοθέτησε το Σχέδιο για τη θαλάσσια ρύπανση και την Εθνική Στρατηγική για τη ρύπανση για την αντιμετώπιση και διαχείριση των απορριμμάτων τόσο στους χερσαίους, παράκτιους και θαλάσσιους οικοτόπους υπό την καθοδήγηση της οδηγίας-πλαισίου για τη θαλάσσια ασφάλεια (MSFD) της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα σχέδια αυτά, τα οποία αφορούσαν τα έτη 2012 έως 2020, επιχείρησαν να μειώσουν τη ρύπανση μέσω της ενημέρωσης και της εκπαίδευσης του κοινού, της δημιουργίας υποδομών και της επιβολής προστίμων (The Scottish Government 2013).

3.3 Μέτρα πρόληψης της ρύπανσης από μικροπλαστικά

Οι δράσεις αυτές έχουν ως στόχο να σταματήσουν τη σύνθεση των μικροπλαστικών ή να εμποδίσουν τη διοχέτευσή τους στο υδάτινο περιβάλλον. Η μείωση των πηγών παραγωγής, η ανακύκλωση, η χρήση ενέργειας και η κατασκευή εγκαταστάσεων συλλογής μικροπλαστικών στα σημεία εισόδου στο οικοσύστημα είναι μερικά παραδείγματα αυτών των δράσεων. Τα μέτρα αυτά έχουν ήδη ληφθεί. Οι συσκευασίες των προϊόντων, για παράδειγμα, είναι είτε ανακυκλώσιμες είτε αποτελούνται από βιοδιασπώμενα υλικά. Η απαγόρευση της χρήσης πλαστικών σακούλων είναι μια άλλη δράση που έχει μειώσει σημαντικά τα πλαστικά απόβλητα. Όσον αφορά τη διαχείριση των αποβλήτων, οι τεχνικές πρόληψης αποτελούν την πρώτη προτεραιότητα, καθώς μειώνουν τη δημιουργία σκουπιδιών με χαμηλότερο κόστος και κίνδυνο από ό,τι η επεξεργασία και η διάθεση. Παραδείγματα τακτικών πρόληψης περιλαμβάνουν την ανακύκλωση, την επαναχρησιμοποίηση και τη χρήση των πλαστικών για την παραγωγή ενέργειας. (Cheremisinoff, 2003) . Ακολουθώντας αυτό το σκεπτικό, η Ευρωπαϊκή Ένωση ανέπτυξε τη στρατηγική ιεραρχία 3-R για την επεξεργασία των σκουπιδιών, η οποία αποτελείται από τις ακόλουθες δραστηριότητες. Οι δράσεις αυτές περιλαμβάνουν μεθόδους διάθεσης σκουπιδιών που μειώνουν τη ζημιά που προκαλούν στο θαλάσσιο περιβάλλον. Τα μέτρα αυτά θα μπορούσαν να έχουν τη μορφή νομοθεσίας και απαγορεύσεων για τη διάθεση συγκεκριμένων ρύπων, όπως τα πλαστικά, ή κανόνων που πρέπει να τηρούνται όσον αφορά την απόσταση από την ξηρά, τη σύνθεση των σκουπιδιών ή τον τύπο των αποβλήτων που πρέπει να διατεθούν (Chen , 2015).

Στόχος των διαδικασιών αποκατάστασης είναι η εξάλειψη των μικροπλαστικών από το περιβάλλον. Οι λίγες εξυγιάνσεις που έχουν γίνει μέχρι στιγμής αφορούν την απομάκρυνση των πλαστικών απορριμμάτων από το νερό και την ακτογραμμή που είναι ορατά με γυμνό μάτι. Ένα τέτοιο μέτρο είναι ο καθαρισμός των ακτών, αλλά δεδομένου του χρόνου και των χρημάτων που απαιτούνται για την εφαρμογή του, είναι αναποτελεσματικό (Newman et al., 2015). Η χρήση των τοπικών αλιέων είναι ένα άλλο κρίσιμο βήμα, καθώς συλλέγουν κατεστραμμένα αλιευτικά εργαλεία και άλλα σκουπίδια από τη θάλασσα, ενώ βρίσκονται στη θάλασσα, μέσω συντονισμένων κυβερνητικών ή δημοτικών επιχειρήσεων (Noh et al., 2010).

Βασικά στοιχεία της προσπάθειας για την καταπολέμηση της θαλάσσιας ρύπανσης περιλαμβάνουν τόσο την εφαρμογή όσο και την επιβολή νομοθετικών μέτρων. Σε εθνικό επίπεδο, οι νόμοι για την προστασία του περιβάλλοντος είτε δεν εφαρμόζονται καθόλου είτε δεν εφαρμόζονται με συνέπεια, παρά το γεγονός ότι υπάρχουν νομικές δομές σε παγκόσμια κλίμακα. Αυτό είναι αποτέλεσμα της ανεπαρκούς εφαρμογής των κανόνων σε εθνικό επίπεδο, των ανεπαρκών κυρώσεων, ακόμη και της ασαφούς νομοθεσίας. Το UNEP (2009), για παράδειγμα, σημείωσε ότι μόνο η Καραϊβική και ο βορειοδυτικός Ειρηνικός είχαν περιοχές με ισχυρούς νόμους σχετικά με τη θαλάσσια ρύπανση.

Συμπεράσματα

Στόχος του έργου είναι να εξεταστεί η συμπεριφορά των μικροπλαστικών σε υδάτινα περιβάλλοντα, με έμφαση στα θαλάσσια περιβάλλοντα. Η έρευνα διεξήχθη με την ανασκόπηση σημαντικού όγκου εργασιών σχετικά με τον εντοπισμό, την ανάλυση και τις διαδικασίες που αφορούν τα μικροπλαστικά στο υδάτινο περιβάλλον. Στη συνέχεια, ολοκληρώθηκε η χαρτογράφηση των συγκεντρώσεων μικροπλαστικών στη Μεσόγειο Θάλασσα. Ακολουθεί περίληψη των ευρημάτων της μελέτης:

Η συσσώρευση πρωτογενών και δευτερογενών μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον από πολλές πηγές είναι το αποτέλεσμα της ευρείας χρήσης των μικροπλαστικών. Αν και τα τελευταία χρόνια έχουν ληφθεί μέτρα για τη μείωση της χρήσης των πλαστικών, αυτό δεν αντικατοπτρίζεται στις πρόσφατες καταγραφές της παρουσίας τους στο υδάτινο περιβάλλον, οι οποίες δείχνουν αύξηση. Το κύριο ζήτημα είναι τα δευτερογενή μικροπλαστικά, τα οποία είναι ήδη παρόντα στο περιβάλλον και λόγω των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών τους είναι δύσκολο να βιοδιασπαστούν και δεν είναι εύκολο να απομακρυνθούν.

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί κατακόρυφα το ενδιαφέρον για το ζήτημα της ρύπανσης του υδάτινου περιβάλλοντος από μικροπλαστικά, γεγονός που οδήγησε στη δημιουργία νέων τεχνικών για τη συλλογή δειγμάτων, την ανίχνευση

μικροπλαστικών και τον εκσυγχρονισμό των υφιστάμενων τεχνικών. Περισσότερη έρευνα είναι πλέον δυνατή, ακόμη και σε πεδία που προηγουμένως ήταν απρόσιτα.

Τα κύρια εργαλεία δειγματοληψίας που χρησιμοποιούνται από τους ερευνητές στις μελέτες περιλαμβάνουν δειγματολήπτες βυθού, αντλίες και δίχτυα (μαντάνα, neuston, bongo και πλαγκτόν) (Van Veen). Μετά τον καθαρισμό και την προεπεξεργασία του δείγματος, πραγματοποιείται η ταυτοποίηση και η μέτρηση των μικροπλαστικών. Η φασματοσκοπία SEM-EDS, Pyr-GC/MS, FTIR και RAMAN είναι τα βασικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την έρευνα αυτή. Οι σύγχρονες μέθοδοι ανάλυσης των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των μικροπλαστικών καθώς και της ποσότητάς τους πρέπει να βελτιωθούν, ώστε να καταστεί δυνατή η ακριβής αξιολόγηση του ζητήματος και των απειλών που μπορεί να αντιπροσωπεύουν τόσο για το υδάτινο περιβάλλον όσο και για τον ανθρώπινο οργανισμό. Ο προσδιορισμός της τύχης των πολλών μορφών μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον απαιτεί έρευνα σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο μεταναστεύουν μέσα στο περιβάλλον.

Η σημαντική ετερογένεια των αποτελεσμάτων των ερευνών, η οποία οφείλεται σε δύο κύριους λόγους, αποτελεί σημαντικό ζήτημα. Πρώτον, δεν υπάρχει ένας συμφωνημένος ορισμός για το τι είναι ένα μικροπλαστικό, πόσο μεγάλο είναι και από τι αποτελείται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να διεξάγονται μελέτες σε διάφορα έθνη από ερευνητές διαφόρων οργανισμών ή υπηρεσιών με διάφορα κριτήρια, γεγονός που παράγει διάφορα, μη συγκρίσιμα αποτελέσματα. Επιπλέον, δεν υπάρχει καθιερωμένη μέθοδος για τη συλλογή, την καταγραφή, τον υπολογισμό και την ανάλυση δεδομένων περιβαλλοντικών δειγμάτων. Ως αποτέλεσμα, είναι αδύνατο να συγκριθούν τα αποτελέσματα μεταξύ των ερευνών, επειδή εξαρτώνται από τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή των δειγμάτων, τη διαδικασία ταυτοποίησης που υφίστανται και το μοντέλο που χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίησή τους.

Βιβλιογραφία

Andrady A., August (2011), Microplastics in the marine environment, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 62, Issue 8: 1596-1605.

Avio, C. G., Gorbi, S., & Regoli, F. (2015). Experimental development of a new protocol for extraction and characterization of microplastics in fish tissues: first observations in commercial species from Adriatic Sea. *Marine environmental research*, *111*, 18-26.

Baini, Matteo & Fossi, Maria & Galli, Matteo & Caliani, Ilaria & Campani, Tommaso & Finoia, Maria & Panti, Cristina. (2018). Abundance and characterization of microplastics in the coastal waters of Tuscany (Italy): The application of the MSFD monitoring protocol in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 133. 10.1016/j.marpolbul.2018.06.016.

Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R. C. & Barlaz, M. (2009). *Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. Philosophical Transactions of the Royal Society* B, 1985-1998.

Besley, A., Vijver, M. G., Behrens, P., & Bosker, T. (2017). A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 77–83.

Boucher, J. and Friot D. (2017). *Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources*. Gland, Switzerland: IUCN. 43pp.

Brandon, J., Goldstein, M., & Ohman, M. D. (2016). Long-term aging and degradation of microplastic particles: comparing in situ oceanic and experimental weathering patterns. *Marine pollution bulletin*, *110*(1), 299-308.

Cambell, Cari, Amy Bigelow, Loren Miller, Kyle Nelson, Federick Pinongcos, Alexa Zapata, Natalie Mladenov, (2011). *«Detection of Microplastics in Water and Wastewater Streams Using Fluorescence Spectroscopy».* American Water Works Association, Department of Civil, Construction and Environmental Engineering, San Diego University.

Carr, Steve, (2017). «Sources and Dispersive Modes of Micro-Fibers in the Environment». Integrated Environmental Assessment and Management — Volume 13, Number 3—pp. 466–469.

Carr, Steve, Jin Liu, Arnold G. Tesoro, (2016). «Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants». *Water Research 91* (2016) 174e182, journal homepage: www.elsevier.com/locate/watres

Chen, C. L., & Liu, T. K. (2013). Fill the gap: Developing management strategies to control garbage pollution from fishing vessels. *Marine Policy*, 40, 34–40.

Cheremisinoff, N. P. (2003). *Handbook of solid waste management and waste minimization technologies*.Amsterdam: Butterworth-Heinemann

Claessens, M., Van Cauwenberghe, L., Vandegehuchte, M. B., & Janssen, C. R. (2013). New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. *Marine pollution bulletin*, *70*(1-2), 227-233.

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588–2597.

Collignon, A., Hecq, J. H., Galgani, F., Voisin, P., Collard, F., & Goffart, A. (2012). Neustonic microplastic and zooplankton in the North Western Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 64, 861–864.

Collignon, Amandine; Hecq, Jean-Henri; Galgani, François; Collard, France; Goffart, Anne (2014). "Annual variation in neustonic micro- and mesoplastic particles and zooplankton in the Bay of Calvi (Mediterranean– Corsica)" (PDF). *Marine Pollution Bulletin*. 79 (1–2): 293–298.

Conkle, Jeremy L.; Báez Del Valle, Christian D.; Turner, Jeffrey W. (2018). "Are We Underestimating Microplastic Contamination in Aquatic Environments?". *Environmental Management*. 61 (1): 1–8.

Coyle, R., Hardiman, G., & Driscoll, K. O. (2020). Microplastics in the marine environment: A review of their sources, distribution processes and uptake into ecosystems. Case Studies in *Chemical and Environmental Engineering*, 100010.

Cózar, Andrés. (2015). Plastic accumulation in the Mediterranean Sea. *PLoS ONE*. 10. e0121762.

da Costa J.P., P.S. Santos, A.C. Duarte, T. Rocha-Santos (2016). (Nano) plastics in the environment–sources, fates, and effects *Sci. Total Environ*., 566, pp. 15-26

Da Costa, J. P., Nunes, A. R., Santos, P. S. M., Girão, A. V., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2018). Degradation of polyethylene microplastics in seawater: Insights into the environmental degradation of polymers. *Journal of Environmental Science and Health*, Part A, 53(9), 866–875.

de Lucia, Giuseppe & Caliani, Ilaria & Marra, Stefano & Camedda, Andrea & Coppa, Stefania & Alcaro, Luigi & Campani, Tommaso & Giannetti, Matteo & Coppola, Daniele & Cicero, Anna & Panti, Cristina & Baini, Matteo & Guerranti, Cristiana & Marsili, Letizia & Massaro, Giorgio & Fossi, Maria & Matiddi, Marco. (2014). Amount and distribution of neustonic micro-plastic off the Western Sardinian coast (CentralWestern Mediterranean Sea). *Marine Environmental Research.* 100.10.1016/j.marenvres.2014.03.017.

Duis, K., & Coors, A. (2016). Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe*, 28(1), 2.

Elkhatib, D., & Oyanedel-Craver, V. (2020). A Critical Review of Extraction and Identification Methods of Microplastics in Wastewater and Drinking Water. *Environmental Science & Technology,* 54(12), 7037-7049.

Enfrin, M., Dumée, L. F., & Lee, J. (2019). Nano/microplastics in water and wastewater treatment processes–origin, impact and potential solutions. *Water research,* 161, 621-638.

Eriksen M, Mason S, Wilson S, Box C, Zellers A, Edwards W, Farley H, Amato S. (2013). «Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes». *Mar Pollut Bull* 77(1– 2):177–182.

Fossi, Maria & Panti, Cristina & Baini, Matteo & Lavers, Jennifer. (2018). A Review of Plastic-Associated Pressures: Cetaceans of the Mediterranean Sea and Eastern Australian Shearwaters as Case Studies. *Frontiers in Marine Science*. 5. 10.3389/fmars.2018.00173.

Fossi, Maria & Panti, Cristina & Guerranti, Cristiana & Coppola, Daniele & Giannetti, Matteo & Marsili, Letizia & Minutoli, Roberta. (2012). Are baleen whales exposed to

the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (Balaenoptera physalus). *Marine pollution bulletin.* 64. 10.1016/j.marpolbul.2012.08.013.

GESAMP (2015) Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. Reports and Studies 90. London: IMO/FAO/UNESCOIOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP J*oint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection*

Gündoğdu, S., Çevik, C., Güzel, E., & Kilercioğlu, S. (2018). Microplastics in municipal wastewater treatment plants in Turkey: a comparison of the influent and secondary effluent concentrations. *Environmental monitoring and assessment,* 190(11), 626.

Gündoğdu, Sedat & Cem, Cevik & Karaca, Serkan. (2017). Fouling assemblage of benthic plastic debris collected from Mersin Bay, NE Levantine Coast of Turkey. *Marine Pollution Bulletin*. 124. 10.1016/j.marpolbul.2017.07.023.

Guven, Olgac & Gökdağ, Kerem & Jovanović, Boris & Kideys, Ahmet. (2017). Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish. *Environmental Pollution.* 223. 10.1016/j.envpol.2017.01.025.

Hammer, J.; Kraak M.H; Parsons, J.R. (2012). Plastics in the marine environment: The dark side of a modern gift. *Rev. Environ. Contam. Toxicol*. , 220, 1- 44.

Hidalgo-Ruz V., L. Gutow, R.C. Thompson, M. Thiel. (2012). Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environ. Sci. Technol.*, 46 (6), pp. 3060-3075.

Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3060–3075.

IsobeA., K. Kubo, Y. Tamura, S. Kako, E. Nakashima, N. Fujii (2014). Selective transport of microplastics and mesoplastics by drifting in coastal waters *Mar. Pollut. Bull.*, 89 , pp. 324-330.

Jang, Y. C., & Song, B. J. (2013). A critical analysis of the rationality of South Korea's marine debris policy. *International Journal of Policy Studies*, 4, 83–105.

Jundong Wang, Zhi Tan, Jinping Peng, Qiongxuan Qiu, Meimin Li, (2016). «Review. The behaviors of microplastics in the marine environment». *Marine Environmental Research* 113 (2016) 7e17, journal homepage: www.elsevier.com/locate/marenvrev

Karapanagioti, H. (2016). *«Microplastics and plastic fibers in wastewater treatment plants».* Waste Management Program, School of Science and Technology, Hellenic Open University

Kornilios, S., Drakopoulos, P. G., & Dounas, C. (1998). Pelagic tar, dissolved/dispersed petroleum hydrocarbons and plastic distribution in the Cretan Sea, Greece. *Marine Pollution Bulletin*, *36*(12), 989-993.

Koushal, V.; Sharma, R.; Sharma, M., Sharma, R.; Sharma, V. (2014). Plastics: Issues, challenges and remediation. *Int. J. Waste Resour.* , 4(1), 134-139.

Kowalski, N., Reichardt, A. M., & Waniek, J. J. (2016). Sinking rates of microplastics and potential implications of their alteration by physical, biological, and chemical factors. *Marine pollution bulletin*, *109*(1), 310-319.

Li, W. C., Tse, H. F., & Fok, L. (2016). Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence, and effects. *Science of the Total Environment*, 566, 333-349.

Magnusson, K. (2014). Microlitter and other microscopic anthropogenic particles in the sea area off Rauma and Turku, Finland. *Swedish Environmental Institute Report* U4645, 17 pp.

Magnusson, K., Eliasson, K., Fråne, A., Haikonen, K., Hultén, J., Olshammar, M., ... & Voisin, A. (2016). Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment. A review of existing data. *IVL*, C, 183.

Miszta-Kruk K., (2015). «Reliability and failure rate analysis of pressure, vacuum and gravity sewer systems based on operating data» Engineering Failure Analysis, Διαθέσιμο στο journal homepage: www.elsevier.com/locate/efa

Mucha Torre, Miguel, (2015). *«Microplastrics in wastewater treatment plants and separation techniques. Diploma Thesis».* Master Water Management and

Environmental Engineering, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna.

Newman, S., Watkins, E., Farmer, A., ten Brink, P., & Schweitzer, J.-P. (2015). The economics of marine litter. In *M. Bergmann, L. Gutow, & M. Klages (Eds.), Marine anthropogenic litter* (pp. 371–398). Berlin: Springer.

Noh, H.-J., Kim, H.-K., Kim, S.-D., & Han, S.-G. (2010). Buyback program for fishing gear and marine litter from fishery activities. In *C. Morishige (Ed.), Marine debris prevention projects and activities in the Republic of Korea and United States: A compilation of project summary reports* (pp. 3–8). NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-36.

Norén, F. (2007). *Small plastic particles in coastal Swedish waters*. Lysekil, Sweden: KIMO

Oladejo, A. (2017). *Analysis of microplastics and their removal from water.*

Padervand, M., Lichtfouse, E., Robert, D., & Wang, C. (2020). Removal of microplastics from the environment. A review. Environmental Chemistry Letters, 1-22.

Plastic Ocean Foundation (2017) A plastic ocean. Available online: http://www.plasticoceans.org

Rocha-Santos, T., & Duarte, A. C. (2015). A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 65, 47-53.

Rochman, C. M., Browne, M. A., Underwood, A. J., Van Franeker, J. A., Thompson, R. C., & Amaral-Zettler, L. A. (2016). The ecological impacts of marine debris: unraveling the demonstrated evidence from what is perceived. *Ecology*, 97(2), 302-312.

Ruiz-Orejón, L. F., Sardá, R., & Ramis-Pujol, J. (2016). Floating plastic debris in the Central and Western Mediterranean Sea. *Marine Environmental Research*, *120*, 136-144.

Schmidt, Natascha & Thibault, Delphine & Galgani, François & Paluselli, Andrea & Sempéré, Richard. (2017). Occurrence of microplastics in surface waters of the Gulf of Lion (NW Mediterranean Sea). *Progress in Oceanography*.10.1016/j.pocean.2017.11.010.

Shen, M., Song, B., Zhu, Y., Zeng, G., Zhang, Y., Yang, Y., … Yi, H. (2020). Removal of microplastics via drinking water treatment: Current knowledge and future directions. *Chemosphere*, 251, 126612.

Song, Y. K., Hong, S. H., Jang, M., Han, G. M., Rani, M., Lee, J., & Shim, W. J. (2015). A comparison of microscopic and spectroscopic identification methods for analysis of microplastics in environmental samples. *Marine pollution bulletin*, *93*(1-2), 202-209.

Strand, J., Lassen, P., Shashoua, Y., Andersen, J., (2013). Microplastic particles in sediments from Danish waters. Paper Presented at the ICES Annual Science Conference (ASC).

Suaria, Giuseppe & Avio, Carlo Giacomo & Lattin, Gwendolyn & Regoli, Francesco & Aliani, Stefano. (2017). *Floating Microplastics in the South Adriatic Sea*. 10.1016/B978-0-12-812271-6.00049-1.

Talvitie, J., Heinonen, M., Pääkkönen, J.-P., Vahtera, E., Mikola, A., Setälä, O., & Vahala, R. (2015). Do wastewater treatment plants act as a potential point source of microplastics? Preliminary study in the coastal Gulf of Finland, Baltic Sea. *Water Science and Technology*, 72(9), 1495–1504.

The Scottish Government. (2013). Marine litter strategy/national litter strategy: Strategic environmental assessment environmental report. Retrieved from http://www.scotland.gov.uk/Publications/2013/07/9297.

Thompson, R.C; Moore, C.J.; VomSaal, F.S.; Swan, S.H. (2009). Plastics, the environment and human health: Current consensus and future trends. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* , 364(1526), 2153- 2166.

van Cauwenberghe, L., Vanreusel, A., Mees, J., & Janssen, C. R. (2013b). Microplastic pollution in deep-sea sediments. *Environmental Pollution*, 182, 495–499.

van der Hal, Noam & Ariel, Assaf & Angel, Dror. (2017). Exceptionally high abundances of microplastics in the oligotrophic Israeli Mediterranean coastal waters. Marine Pollution Bulletin. 116. 10.1016/j.marpolbul.2016.12.052.

Verschoor, A., De Poorter, L., Dröge, R., Kuenen, J., & de Valk, E. (2016). *Emission of microplastics and potential mitigation measures: Abrasive cleaning agents, paints and tyre wear.*

Viršek, M. K., Palatinus, A., Koren, Š., Peterlin, M., Horvat, P., & Kržan, A. (2016). Protocol for microplastics sampling on the sea surface and sample analysis. *JoVE (Journal of Visualized Experiments*), (118), e55161.

Woodall, Lucy & Sanchez-Vidal, Anna & Canals, Miquel & Paterson, Gordon & Coppock, Rachel & Sleight, Victoria & Calafat, Antoni & Rogers, Alex & Narayanaswamy, Bhavani & Thompson, Richard. (2014). The deep sea is a major sink for microplastic debris. *Royal Society Open Science*. 1. 10.1098/rsos.140317.

Κουτσογιάννης Δ., (2011). «Σχεδιασμός αστικών δικτύων αποχέτευσης». Ε.Μ.Π., Αθήνα. □

Λυμπεράτος Γ., (2003). «Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων – Αστικά Λύματα». Ε.Α.Π., Πάτρα. □

Μελίδης Π., (2008). «Χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων». Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Εργαστήριο Διαχείρισης και Τεχνολογίας Υγρών Αποβλήτων, Πανεπιστήμιο Θράκης, 2008