



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΥΧΗΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΟΡΕΣΤΗΣ-ΘΕΟΔΩΡΟΣ

Επιβλέπων: Νουτσόπουλος Κ., Αναπληρωτής Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2020

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία διεκπεραιώθηκε στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κατά το έτος 2020

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα για την εργασία αυτή, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, κύριο Κωνσταντίνο Νουτσόπουλο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά την ανάθεση του παρόντος αντικειμένου, αλλά κυρίως για την καθοδήγηση και συνεργασία του.

Επίσης, ευχαριστώ τον κ. Μαμάη και κ.Μαλαμή, που σαν μέλη της τριμελούς επιτροπής, αφιέρωσαν χρόνο και ενέργεια στην αξιολόγηση της εργασίας μου.

Τέλος, η ενότητα αυτή θα ήταν ελλιπής, χωρίς μια αναφορά τουλάχιστον στην αγάπη, την υπομονή, την κατανόηση και την υποστήριξη που έλαβα από την οικογένειά μου, την Σταυρίνα και τους φίλους μου κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2020

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</u>	ii
<u>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</u>	v
<u>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</u>	vi
<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u>	vii
<u>ABSTRACT</u>	viii
<u>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	1
<u>2. ΠΗΓΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ</u>	7
2.1. Εισαγωγικά στοιχεία	7
2.2. Πηγές παραγωγής πρωτογενών μικροπλαστικών	7
2.3. Δημιουργία δευτερογενών πλαστικών	8
2.4. Σημεία εισόδου.....	11
<u>3. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟ</u> <u>ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ</u>	15
3.1. Φυσικές επιδράσεις	15
3.2. Χημικές επιδράσεις	16
3.3. Τα μικροπλαστικά ως μεταφορείς οργανισμών	17
<u>4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ</u>	18
4.1. Εισαγωγικά στοιχεία	18
4.2. Δειγματοληψία στη θάλασσα.....	18
4.2.1. Δειγματοληψία σε επιφανειακά νερά	19
4.2.2. Δειγματοληψία σε μεσαία βάθη και τον πυθμένα	22
4.3. Δειγματοληψία στα ιζήματα.....	24
<u>5. ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ, ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ</u> <u>ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ</u>	27
5.1. Εισαγωγικά στοιχεία	27
5.2. Διαχωρισμός.....	27
5.2.1. Φιλτράρισμα	27
5.2.2. Διαχωρισμός Πυκνότητας.....	28
5.3. Καθαρισμός δείγματος.....	29
5.4. Αναγνώριση και ποσοτικοποίηση	29

5.4.1.	Φασματοσκοπία Υπερύθρου.....	29
5.4.2.	Φασματοσκοπία RAMAN	32
5.4.3.	SEM-EDS	33
5.4.4.	Pyr-GC-MS.....	33
6.	<u>ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΥΧΗΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ</u>	35
6.1.	Τύχη των μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον	35
6.2.	Διασπορά και μεταφορά μικροπλαστικών	37
6.2.1.	Θαλάσσιο Περιβάλλον.....	38
6.2.2.	Χερσαίο Περιβάλλον	41
6.2.3.	Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον.....	41
6.3.	Συγκεντρώσεις μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον	42
6.3.1.	Μικροπλαστικά στους ωκεανούς.....	42
6.3.2.	Μικροπλαστικά στις Θάλασσες.....	50
6.3.3.	Μικροπλαστικά στα γλυκά νερά.....	54
7.	<u>ΘΕΣΜΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ</u>	62
7.1.	Προγράμματα αντιμετώπισης της ρύπανσης από μικροπλαστικά	62
7.1.1.	Παγκόσμιο επίπεδο	62
7.1.2.	Εθνικό επίπεδο	63
7.2.	Μετρα και ρυθμίσεις αντιμετώπισης της ρύπανσης από μικροπλαστικά	64
7.2.1.	Μέτρα Πρόληψης	64
7.2.2.	Μέτρα Περιορισμού.....	65
7.2.3.	Μέτρα Εξυγίανσης.....	65
7.2.4.	Νομοθετικά Μέτρα	66
8.	<u>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	67
	<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	70

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1.1: ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΟΥΣ, ΟΠΩΣ ΟΡΙΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ-----	2
ΕΙΚΟΝΑ 1.2: ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΤΥΠΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΓΙΑ ΤΟ 2014 -----	3
ΕΙΚΟΝΑ 1.3: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΟΥΣ. -----	6
ΕΙΚΟΝΑ 2.1: ΣΗΜΕΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΟΔΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ. -----	14
ΕΙΚΟΝΑ 4.1: ΜΑΝΤΑ ΝΕΤ -----	19
ΕΙΚΟΝΑ 4.2: ΝΕΥΣΤΟΝ ΝΕΤ -----	20
ΕΙΚΟΝΑ 4.3: ΔΙΧΤΥ ΠΛΑΓΚΤΟΝ -----	21
ΕΙΚΟΝΑ 4.4: ΔΙΧΤΥ ΜΠΟΝΓΚΟ -----	22
ΕΙΚΟΝΑ 4.5: ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΑΣ ΠΛΑΓΚΤΟΝ (CPR) -----	23
ΕΙΚΟΝΑ 4.6: ΕΠΙ-ΒΕΝΘΙΚΟ ΈΛΚΥΘΡΟ -----	24
ΕΙΚΟΝΑ 4.7: ΕΚΠΥΡΗΝΩΤΗΣ -----	25
ΕΙΚΟΝΑ 4.8: ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΗΣ ΠΥΘΜΕΝΑ -----	25
ΕΙΚΟΝΑ 5.1: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ -----	34
ΕΙΚΟΝΑ 6.1: ΚΥΡΙΕΣ ΟΔΟΙ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΥ. -----	37

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥΣ	4
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ.....	11
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΣΕ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΙΖΗΜΑΤΑ.....	25
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1: ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΧΛΩΡΙΟΥΧΟΥ ΝΑΤΡΙΟΥ.....	28
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2: ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΜΕ FTIR.....	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟΝ ΕΙΡΗΝΙΚΟ ΩΚΕΑΝΟ	43
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟΝ ΑΤΛΑΝΤΙΚΟ ΩΚΕΑΝΟ.....	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟΝ ΙΝΔΙΚΟ ΩΚΕΑΝΟ	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΙΣ ΕΥΡΩΠΑΙΚΕΣ ΘΑΛΑΣΣΕΣ ΚΑΙ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ ΘΑΛΑΣΣΑ.	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΕ ΠΑΤΑΜΟΥΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ.....	56
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.6: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΕ ΛΙΜΝΕΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ.....	59

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ευρεία χρήση των μικροπλαστικών καθώς και η ανθεκτικότητα των πολυμερών από τα οποία αποτελούνται έχει οδηγήσει στην συγκεντρωσή τους παγκοσμίως. Στην παρούσα διπλωματική, εξετάζονται οι τρόποι δειγματοληψίας, οι μέθοδοι διαχωρισμού, αναγνώρισης και ποσοτικοποίησης μικροπλαστικών, οι πηγές παραγωγής τους καθώς και η τύχη και οι συγκεντρώσεις τους στο υδάτινο περιβάλλον. Τα μικροπλαστικά χωρίζονται σε πρωτογενή και δευτερογενή. Τα πρωτογενή μικροπλαστικά είναι πλαστικά τα οποία παράγονται σε μέγεθος μικρότερου των 5mm ενώ τα δευτερογενή μικροπλαστικά είναι το αποτέλεσμα φθοράς και κατακερματισμού μεγαλύτερων κομματιών. Τα μικροπλαστικά εισέρχονται στο περιβάλλον μέσω διαφόρων πηγών με σημαντικότερη τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Προκειμένου να μπορέσουμε να μελετήσουμε τις συγκεντρώσεις μικροπλαστικών τόσο στο υδάτινο όσο και στο χερσαίο περιβάλλον πρέπει να ακολουθήσουμε συγκεκριμένα βήματα που αφορούν την συλλογή των δειγμάτων με χρήση ειδικών εργαλείων, τον διαχωρισμό των μικροπλαστικών από το υπόλοιπο δείγμα και την αναγνώριση και ποσοτικοποίηση τους μέσω συγκεκριμένων μεθόδων. Όσα περισσότερα δεδομένα μπορέσουμε να εξάγουμε από τις διαδικασίες της συλλογής, αναγνώρισης και ποσοτικοποίησης τόσες περισσότερες πληροφορίες μπορούμε να αποκτήσουμε σχετικά με την τύχη, την διασπορά και την συγκέντρωση των μικροπλαστικών στο περιβάλλον. Αξιολόγηση παρουσία μικροπλαστικών έχει καταγραφεί σε ποταμούς, παράκτιες περιοχές, στην ανοικτή θάλασσα και στους ωκεανούς, στο υπέδαφος έως και σε απομονωμένες λίμνες και πολικές περιοχές. Ένα σύνηθες πρόβλημα το οποίο δυσχαιρένει τη συγκριτική αξιολόγηση των διαφόρων μετρήσεων είναι οι διαφορετικές μέθοδοι καταγραφής και η χρήση διαφορετικών μονάδων μέτρησης. Προκειμένου να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε τους κινδύνους που προκαλούν τα μικροπλαστικά τόσο στον ανθρώπινο οργανισμό όσο και στο περιβάλλον πρέπει πρώτα να καλύψουμε τα γνωστικά κενά που έχουμε. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι πρέπει να μείνουμε αδρανείς έως ότου αποκτήσουμε αυτές τις γνώσεις καθώς οι ήδη υψηλές συγκεντρώσεις που ανιχνεύουμε σε όλες τις περιοχές του κόσμου και η αφθονία μικροπλαστικών που βρίσκονται ήδη στο περιβάλλον πρέπει να αντιμετωπιστούν με δραστικές ενέργειες.

ABSTRACT

The broad use of microplastics as well as the resilience of the polymers that compose them has led in their accumulation worldwide. In the present thesis, information on sampling, separation, identification and quantification, sources, fate and concentration of MPs in the aquatic environment is reviewed. MPs are divided into primary and secondary. Primary MP is a piece of plastics that is produced in the size of 5mm or less while secondary MP is the result of the degradation and abrasion of larger plastics. Microplastics enter the environment mainly through the Waste Treatment Plants due to poor waste management. In order to be able to study the accumulation of MPs in the aquatic and terrestrial environment a series of steps must be followed such as sampling with scientific equipment, separation of microplastics from the rest of the sample, identification and quantification with the use of precise methods. The more data we can extract from sampling, identification and quantification of the samples the better information we will obtain regarding the fate, distribution and accumulation of microplastics into the environment. MPs have been detected in main urban rivers, beaches, seas, oceans , soil and remote lakes and polar regions. A common difficulty that we face during the comparison between studies is the different methods of tracing and the use of different units of measurement. Prior to be able to make a risk assessment on the effects of microplastics on human organism and the environment we must fill a number of knowledge gaps. That doesn't mean that we must sit idle and wait until those gaps are filled as the high aggregation that is detected in all regions of the world and the abundance of microplastics that have already entered the environment must be dealt with drastically.

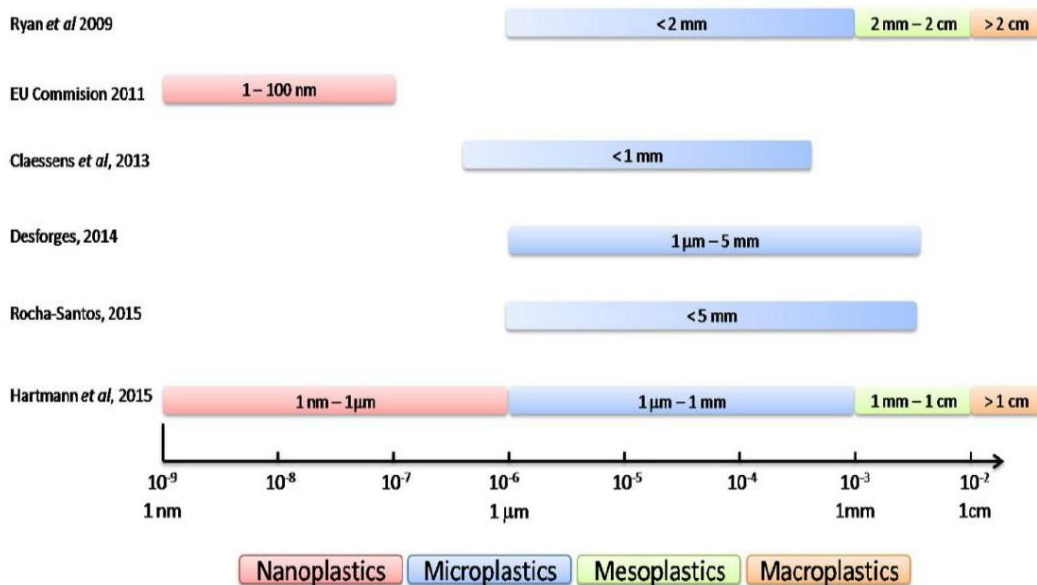
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος “πλαστικό” χρησιμοποιείται για να εκφράσει μια υποκατηγορία των πολυμερών. Τα πολυμερή είναι μεγάλα μόρια με μοριακή κατασκευή που θυμίζει αλυσίδα και πολύ μεγάλο μοριακό βάρος. Τα πολυμερή αυτά που μαλακώνουν με την θερμότητα και μπορούν να «πλαστούν» ονομάζονται πλαστικά (GESAMP,2015). Η απαρχή της βιομηχανίας του πλαστικού ξεκίνησε την δεκαετία του 40' και έκτοτε η παραγωγή του ακολούθησε εκθετική αύξηση φτάνοντας τους 328 εκατομμύρια τόνους παραγωγής πλαστικού για το έτος 2017 μόνο (Plasticseurope,2018). Πρώτοι που ασχολήθηκαν με τη ρύπανση του υδάτινου και χερσαίου περιβάλλοντος από πλαστικά ήταν οι Carpenter et al., (1972) και από τότε το ενδιαφέρον για το πρόβλημα αυτό έχει αυξηθεί τόσο σε επιστημονικό όσο και σε πολιτικό επίπεδο. Οι πολιτείες θεσπίζοντας αυστηρή νομοθεσία και απαγορεύσεις όσον αφορά τη ρύπανση του υδάτινου περιβάλλοντος από σκουπίδια αλλά και την εντατικοποίηση των ενεργειών για την ενημέρωση σχετικά με την ανακύκλωση, ιδιαίτερα κατά την δεκαετία του 90', κατάφεραν να σταθεροποιήσουν τις ποσότητες των πλαστικών που εισέρχονται τόσο στο χερσαίο όσο και στο υδάτινο περιβάλλον (Barnes et al.2009). Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, έχει καταγραφεί η συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων μικροπλαστικών τα οποία προέρχονται κυρίως από τον κατακερματισμό μεγαλύτερων κομματιών πλαστικών τα οποία βρίσκονται ήδη στο υδάτινο περιβάλλον (Moore et al.,2001,Thompson et al.,2004).

Τα μικροπλαστικά (MPs - MicroPlastics) ορίζονται ως τα κομμάτια πλαστικού τα οποία δεν μπορούν να ανιχνευθούν με γυμνό μάτι αλλά απαιτείται η χρήση μικροσκοπίου (GESAMP,2015). Το 2019 η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Χημικών (ECHA) πρότεινε τον εξής ορισμό : μικροπλαστικό είναι το υλικό το οποίο αποτελείται από συμπαγή πολυμερή σωματίδια με διαστάσεις από 1 nm έως 5 mm, διαστάσεις ινών από 3 nm έως 15 mm και σχέση μήκους με διάμετρο >3 (ECHA report,2019). Παρολαυτά το μέγεθος τους δεν έχει ορισθεί επισήμως έτσι ο αρχικός ορισμός που δόθηκε ήταν αυτός που ισχύει και για τα μη πολυμερή υλικά δηλαδή μικροπλαστικό είναι κάθε κομμάτι πλαστικού με διαστάσεις από 1 μm έως 5 mm (Rocha-Santos,2015). Άλλες ταξινομήσεις ορίζουν το

μικροπλαστικό ως το σωματίδιο με διαστάσεις μικρότερες του 1mm (Andrady,2017) ή με διαστάσεις από 1μm έως 2 mm (Ryan et al.,2009). Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα υιοθετήσουμε το ορισμό του Desforges στον οποίο μικροπλαστικό είναι το σωματίδιο πλαστικού με μέγεθος 1μm-5mm (Desforges et al., 2014).

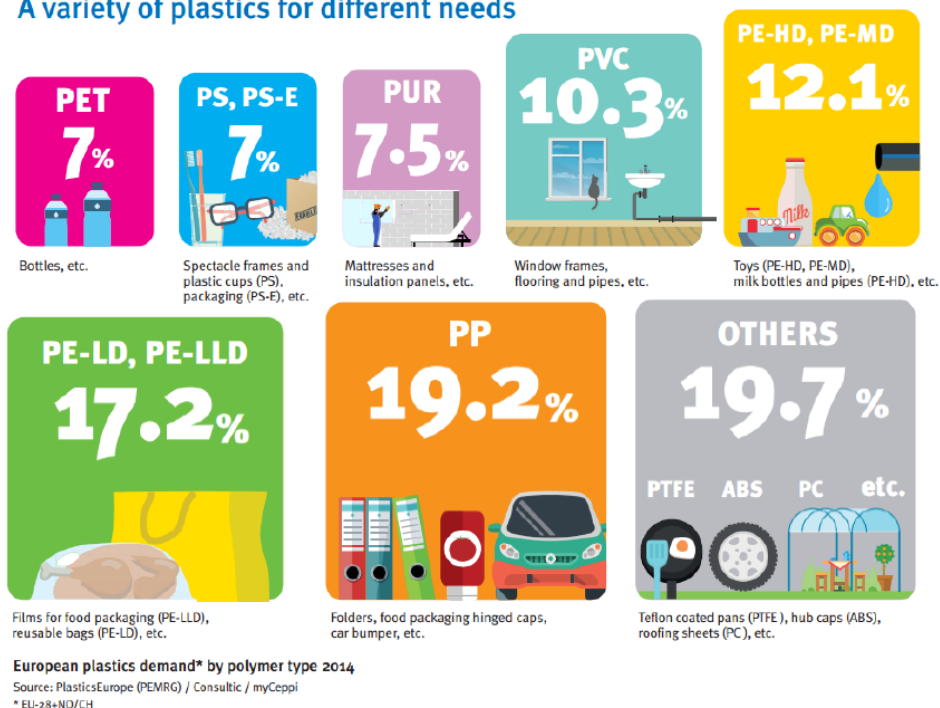
Όπως παρατηρείται στην Εικόνα 1.1 οι περισσότεροι ορισμοί για τα μικροπλαστικά δεν καθορίζουν ένα κατώτερο όριο (Duis and Coors, 2016).



Εικόνα 1.1: Ορισμός πλαστικών σωματιδίων με βάση το μέγεθος τους, όπως ορίζεται από διαφορετικές επιστημονικές έρευνες (Πηγή:Rodriguez-Seijo et al.,2017)

Οι διαφορετικές ιδιότητες του κάθε πολυμερούς σε συνδυασμό με την ανάγκη της αγοράς για πολλών ειδών διαφορετικά προϊόντα έχει οδηγήσει στην παραγωγή πολλών διαφορετικών τύπων πλαστικού. Όπως βλέπουμε και στην εικόνα 1.2 τα πλαστικά που παράγονται και έχουν την πιο συχνή εμπορική χρήση αποτελούνται από πολυαιθυλένιο υψηλής και χαμηλής πυκνότητας (HDPE,LDPE), πολυπροπυλένιο(PP), πολυβινυλοχλωρίδιο(PVC), πολυστέρινη(PS), πολυουρεθίνη(PUR) και τερεφθαλικο πολυαιθυλένιο (PET) (GESAMP, 2015).

A variety of plastics for different needs



Εικόνα 1.2: Απαιτήσεις και χρήσεις διαφορετικών τύπων πλαστικού στην Ευρώπη για το 2014 (PlasticsEurope, 2015)

Η φύση των πολυμερών από τα οποία αποτελούνται τα μικροπλαστικά παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην κατανόηση της προέλευσής τους, στην τύχη τους στο περιβάλλον και την επιρροή που έχουν στο οικοσύστημα. Τα χαρακτηριστικά των πολυμερών (Πίνακας 1.1) επηρεάζουν την συμπεριφορά των μικροπλαστικών και την αλληλεπίδραση τους με το περιβάλλον (Andrady A., 2017).

Τα μικροπλαστικά εκτός από το μέγεθος τους καθορίζονται και από το σχήμα τους. Οι ερευνητές έχουν διαχωρίσει τα μικροπλαστικά σε μικροχάντρες, ίνες, αφρό, θραύσματα και σφαιρίδια (Wu et al., 2019). Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.3 κάθε κατηγορία μικροπλαστικού την συναντάμε σε συγκεκριμένες κατηγορίες προϊόντων οπότε εάν γνωρίζουμε το σχήμα του μικροπλαστικού θα έχουμε μια πρώτη εικόνα για τις πιθανές πηγές παραγωγής και τα σημεία εισόδου του στο περιβάλλον. Έτσι για παράδειγμα εάν

μετά από ανάλυση ενός δείγματος ανιχνεύσουμε ίνες κατά πάσα πιθανότητα αυτές προήλθαν από τη φθορά των ρούχων κατά το πλύσιμο.

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά πλαστικών και επιδράσεις στην συμπεριφορά τους

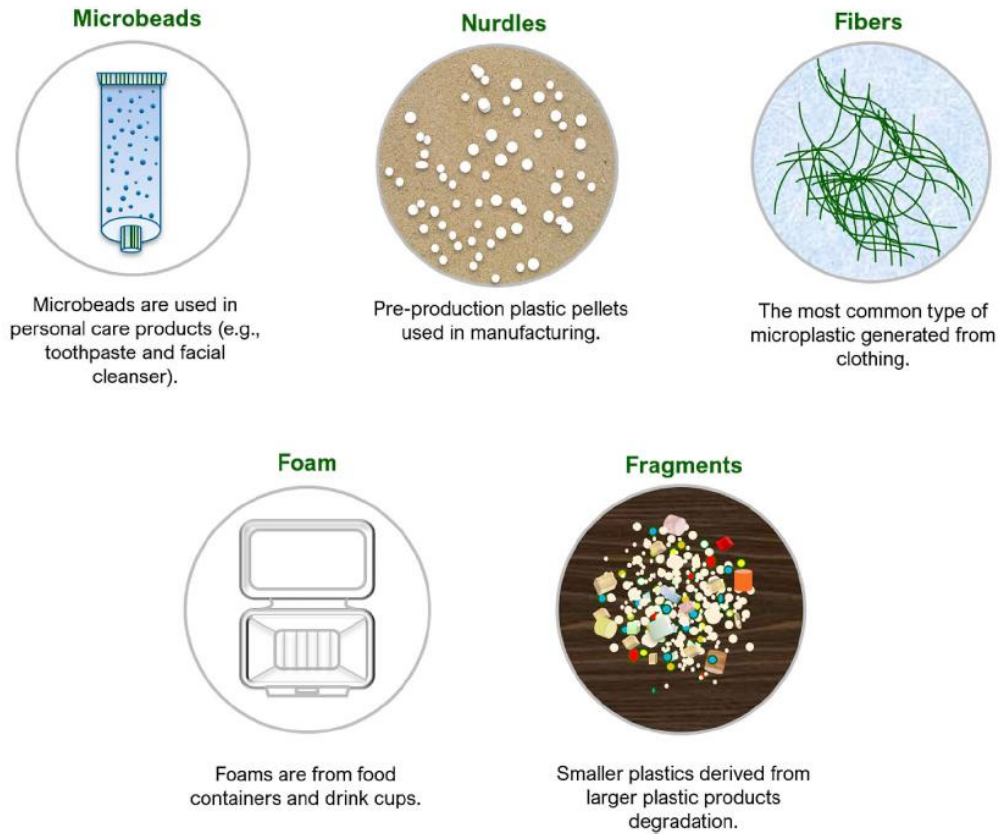
(Πηγή : Andrady A.,2017)

Χαρακτηριστικά	Συμπεριφορά Μικροπλαστικών	Σχόλια
Πυκνότητα	Η πλευστότητα του μικροπλαστικού καθορίζει σε ποιο ύψος της υδάτινης στήλης θα βρεθεί.	Η πυκνότητα του κάθε πολυμερούς είναι γνωστή αλλά μπορεί να μεταβληθεί από προσθετικά καθώς και επιφανειακούς συσσωρευτές
Κρυσταλλικότητα	Η κρυσταλλικότητα καθορίζει την ευκολία της οξειδωτικής υποβάθμισης κατά την γήρανση	Εύρη τιμών είναι γνωστά για διάφορα πλαστικά αλλά οι τιμές αυτές ενδέχεται να αλλάξουν
Οξειδωτική Ανθεκτικότητα	Η χημική σύσταση καθορίζει την ευκολία οξείδωσης του πλαστικού στο περιβάλλον.	Η οξείδωση που καθορίζεται από την χημική σύσταση μπορεί να διαφέρει σε πλαστικά που περιέχουν σταθεροποιητές και προσθετικά.
Βιοδιασπαιμότητα	Καθορίζει τον ρυθμό ορυκτοποίησης καθώς και την πιθανότητα αφαίρεσης του από την υδάτινη στήλη και τα ιζήματα.	Τα κοινά πλαστικά είναι κατά κύριο λόγο μη βιοδιασπώμενα με κάποιες εξαιρέσεις συνθετικών και βιοπολυμερών.
Υπολειμματικό Μονομερές	Τοξικότητα των υπολειμματικών	Τόσο τα υπολειμματικά μονομερή όσο και η τοξικότητα τους είναι

	μονομερών στους θαλάσσιους οργανισμούς που καταναλώνουν μικροπλαστικά	γνωστή στα κοινά πλαστικά
Ιδιότητες Μεταφοράς	Η βιοδιαθεσιμότητα των μονομερών και των πρόσθετων εξαρτάται από το ρυθμό διήθησης τους στο περιβάλλον του στομαχιού	Οι ιδιότητες αυτές είναι γνωστές για τις ρητίνες αλλά μπορούν να μεταβληθούν επειδή ο δείκτης κρυσταλλικότητας ποικίλει.
Προσθετικά	Συγκέντρωση και τοξικότητα των προσθετικών συνεισφέρουν στην ανεπιθύμητη επίδραση στους οργανισμούς που τα καταναλώνουν	Τα επίπεδα χρήσης και τοξικότητας των πλαστικών είναι γνωστά
Ιδιότητες Επιφάνειας	Ο ρυθμός βιοσυσώρευσης των πλεούμενων πλαστικών καθορίζει και τον ρυθμό γήρανσης και βύθισης των μικροπλαστικών	Οι ιδιότητες της επιφάνειας και οι ρυθμοί βιοσυσώρευσης είναι γνωστές για τα κοινά πλαστικά.

Μια επιπλέον πληροφορία που μπορούμε να λάβουμε εάν γνωρίζουμε το σχήμα του μικροπλαστικού είναι και τα υδροδυναμικά χαρακτηριστικά του. Για παράδειγμα μικροπλαστικά σε σχήμα ίνας έχουν μεγαλύτερη πλευστότητα και μικρότερη ταχύτητα καθίζησης από σφαιρίδια ίδιας πυκνότητας και όγκου (Fillela, 2015). Επίσης μικροπλαστικά τα οποία έχουν μεγάλες επιφάνειες συγκριτικά με τον όγκο τους (Ινες,

αφρός) έχουν μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης αποικιών οργανικής ύλης άρα καθαίζουν πιο γρήγορα (Ryan, 2015).



Εικόνα 1.3: Κατηγορίες μικροπλαστικών με βάση το σχήμα τους. (Πηγή: Wu et al., 2019)

2. ΠΗΓΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ

2.1. Εισαγωγικά στοιχεία

Για να μπορέσουμε πιο εύκολα να προσδιορίσουμε τις πηγές που παράγουν μικροπλαστικά θα πρέπει πρώτα γίνει ο διαχωρισμός τους σε πρωτογενή και δευτερογενή. Πρωτογενή ονομάζονται τα μικροπλαστικά τα οποία παράγονται σε διαστάσεις μικρότερες των 5mm ενώ δευτερογενή είναι τα μικροπλαστικά που δημιουργούνται από την αποσύνθεση μεγαλύτερων πλαστικών.

2.2. Πηγές παραγωγής πρωτογενών μικροπλαστικών

Τα πρωτογενή μικροπλαστικά είναι προϊόντα εργοστασιακής παραγωγής και αποτελούνται κυρίως από προπαρασκευασμένες σκόνες και σφαιρίδια (Zhao et al, 2014) πολυπροπυλενίου και πολυαιθυλενίου. Τα μικροπλαστικά αυτά περιλαμβάνουν σφαιρίδια, με συνήθεις διαστάσεις 4 έως 8 χιλιοστών, τα οποία χρησιμοποιούνται στην βιομηχανική παραγωγή πλαστικών. Μπορούν να φτάσουν στο περιβάλλον μετά από απώλεια κατά τη μεταφορά ή μετά από διαρροή λόγω κακοδιαχείρισης. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των προπαρασκευασμένων αυτών σφαιριδίων βρίσκονται συχνότερα στις παραλίες και φτάνουν έως τα 100.000 ανά μέτρο (Pruter AT, 1987; Van Cauwenberghe et al., 2015).

Μικροπλαστικά μπορούμε να συναντήσουμε και σε προϊόντα προσωπικής φροντίδας όπως τα προϊόντα απολέπισης τα οποία περιέχουν μικροπλαστικά σε διάμετρο 420 μm (Napper et al 2015). Τα σωματίδια αυτά που περιέχονται σε αντικείμενα καθημερινής χρήσης όπως, π.χ. οδοντόκρεμες, αφρόλουτρα, αποσμητικά, μάσκαρα, κρέμες ξυρίσματος, αντηλιακά, βαφές μαλλιών και νυχιών και μίκ-απ, αμέσως μετά τη χρήση καταλήγουν στο σιφόνι και από εκεί στον αποχετευτικό δίκτυο (Castaneda et al., 2014; Fendall and Sewell, 2009; Cole et al., 2011; Costa et al., 2010) Guin et al.,2015). Μια έρευνα έδειξε ότι στις ΗΠΑ, από τα προϊόντα προσωπικής φροντίδας, περίπου 100 τόνοι μικροσφαιριδίων θα παρακάμψουν την επεξεργασία λυμάτων και θα καταλήξουν

στον ωκεανό (Gouin et al 2011). Σύμφωνα με τους Sundt et al., 2014) η ποσότητα μικροπλαστικών που χρησιμοποιείται ετησίως σε προϊόντα προσωπικής φροντίδας φτάνει τους 40 τόνους αριθμός που συμφωνεί και με την εκτίμηση των Gouin et al. για την Νορβηγία (43 τόννοι). Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί μόλις στο 0.5% των συνολικών εκπομπών μικροπλαστικών στο περιβάλλον (Duis and Coors, 2016). Παρόμοια ποσοστά προκύπτουν και σε έρευνες που έγιναν για την Γερμανία και τη Δανία. Παράλληλα πολλές πολιτείες στις Η.Π.Α. απαγόρευσαν την χρήση μικροπλαστικών για την παραγωγή προϊόντων προσωπικής φροντίδας καθώς και πολλές εταιρίες ανακοίνωσαν την σταδιακή κατάργηση τους. Αυτές οι ενέργειες έχουν ως αποτέλεσμα τα ήδη μικρά ποσοστά των συγκεκριμένων μικροπλαστικών να μειωθούν ακόμα περισσότερο στο μέλλον.(Gouin et al,2015; Sundt et al,2014; Essel et al,2015; Buron GA,2015; Driedger et al 2015).

Σε έρευνα που διεξήχθη για τη Γερμανία από τους Bertling et al. (2018) διαπιστώθηκε ότι η πέμπτη μεγαλύτερη πηγή παραγωγής μικροπλαστικών είναι τα γήπεδα στίβου τα οποία διαθέτουν ταρτάν και τεχνητούς αγωνιστικούς χώρους ποδοσφαίρου. Τα γήπεδα αυτά γεμίζουν με πλαστικούς κόκκους που παράγονται από την ανακύκλωση ελαστικών και έχουν διάμετρο από 0,7 έως και 3mm (Genan, 2015) γεγονός που τα κατηγοριοποιεί ως πρωτογενή μικροπλαστικά.

Κατά την διαδικασία εξερεύνησης και εξόρυξης αερίου και πετρελαίου γίνεται χρήση υγρών γεώτρησης τα οποία περιέχουν πλαστικές μικροχάντρες και αφρό.Οι μικροχάντρες αποτελούνται απο ενισχυμένα σωματίδια τεφλόν και χρησιμοποιούνται σε μεγάλες ποσότητες παγκοσμίως(MEPEx,2014).

2.3. Δημιουργία δευτερογενών πλαστικών

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω,τα δευτερογενή μικροπλαστικά είναι το αποτέλεσμα του κατακερματισμού μεγαλύτερων κομματιών πλαστικού. Τα πλαστικά που βρίσκονται ήδη στον περιβάλλον εκτίθενται στις υπεριώδεις ακτινοβολίες του ηλίου και στην κακοκαιρία με αποτέλεσμα να αρχίσουν, σταδιακά, να χάνουν τις μηχανικές τους

ιδιότητες (Pegram and Andrady, 1989). Σε φαινόμενα έντονης κακοκαιρίας οι επιφάνειες των πλαστικών ρηγματώνουν και εν τέλη σπάνε σε μικρότερα κομμάτια. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται ταχύτατα σε πλαστικά που βρίσκονται σε παραλίες και πιο αργά όταν αυτά επιπλέουν σε νερό ή βρίσκονται σε περιβάλλοντα χαμηλής οξυγόνωσης όπως σε μεσαίες στάθμες θαλάσσης ή και στον πυθμένα (GESAMP, 2015)

Τα δευτερογενή μικροπλαστικά μπορούν να προκύψουν από τη χρήση ρούχων που αποτελούνται από πολυεστέρα και νάυλον και ειδικότερα κατά το πλύσιμο τους όπου το ρούχο φθείρεται και δημιουργούνται μικροπλαστικά σε μορφή μικρών ινών (Falco et al., 2018). Σε προσομοίωση πλύσης σε οικιακό πλυντήριο που διεξήχθη σε εργαστήριο βρέθηκαν τεράστιες ποσότητες μικροπλαστικών ινών στην αποχέτευση (Hernander et al., 2017). Έχει υπολογιστεί ότι το 2013 παράχθηκαν 54,4 εκατομμύρια τόνοι συνθετικών ινών, ενώ το 2011 από πείραμα που διεξήχθη από τους Brown et al. ποσοτικοποιήθηκε ο αριθμός των ινών που παράγονται μετά από κάθε πλύσιμο σε 120 με 300 ίνες ανά λίτρο ή πάνω από 1900 ίνες ανά πλύση. Επίσης αποδείχθηκε ότι η ποσότητα των μικροπλαστικών στην αποχέτευση είναι μεγαλύτερη όταν χρησιμοποιείται απορρυπαντικό από όταν δεν χρησιμοποιείται (Pirc et al., 2016)

Τεράστια επιβάρυνση στη ρύπανση από μικροπλαστικά προκαλούν και οι χωματερές στις οποίες τα πλαστικά που συσσωρεύονται και δεν ανακυκλώνονται, με την πάροδο του χρόνου και την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας του ηλίου αυτά υποβαθμίζονται σε σωματίδια μικροπλαστικών (Barnes et al 2009). Παρόλο που υπάρχει νομοθεσία που απαγορεύει τις χωματερές σε πολλές χώρες, ιδιαίτερα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, υπολογίστηκε ότι το έτος 2016, συλλέχθηκαν 27,1 εκατομμύρια τόνοι πλαστικού από τους οποίους το 27,3% κατέληξε στις χωματερές, το 31,3 % ανακυκλώθηκε και το υπόλοιπο 41,6 % αξιοποιήθηκε στην ενέργεια (Plasticseurope, 2018).

Κατά τις κατασκευαστικές εργασίες σε εργοτάξια χρησιμοποιείται ένας ικανοποιητικός αριθμός υλικών που αποτελούνται από πλαστικό όπως πλαστικοί σωλήνες, πλαστικές συσκευασίες υλικών κ.α. τα οποία αρκετές φορές καταλήγουν στον περιβάλλον λόγω

αμέλειας. Επίσης είναι σύνηθες να παρασύρονται από τον αέρα κομμάτια φελιζόλ και να καταλήγουν και αυτά στο περιβάλλον (Battulga et al. 2019).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι πλαστικοί κόκκοι που χρησιμοποιούνται σε γήπεδα ποδοσφαίρου με τεχνητό αγωνιστικό χώρο είναι πηγή παραγωγής πρωτευόντων μικροπλαστικών, επίσης όμως τα γήπεδα αυτά αποτελούνται και από συνθετικές ίνες γρασιδιού με αποτέλεσμα να δημιουργούνται και δευτερογενή μικροπλαστικά από την καταστροφή ή υποβάθμιση τους (Sundt et al.,2014)

Προϊόντα τα οποία χρησιμεύουν για την λείανση επιφανειών και την απομάκρυνση μπογιάς από τα καράβια περιέχουν μικροπλαστικά ως εκ τούτου, κυρίως σε λιμάνια όταν γίνεται αλόγιστη χρήση αυτών των υλικών ,σωματίδια από 0,2 έως και 2 mm αποβάλλονται ανεπεξέργαστα στο νερό (Bertling et al., 2018).

Τα λάστιχα των αυτοκινήτων αποτελούνται από βουταδιένιο και όταν αυτά φθείρονται από την τριβή τα μικρά σωματίδια πλαστικού που μένουν στον δρόμο παρασύρονται από τον αέρα και καταλήγουν στο περιβάλλον. Τα σωματίδια αυτά κατά 85% έχουν εύρος μεγέθους 50 με 350 μm,κατά 8% 30-50 μm,κατά 2% 10-30 μm,κατά 4% 2,5-10 μm και μικρότερα από 2,5 % το υπόλοιπο 1% (Vogelsang et al., 2018).

Μια ακόμα πηγή παραγωγής μικροπλαστικών, παρά την νομοθεσία που υπάρχει και αφορά στην απαγόρευση ρίψης σκουπιδιών στο νερό, είναι τα αντικείμενα που χάνονται ή απορρίπτονται στη θάλασσα και στους ωκεανούς από πετρελαιοφόρα πλοία, επιβατηγά πλοία, σκάφη αναψυχής και αλιευτικά, κυρίως λόγω αμέλειας ή για οικονομικούς λόγους (Duis and Coors,2016).

Φίλμ από πολυαιθυλένιο μικρής πυκνότητας χρησιμοποιούνται στις αγροτικές δραστηριότητες και πιο συγκεκριμένα για την προστασία της αγροτικής καλλιέργειας, για την αύξηση της θερμοκρασίας και την καλύτερη απορρόφηση του νερού από το έδαφος. Όταν αυτά τα φίλμ σπάνε, τα κομμάτια τους καταλήγουν στο υπέδαφος (Lambert et al.,2014)

Όπως παρατηρούμε και από τον πίνακα 2.1 οι πηγές παραγωγής των δευτερογενών μικροπλαστικών είναι πολλές περισσότερες από αυτές των πρωτογενών γεγονός που

αναδεικνύει το τεράστιο πρόβλημα που προκαλείται από τα πλαστικά που έχουν εισέλθει ήδη στο περιβάλλον.

Πίνακας 2.1: Παραδείγματα πρωτογενών και δευτερογενών μικροπλαστικών.

Πρωτογενή Μικροπλαστικά
Συγκεκριμένα προϊόντα προσωπικής φροντίδας τα οποία περιέχουν μικροπλαστικά για απολέπιση
Προϊόντα καθημερινής χρήσης όπως οδοντόκρεμες, αφρόλουτρα, κρέμες ξυρίσματος, αντηλιακά
Προπαρασκευασμένα πλαστικά σε μορφή σκόνης ή σφαιριδίων
Ειδικά χημικά με πλαστικές μικροχάντρες για την ανίχνευση αερίου και πετρελαίου.
Δευτερογενή Μικροπλαστικά
Απώλεια αποβλήτων κατά την συλλογή τους από χωματερές και εγκαταστάσεις ανακυκλώσεως
Απώλεια πλαστικών κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών
Χρήση πλαστικών λιπασμάτων στις γεωργικές δραστηριότητες
Χρήση συνθετικών για την βελτίωση του εδάφους
Ίνες από φθορά συνθετικών υφασμάτων κατά την πλύση
Τριβή από λάστιχα αυτοκινήτων
Μπογιές από συνθετικά πολυμερή
Πλαστικά στα οργανικά λύματα
Απώλεια και απόρριψη πλαστικού εξοπλισμού από αλιευτικά καΐκια
Απώλεια και απόρριψη πλαστικού εμπορεύματος από εμπορικά πλοία
Απώλεια πλαστικών υλικών κατά τις οικοδομικές εργασίες
Καταστροφή ή υποβάθμιση τεχνητών αγωνιστικών χώρων (Φθορά τεχνητού τάπητα)

2.4. Σημεία εισόδου

Τα κυριότερα σημεία εισόδου μικροπλαστικών, τόσο πρωτευόντων όσο και δευτερευόντων, είναι οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που χρησιμοποιούν τη μέθοδο της ενεργούς ιλύος, οι σηπτικές δεξαμενές και ο αέρας. Επίσης για τους ωκεανούς και τις θάλασσες το κυριότερο μέσω μεταφοράς μικροπλαστικών είναι τα ποτάμια.

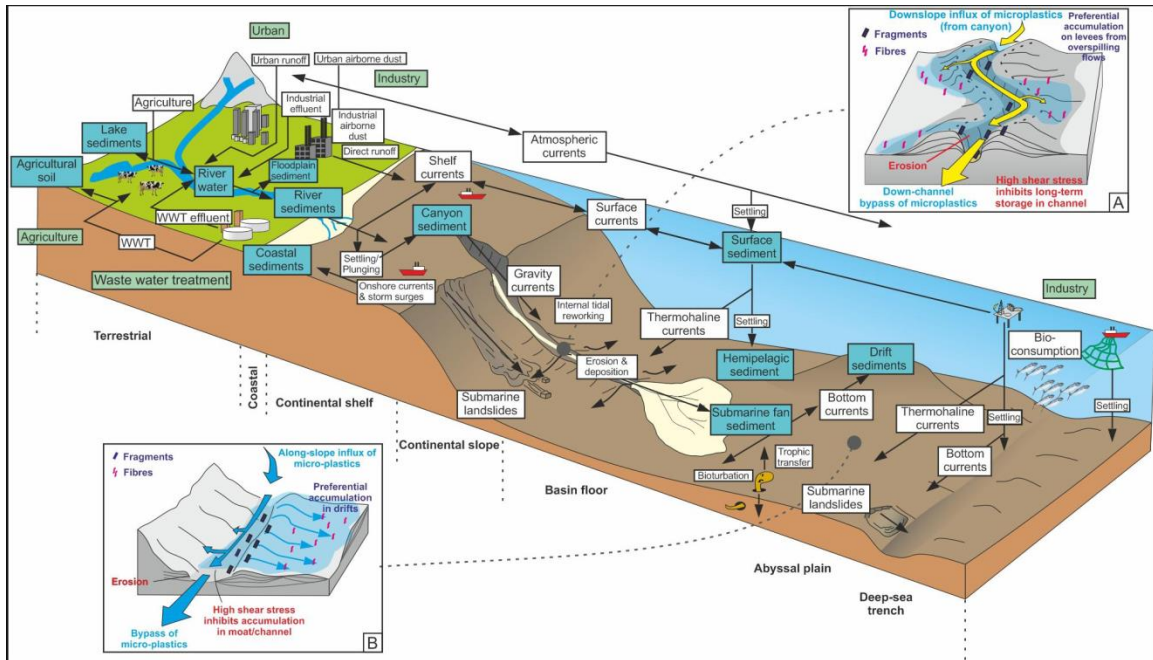
Στις Ε.Ε.Λ, ο αριθμός των μικροπλαστικών που εισέρχονται σε αυτές έχει άμεση σχέση με τις δραστηριότητες και τη χρήση που γίνεται από τους κατοίκους της περιοχής που εξυπηρετεί η εγκατάσταση. Η συγκέντρωση σωματιδίων κατά την είσοδο στις μονάδες αυτές έχει βρεθεί να κυμαίνεται μεταξύ 15 έως 320 σωματίδια ανά λίτρο (Magnusson and noren,2014; Dris et al.,2015a). Οι λίγες έρευνες που έχουν γίνει πάνω στην συγκέντρωση μικροπλαστικών στις Ε.Ε.Λ έχουν δώσει αποτελέσματα με μεγάλες διαφορές στις συγκεντρώσεις μικροπλαστικών κατά την έξοδο και μετά την επεξεργασία που έχουν υποστεί τα λύματα. Κάποιες έρευνες έχουν δείξει συγκέντρωση μικρότερη του ενός σωματιδίου ανα λίτρο (Browne et al.,2011; Magnusson and Noren,2014), ενώ άλλες μέχρι και 100 σωματίδια ανα λίτρο (Leslie et al., 2013). Σε έρευνα που διενεργήθηκε σε Ε.Ε.Λ. στην Γλασκώβη από τους Murphy et al.(2017) βρέθηκε ότι παρόλο που το ποσοστό απομάκρυνσης μικροπλαστικών έφτανε το 98,41%, περίπου 65 εκατομμύρια μικροπλαστικά την ημέρα αποβάλλονταν στον θαλάσσιο αποδέκτη. Αν και συνήθως οι μονάδες αυτές κατακρατούν περίπου το 95-99% του όγκου των σωματιδίων (Magnusson, 2014; Noren, 2007), πρόβλημα παρόλαυτα δημιουργείται στις περιπτώσεις έντονης βροχόπτωσης όπου σε παντοροϊκά συστήματα η ποσότητα λυμάτων που φτάνει στην μονάδα είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να διαχειριστεί οπότε μέσω παράκαμψης μέρος αυτών καταλήγει ανεπεξέργαστο στον θαλάσσιο αποδέκτη. Αν και δεν υπάρχουν πολλά στοιχεία για το μέγεθος των μικροπλαστικών που καταλήγουν στο περιβάλλον μέσω αυτής της διαδικασίας, μια έρευνα που έγινε από τους Kaweckí και Nowack (2019) υπολόγισε ότι στην Ελβετία η επιβάρυνση αυτή είναι της τάξης των $6,2 \pm 4,7$ τόννων το χρόνο.

Οι διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας κάθε εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων επηρεάζουν την ικανότητα της για απομάκρυνση των μικροπλαστικών. Ως εκ τούτου καταλαβαίνουμε ότι τα λύματα είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας εισόδου μικροπλαστικών στο περιβάλλον και η ανάγκη για περισσότερες πληροφορίες είναι αναγκαία για να κατανοήσουμε το μέγεθος του προβλήματος.

Ένα επίσης σημαντικό σημείο εισόδου μικροπλαστικών στο περιβάλλον που έχει άμεση σχέση με τις Ε.Ε.Λ είναι η επαναχρησιμοποίηση της ιλύος είτε ως λίπασμα είτε κατά την καύση του. Σύμφωνα με τους (Mintenig et al 2014) βρέθηκαν πάνω από 20.000 σωματίδια ανά κιλό ιλύος. Στην Ευρώπη μεταξύ 125 με 850 τόνοι μικροπλαστικών ανά ένα εκατομμύριο κατοίκους εισέρχονται στο περιβάλλον από την επαναχρησιμοποίηση της ιλύος ως λίπασμα στο έδαφος (Nizzetto et al 2016). Ερευνητές (Frank 2018; Liebmann, 2015) υποστηρίζουν ότι η μόνη λύση για καταστραφεί πλήρως το πλαστικό και να μην υπάρχει είσοδος των μικροπλαστικών στο περιβάλλον είναι να κάψουμε την ιλύ στους 300°C..

Τα μικροπλαστικά μπορούν να εισέλθουν σε λίμνες και ποταμούς μέσω της επιφανειακής απορροής (Dris et al.2017). Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του ποταμού Τάμεση όταν μετά από έρευνα των Horton et al.(2017a,2017b) ανακαλύφθηκαν μικροπλαστικά φυλλώδους σχήματος με μέγεθος από 1 έως 4 mm και μέγιστη συγκέντρωση 660 μικροπλαστικά ανά κιλό. Τα μικροπλαστικά αυτά προήλθαν από το βάψιμο των δρόμων στις γύρω αστικές περιοχές όπου μετά από έντονη βροχόπτωση παρασύρθηκαν και τελικά κατέληξαν στον πυθμένα του ποταμού.

Στην εικόνα 2.1 που ακολουθεί παρατηρούμε τα κυριότερα σημεία εισόδου μικροπλαστικών στο περιβάλλον καθώς και τις οδούς και τους μηχανισμούς μεταφοράς.



Εικόνα 2.1: Σημεία εισόδου μικροπλαστικών και οδοί μεταφοράς. Τα πράσινα κουτιά συμβολίζουν τα κύρια σημεία εισόδου, τα μπλε κουτιά συμβολίζουν μόνιμες ή προσωρινές συγκεντρώσεις, τα λευκά κουτιά συμβολίζουν τους μηχανισμούς μεταφοράς και τα βελάκια την φορά μεταφοράς. Οι εικόνες A και B δείχνουν την πιθανή μετακίνηση μικροπλαστικών σε σύστημα κανάλι-φράγμα και σε τάφρο αντίστοιχα. (Πηγή: Kane and Clare, 2019)

3. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η επίδραση των μικροπλαστικών στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον είναι ένας νέος κλάδος ερευνών με μεγάλα γνωστικά κενά και αμφιβολία. Όμως η συνεχώς αυξανόμενη συγκέντρωση μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον έχει προκαλέσει αύξηση του ενδιαφέροντος της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας για την κατανόηση των κινδύνων που μπορεί να προκαλέσουν στους υδάτινους οργανισμούς, στην τροφική αλυσίδα και στο περιβάλλον γενικότερα. Η επιρροή των μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον μπορεί να είναι χημικής, φυσικής ή βιολογικής προέλευσης (Pereao et al., 2020).

3.1. Φυσικές επιδράσεις

Η πρόσληψη μικροπλαστικών από τους υδάτινους οργανισμούς μπορεί να γίνει με άμεσο τρόπο καταναλώνοντας σωματίδια ή έμμεσα με την επαφή των μικροπλαστικών με την εξωτερική επιφάνεια των οργανισμών και εν συνεχεία τη μεταφορά τους στο εσωτερικό τους μέσα από τα βράγχια και με την κατανάλωση οργανισμών που έχουν ήδη καταναλώσει μικροπλαστικά. Κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν αυτήν την έκθεση είναι η συγκέντρωση, το μέγεθος των μικροπλαστικών καθώς και το είδος του οργανισμού.

Μια σειρά από έρευνες πεδίου καταδεικνύουν ότι τα σωματίδια μικροπλαστικών προσλαμβάνονται από υδάτινους οργανισμούς σε όλες τις ωκεάνιες περιοχές, ψάρια στην σπείρα του βορείου Ειρηνικού, μύδια από τις ακτές του Βελγίου, φώκιες από τη βόρεια θάλασσα (Ogunola and Palanisami, 2016). Έρευνες επίσης, αναφέρουν ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η πρόσληψη των μικροπλαστικών συμβαίνει επειδή οι υδάτινοι οργανισμοί τα μπερδεύουν με το θήραμά τους ή καταναλώνουν οργανισμούς που είχαν ήδη καταναλώσει σωματίδια μικροπλαστικών (Browne et al., 2008). Για παράδειγμα οι Eriksson και Burton (2003) αναφέρουν ότι ένα είδος φώκιας προσλαμβάνει μικροπλαστικά από την κατανάλωση πελαγίστων ψαριών που έχουν

προσλάβει μικροπλαστικά σωματίδια από την τροφή. Από την πρόσληψη μικροπλαστικών προκαλείται έμφραξη της εντερικής διαδρομής ή των οργάνων χώνευσης με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η κατανάλωση τροφής ή να μειώνεται η τροφική ανάγκη (ψευδο-κορεσμός) γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε λιμοκτονία (Thompson RC, 2006). Επίσης, μικροπλαστικά που προσκολλώνται στα εξωτερικά κελύφη και αποφύσεις του ζωοπλαγκτόν προκαλούν σημαντικά προβλήματα και δυσλειτουργία κατά την τροφή (Cole et al., 2013).

Πολλοί οργανισμοί έχουν την ικανότητα να αποβάλλουν ανεπιθύμητα υλικά όπως ιζήματα ή σωματίδια χωρίς να προκαλείται βλάβη, όμως από τη στιγμή που προσλαμβάνεται το μικροπλαστικό υπάρχει η πιθανότητα να απορροφηθεί από τον οργανισμό και να προκαλέσει μοριακή τοξικότητα που να σχετίζεται με φλεγμονές και ινώσεις. Επίσης είναι γνωστό ότι σωματίδια πλαστικού που συσσωρεύονται σε όργανα και ιστούς μπορεί να προκαλέσουν αυτοάνοσα νοσήματα, αντιδραση ξένου σώματος και σχηματισμό κοκκιώματος (Tang and Eaton, 1995).

3.2. Χημικές επιδράσεις

Τα μικροπλαστικά περιέχουν κάποιους πιθανά ζημιογόνους πλαστικοποιητές που καλούνται “πρόσθετα” όπως η Δισφαινόλη-Α και το φθαλικό διβουτύλιο που προστίθενται στο πλαστικό κατά την παραγωγή για προσδώσουν αντοχή και ελαστικότητα (Meeker et al., 2009). Τα πλαστικά αυτά επίσης προσροφούν τοξικά υλικά από την ευρύτερη υδάτινη περιοχή όπως πολυχλωριωμένο διφαινύλιο, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, ανθεκτικούς οργανικούς ρύπους όπως διχλωροδιφαινυλοτριχλωροαιθάνιο (DDT) και βαρέα μέταλλα (Ogunola and Palanisami, 2016). Αυτά τα χημικά προϊόντα δεν είναι χημικώς δεσμευμένα με τις επιφάνειες των μικροπλαστικών και σταδιακά καταλήγουν στο περιβάλλον ή στους ιστούς των ζώων όταν καταναλώνονται. Οι καταγεγραμμένες επιδράσεις υψηλών συγκεντρώσεων τέτοιων χημικών περιλαμβάνουν δυσλειτουργία αναπαραγωγής (Talsness et al., 2009), ηπατικό στρες (Rochman et al., 2013), χαμηλά επίπεδα στεροειδούς ορμόνης και

καθυστέρηση ωορρηξίας (Azzarello and Van Vleet, 1987), ενδοκρινικές διαταραχές και θνησιμότητα (Bouland et al., 2012).

Τα μικροπλαστικά, εκτός από τις άμεσες επιδράσεις που έχουν στους υδάτινους οργανισμούς μπορούν να λειτουργήσουν και ως οχήματα μεταφοράς χημικών ρύπων σε απρόσιτες περιοχές όπως η Αρκτική (Zarfl and Matthies, 2010). Βέβαια με βάση εκτιμώμενες τιμές για τις ποσότητες πλαστικών και ρύπων στους ωκεανούς, απορρόφηση των ρύπων από τα πλαστικά και μέσες ταχύτητες ωκεάνιων ρευμάτων προέκυψε η εκτίμηση ότι οι ποσότητες των ρύπων που μεταφέρονται μέσω της κίνησης των πλαστικών είναι τρεις έως έξι τάξεις μικρότερες από τις αντίστοιχες λόγω μεταφοράς μέσω αέρα ή νερού (Duis and Coors, 2016).

3.3. Τα μικροπλαστικά ως μεταφορείς οργανισμών

Πολλοί υδάτινοι οργανισμοί ζουν προσκολλημένοι σε θαλάσσια σκουπίδια. Λόγω της ευρείας χρήσης του πλαστικού η ποσότητα των πλεούμενων σκουπιδιών στους ωκεανούς έχει αυξηθεί ραγδαία. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα στις επιφάνειες των μικροπλαστικών να εποικίζονται οργανισμοί οι οποίοι μεταφέρονται μαζί τους. Για παράδειγμα σε δείγματα που συλλέχθηκαν από τα επιφανειακά στρώματα του Βόρειου Ατλαντικού βρέθηκαν ποικιλίες οργανισμών όπως βακτήρια, κυανοβακτήρια, διάτομα, βλεφαριδοφόρα και φύκια (Zettler et al., 2013). Με δεδομένο λοιπόν ότι τα μικροπλαστικά μπορούν να ταξιδέψουν μεγάλες αποστάσεις μπορεί με αυτόν τον τρόπο να συμβάλλουν στη διασπορά των ειδών τα οποία μπορεί να είναι επεμβατικά είδη ή είδη τα οποία προκαλούν φαινόμενα ευτροφισμού (Duis and Coors, 2016). Οι Zettler et al. (2013) έδειξαν ότι μικροβιακά βιοφίλμ και μικροοργανισμοί που ήταν προσκολλημένοι στα μικροπλαστικά έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη μεταφορά ακροβακτηρίων και βακτηρίων που προκαλούν χολέρα.

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

4.1. Εισαγωγικά στοιχεία

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει η ρύπανση του περιβάλλοντος από μικροπλαστικά είναι ένα σχετικά πρόσφατο φαινόμενο καθώς στις αρχές της δεκαετίας του 70' για πρώτη φορά επιστήμονες ανακάλυψαν την ύπαρξη μικροπλαστικών στους ωκεανούς (Carpenter et al 1972). Έπρεπε να περάσουν αρκετά χρόνια και να φτάσουμε στο 2005 μέχρι να ξεκινήσει ένα συστηματικό ενδιαφέρον με έρευνες και δημοσιεύσεις πάνω στις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις του φαινομένου αυτού στο περιβάλλον και τον άνθρωπο.

Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τις συγκεντρώσεις μικροπλαστικών στο περιβάλλον είναι η δημιουργία μεθόδων δειγματοληψίας. Επειδή οι περιοχές από τις οποίες θέλουμε να εξάγουμε δεδομένα ποικίλουν καθώς για παράδειγμα αντίστοιχο ενδιαφέρον με την εξέταση της επιφάνειας της θάλασσας έχει και η εξέταση του πυθμένα της, γι' αυτό το λόγο και οι μέθοδοι που έχουμε στη διάθεσή μας ποικίλουν επίσης. Ανάλογα με τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιήσουμε μπορεί να διαφοροποιηθεί η συγκέντρωση και τον σχήμα των μικροπλαστικών τα οποία θα συλλέξουμε.

Προς το παρόν δεν υπάρχουν τυποποιημένες διαδικασίες συλλογής δειγμάτων αλλά είναι ένας συνεχόμενα αναπτυσσόμενος τομέας ερευνών και η ανακάλυψη νέων ή υιοθέτηση κοινών μεθόδων συλλογής είναι πολύ σημαντικό κομμάτι για την επιστήμη της θαλάσσιας ρύπανσης (Galvani et al 2011).

4.2. Δειγματοληψία στη θάλασσα

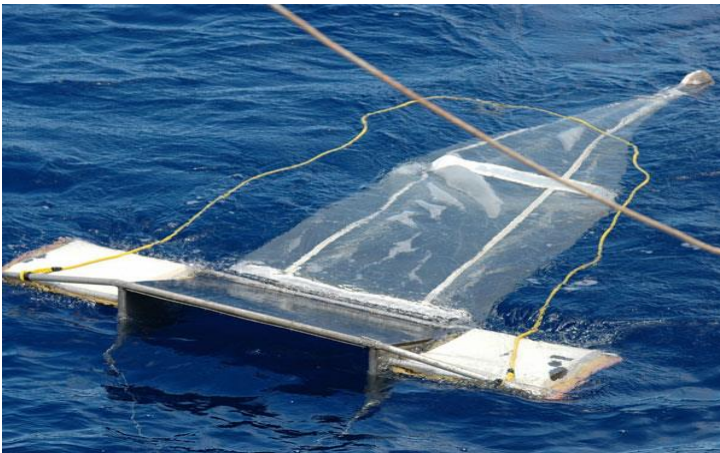
Η διασπορά των μικροπλαστικών μέσα στη θάλασσα εξαρτάται από τις ιδιότητες τους όπως η πυκνότητα, το μέγεθος, το σχήμα και η βιοσυσσώρευση καθώς και από περιβαλλοντικά φαινόμενα όπως άνεμοι, κύματα και θαλάσσια ρεύματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα δείγματα να επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την μέθοδο δειγματοληψίας που θα ακολουθηθεί. Οι μεθοδολογίες και τα εργαλεία που

χρησιμοποιούνται για τη λήψη των δειγμάτων διαφέρουν ανάλογα με το βάθος στο οποίο θέλουμε να γίνει η δειγματοληψία.

4.2.1. Δειγματοληψία σε επιφανειακά νερά

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

Τα manta nets (εικόνα 3.1), τα οποία έχουν λάβει την ονομασία τους από το σχήμα τους που παραπέμπει σε σαλάχι, αποτελούνται από αλουμινένια κατασκευή με αλουμινένια 'φτερά' εκατέρωθεν της στην οποία είναι δεμένο ένα δίχτυ με διάμετρο οπών συνήθως 0.333mm. Τα δίχτυα αυτά είναι θεμιτό να χρησιμοποιούνται σε ήρεμα νερά γιατί υπάρχει κίνδυνος τα ψηλά κύματα να προκαλέσουν βλάβη στη συσκευή (Thompson R., 2015)



Εικόνα 4.1: Manta net

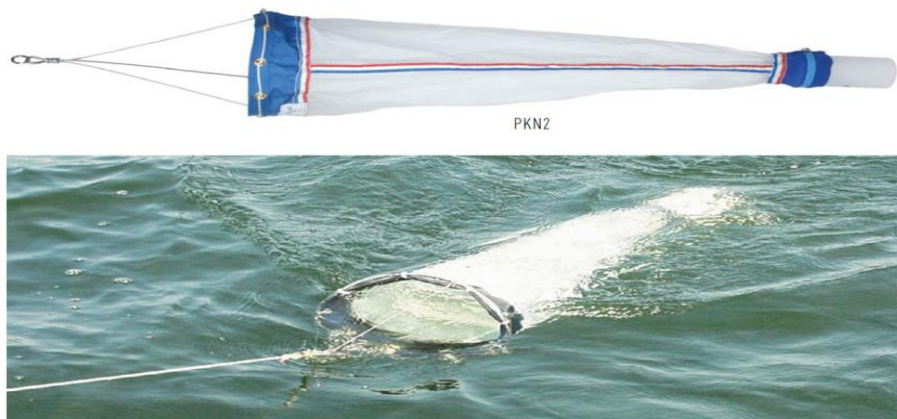
Τα neuston nets (εικόνα 3.2) αποτελούνται από δύο πλωτήρες στους οποίους παρεμβάλλεται μια μεταλλική κατασκευή από ανοξείδωτο ατσάλι στην οποία

τοποθετείται ένα δίχτυ με διάμετρο οπών από 200 έως 500 μm . Ουσιαστικά δημιουργείται μια κατασκευή που παραπέμπει σε καταμαράν για τον λόγο αυτό στις διάφορες βιβλιογραφίες μπορούμε να συναντήσουμε τον όρο “Neuston catamaran”. Αυτή η κατασκευή είναι πιο ανθεκτική στις έντονες καιρικές συνθήκες και μπορεί να λειτουργήσει και σε μέρες με ψηλά κύματα παρουσιάζοντας πλεονέκτημα συγκριτικά με τα δίχτυα manta (Thompson R., 2015)



Εικόνα 4.2: Neuston Net

Τα δίχτυα για πλαγκτόν (εικόνα 3.3) είναι δίχτυα από νάιλον με μικρότερες διαμέτρους από τα manta και neuston (100 μm). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για κατακόρυφη αλλά και για οριζόντια δειγματοληψία. Κατά τη διάρκεια της ρυμούλκησης το δείγμα από πλαγκτόν συγκεντρώνεται στο πίσω μέρος του δικτυού ενώ μετά τη λήξη της δειγματοληψίας το δίχτυ πρέπει να καθαριστεί προσεκτικά έτσι ώστε το σύνολο του πλαγκτόν και των σκουπιδιών που συλλέχθηκαν να βρίσκονται στο πίσω μέρος του. Αυτό είναι ένα σημαντικό κομμάτι της διαδικασίας διότι εάν μείνουν υπολείματα, αυτά θα μεταφερθούν στο επόμενο δείγμα και τα αποτελέσματα θα αλλοιωθούν (Thompson R., 2015).



Εικόνα 4.3: Δίχτυ Πλαγκτόν

Το μέγεθος του διχτυού που θα χρησιμοποιηθεί επηρεάζει άμεσα και την συγκέντρωση των μικροπλαστικών που θα βρεθεί. Για παράδειγμα χρήση διχτυών από νάιλον με διάμετρο 0,1mm μπορεί να αναφέρουν συγκεντρώσεις ακόμα και εκατό φορές μεγαλύτερες από αυτές με τη χρήση διχτυού manta τυπικού ανοίγματος 0,333mm (Vermaire et al 2016). Από την άλλη όμως τα δίχτυα manta μπορούν να συλλέξουν πολύ μεγαλύτερους όγκους νερού συγκριτικά με τα δίχτυα απο νάιλον και ο λόγος είναι ότι τα δεύτερα βουλώνουν αρκετά γρήγορα και θα πρέπει να καθαρίζονται πριν συνεχίσει η διαδικασία.

Επίσης έρευνα έχει δείξει ότι η σύσταση του μέσου όρου των δειγμάτων νερού είναι 52% μικροΐνες, 29% θραύσματα ενώ κομμάτια με διαφορετική μορφολογία όπως μικροσφαιρίδια, αφρούς κ.α. καθιστούν μια πολύ μικρή ποσότητα ενώ άλλες έρευνες έδειξαν ότι οι μικροΐνες είναι το κυρίαρχο στοιχείο μικροπλαστικού όπου σε ορισμένες περιπτώσεις φτάνει και το 80% της περιεκτικότητας (Constant et al., 2019; carr et al.,

2016). Τα τυπικά δίκτυα διαμέτρου 0,333 mm που χρησιμοποιούνται δεν μπορούν να συλλέξουν τις ίνες αυτές γεγονός που οδηγεί σε αποτελέσματα τα οποία υποεκτιμούν τις συγκεντρώσεις μικροπλαστικών και συνεπώς υποεκτιμούν την σοβαρότητα του φαινομένου.

4.2.2. Δειγματοληψία σε μεσαία βάθη και τον πυθμένα

Οι τρόποι που έχουμε στη διάθεση μας για την εξαγωγή δειγμάτων σε μεσαία βάθη και πυθμένα περιλαμβάνουν την χρήση ειδικά διαμορφωμένων δικτύων την συλλογή χύδην νερού αλλά και ειδικό εξοπλισμό.

Τα δίκτυα αυτά ονομάζονται bongo nets (εικόνα 3.4) και ουσιαστικά είναι δύο δίκτυα πλανκτόν, δηλαδή δύο μακρόστενα κυκλικά δίκτυα με μικρή διάμετρο οπών (100μm) τα οποία είναι συνδεδεμένα το ένα δίπλα στο άλλο. Τα δίκτυα αυτά ρυμουλκούνται από σκάφη σε μικρές ταχύτητες γιατί οι οπές φράζουν πολύ εύκολα. Επίσης διαθέτουν έναν μετρητή ροής για να μπορεί να υπάρξει μια εκτίμηση του όγκου νερού που έχει ελεγχθεί ώστε η συγκέντρωση των μικροπλαστικών να μπορεί να εκφραστεί σε nr/m^3 .



Εικόνα 4.4: Δίκτυο Μπόνγκο

Οι (Desforges et al., 2014)) χρησιμοποίησαν το σύστημα πρόσληψης αλμυρού νερού που είναι εγκατεστημένο στο σκάφος συλλέγοντας νερό σε βάθος 4.5 μέτρων. Και σε αυτήν την περίπτωση ένας μετρητής ροής ήταν εγκατεστημένος έτσι ώστε οι μετρήσεις να εκφραστούν σε κυβικά μέτρα φιλτραρισμένου νερού. Πριν την είσοδο του νερού στο σύστημα φιλτραρίσματος είχε τοποθετηθεί ένα φίλτρο 5mm για να αποτρέξει την είσοδο μεγάλων κομματιών ενώ το νερό στη συνέχεια πέρασε από τρία κόσκινα

250μm, 125μm και 62,5 μm. Τέλος αυτό που έμνε πάνω στα κόσκινα αποθηκευόταν σε γυάλινα μπουκάλια.

Ένα επιπλέον εργαλείο στην προσπάθεια καταγραφής των συγκεντρώσεων μικροπλαστικών στον υδάτινο κόσμο είναι και ο καταγραφέας πλαγκτόν (CPR). Η συσκευή αυτή (εικόνα 3.5) συλλέγει πλαγκτόν σε βάθος δέκα μέτρων και στη συνέχεια τα δείγματα αυτά επεξεργάζονται για την εύρεση μικροπλαστικών (Thompson et al., 2004).



Εικόνα 4.5: Καταγραφέας Πλαγκτόν (CPR)

(Πηγή : www.sciencefriday.com)

Για την λήψη δειγμάτων από τον πυθμένα του υδάτινου περιβάλλοντος γίνεται χρήση του επιβενθικού ελκήθρου (εικόνα 3.6). Το έλκηθρο αυτό είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε να ρυμουλκείται από καράβι πάνω σε μαλακές και μη βραχώδεις επιφάνειες του πυθμένα. Στο πίσω μέρος του ελκήθρου είναι τοποθετημένο το δίκτυο πλαγκτόν στο οποίο φιλτράρεται το νερό και συλλέγονται τα δείγματα.



Εικόνα 4.6: Επι-βενθικό Έλκυθρο

(πηγή:<https://www.researchgate.net/figure/Epibenthic-sled-used-to-collect-sessile-organisms-from-40-sampling-sites-inside-and-fig3-284730101>)

4.3. Δειγματοληψία στα ιζήματα

Η συλλογή δειγμάτων σε ιζηματογενής περιοχές παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις ανάλογα με την περιοχή των δειγμάτων (π.χ. πυθμένας θαλάσσης, ακτογραμμή παραλίας) και το βάθος συλλογής καθώς τα πρώτα πέντε cm παρουσιάζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις από τα πρώτα δέκα cm. Η δειγματοληψία σε παραλίες έχει πολύ χαμηλότερο επίπεδο δυσκολίας συγκριτικά με αυτή της θάλασσας όμως για να λάβουμε δείγματα απο τον πυθμένα χρειάζεται πολύ μεγαλύτερη προσπάθεια και πόρους (GESAMP, 2015). Για τη συλλογή δειγμάτων σε παραλίες χρησιμοποιούνται σπάτουλες, κουτάλια και φτυάρια ενώ για τον πυθμένα απαιτείται σκάφος και ειδικός εξοπλισμός (εικόνα 3.7, εικόνα 3.8) που θα έχει τη δυνατότητα να βυθιστεί στον πυθμένα για να συλλέξει τα δείγματα όπως ο ειδικός δειγματολήπτης (Van Veen) και ο εκπυρηνωτής (Prata et al., 2019). Η χρήση των εκπυρηνωτών δίνει τη δυνατότητα της δημιουργίας προφίλ όσων αφορά τις

συγκεντρώσεις των μικροπλαστικών στην υδάτινη στήλη αλλά ο όγκος των δειγμάτων είναι περιορισμένος (25cm³). (Klein et al., 2018).



Εικόνα 4.7: Εκπυρηνωτής



Εικόνα 4.8: Δειγματολήπτης Πυθμένα

Οι ανωτέρω μέθοδοι δειγματοληψίας καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους συνοψίζονται στον πιο κάτω Πίνακα 3.1.

Πίνακας 4.1: Μέθοδοι δειγματοληψίας σε νερό και ιζήματα

Μηχανισμός	Σημεία Εφαρμογής	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Δίχτυα manta-neuston	Ρηχά νερά	Εύκολη χρήση Δειγματοληψία μεγαλων όγκων νερού Ευρεία χρήση	Πιθανή ρύπανση από το σκάφος και τα σκοινιά Χρήση σκάφους Περιορισμός δειγμάτων 330μm
Δίχτυα πλαγκτόν	Ρηχά νερά Μεσαία Βάθη (Δίχτυ Μπόνγκο)	Εύκολη χρήση Δειγματοληψία εως 100 μm	Πιθανή ρύπανση από το σκάφος και τα σκοινιά Χρήση σκαφους Φράξιμο Δειγματοληψία μικρού όγκου νερού

Κόσκινια	Ρηχά νερά Μεσαία Βάθη Ιζήματα	Εύκολη χρήση Δεν απαιτεί ειδικό εξοπλισμό η σκάφος	Χρονοβόρο Μικρός όγκος Δειγμάτων
Αντλίες	Ρηχά νερά Μεσαία βάθη	Δειγματοληψία μεγάλων όγκων νερού	Ειδικός εξοπλισμός
Εκπυρηνωτής-Ειδικός Δειγματολήπτης	Πυθμένας Θαλάσσης	Ευκολία Χρήσης	Ακριβός Εξοπλισμός Χρήση σκάφους Διαφοροποιήσεις ανάλογα με το βάθος και την περιοχή
Καταγραφέας Πλαγκτόν	Μεσαία Βάθη (10 m)	Δειγματοληψία μεγάλων όγκων νερού Ευκολία Χρήσης	Χρήση σκάφους Ακριβός Εξοπλισμός
Επι-βενθικό Έλκυθρο	Πυθμένας Θαλάσσης	Μικρό κόστος κατασκευής Δειγματοληψία μεγάλων όγκων νερού Ασφαλής χρήση ακόμα και σε σχετικά ισχυρούς ανέμους	Χρήση σκάφους Αδυναμία δειγματοληψίας σε ανηφορικά επίπεδα

5. ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ, ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ

5.1. Εισαγωγικά στοιχεία

Η διαδικασία που ακολουθείται αμέσως μετά την λήψη των δειγμάτων (Εικόνα 4.1) περιλαμβάνει τα στάδια του διαχωρισμού των μικροπλαστικών από τα οργανικά ή μη οργανικά σωματίδια έτσι στη συνέχεια να είναι εφικτή η αναγνώριση και ποσοτικοποίησή τους. Το δείγμα υπόκειται σε μια προεργασία κατά την οποία με τη χρήση κοσκίνων μεγέθους 150 έως 500 μm ομογενοποιείται και στη συνέχεια διαχωρίζεται με φιλτράρισμα ή διαχωρισμό πυκνότητας με χρήση NaCl .

Η ανάλυση των μικροπλαστικών μας παρέχει πληροφορίες σχετικά με τα μορφολογικά, φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του υλικού αλλά και σχετικά με την συγκέντρωση του στο περιβάλλον. Γνωρίζοντας λοιπόν αυτές τις πληροφορίες μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με την προέλευση των μικροπλαστικών, τις πηγές παραγωγής τους, τα σημεία εισόδου τους, την διασπορά τους στο περιβάλλον, το μέγεθος της ρύπανσης καθώς και την πιθανή επίδραση που μπορεί να έχουν στο περιβάλλον.

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε τις τέσσερις πιο συνηθισμένες μεθόδους αναγνώρισης μικροπλαστικών: την φασματομετρία FTIR την φασματομετρία RAMAN, την SEM-EDS και την Pyr-GC-MS.

5.2. Διαχωρισμός

5.2.1. Φιλτράρισμα

Η πιο συνηθισμένη διαδικασία για τον διαχωρισμό των μικροπλαστικών από τον υπόλοιπο όγκο του δείγματος είναι το φιλτράρισμα το οποίο μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση διχτυών και κοσκίνων. Το κόσκινο ή το δίχτυ που θα χρησιμοποιηθεί καθορίζει και το ελάχιστο μέγεθος μικροπλαστικού που θα ανιχνευθεί. Μεγάλα μεγέθη πόρων διχτυού έχουν το μειονέκτημα ότι υποτιμούν τις συγκεντρώσεις μικροπλαστικών ενώ μικρά μεγέθη είναι πολύ εύκολο να βουλώσουν και να δυσκολέψουν την

διαδικασία του διαχωρισμού, ειδικά σε περιπτώσεις που το δείγμα είναι ίζημα. Για τον λόγο αυτό τα δείγματα επιβάλλονται σε πολλαπλά στάδια φιλτραρίσματος με κόσκινα διαφορετικών μεγεθών όπου το βήμα μείωσης του μεγέθους των πόρων καθορίζεται και εξαρτάται από το είδος του δείγματος(Rocha-Santos and Duarte, 2015)

5.2.2. Διαχωρισμός Πυκνότητας

Στην συγκεκριμένη διαδικασία εκμεταλλευόμαστε την διαφορά πυκνοτήτων των πλαστικών (Πίνακας 4.1) και των ιζημάτων έτσι ώστε να τα διαχωρίσουμε. Αναμιγνύουμε διάλυμα κορεσμένο με αλάτι και στη συνέχεια συλλέγουμε τον υπερκείμενο όγκο για περαιτέρω διεργασία. Το διάλυμα πρέπει να έχει πυκνότητα μεγαλύτερη από $1,4 \text{ g/cm}^3$ ώστε να είναι αποτελεσματικό στον διαχωρισμό καθώς τα πλαστικά έχουν πυκνότητα που δεν ξεπερνά τα $1,5 \text{ g/cm}^3$. Σαν διάλυμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το νερό το οποίο έχει πυκνότητα 1.015 g/cm^3 αλλά τα μικροπλαστικά που μπορεί να διαχωρίσει είναι αυτά από πολυαιθυλένιο και πολυπροπυλένιο (Zhang et al., 2017,). Το πιο συνηθισμένο διάλυμα είναι αυτό που περιέχει χλωριούχο νάτριο (NaCl) καθώς είναι φτηνό, φιλικό προς το περιβάλλον και υπάρχει σε αφθονία. Το μειονέκτημα του συγκριτικά με άλλα διαλύματα είναι ότι δεν έχει καλά αποτελέσματα σε βαριά μικροπλαστικά και απαιτείται πλύση του δείγματος τουλάχιστον τρεις φορές(Quinn et al., 2016)

Πίνακας 5.1: Διαχωρισμός πυκνότητας για κάθε κατηγορία μικροπλαστικού με χρήση νερού και χλωριούχου νατρίου.

Τύπος Πλαστικού	Πυκνότητα(g/cm^3)	Νερό($1,015 \text{ g/cm}^3$)	NaCl($1,4 \text{ g/cm}^3$)
Πολυπροπυλένιο	0.9-0.91	Ναι	Ναι
Πολυαιθυλένιο	0.92-0.97	Ναι	Ναι
Ναϋλον	1.02-1.05	Οχι	Ναι
Πολυστερίνη	1.04-1.1	Οχι	Ναι
Ακρυλικά	1.09-1.20	Οχι	Ναι
Πολυαιθυλακρικό	1.17-1.20	Οχι	Ναι
Πολυουρεθίνη	1.2	Οχι	Ναι

Πολυβινυλοχλωρίδιο	1.16-1.58	Οχι	Ισως
Πολυβινυλική αλκοόλη	1.19-1.31	Οχι	Ισως
Αλκυδική Ρυτίνη	1.24-2.10	Οχι	Οχι
Πολυεστέρας	1.24-2.3	Οχι	Οχι
Τερεφθαλικό Πολυαιθυλένιο	1.37-1.45	Οχι	Οχι
Πολυοξυμεθυλένιο	1.41-1.65	Οχι	Οχι

5.3. Καθαρισμός δείγματος

Ο καθαρισμός του δείγματος είναι μια διαδικασία που δεν μπορούμε να παραβλέψουμε ειδικά εάν πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε αναλυτικές μεθόδους όπως φασματοσκοπία υπερύθρου, φασματοσκοπία RAMAN, Pyr GC/MS. Είναι πολύ σημαντικό να καθαριστεί το δείγμα από τα υπολείμματα οργανικής και μη οργανικής ύλης για να γίνει σωστή αναγνώριση του πλαστικού (Thompson R., 2015). Ο καλύτερος τρόπος καθαρισμού είναι με χρήση γλυκού νερού (McDermid and McMullen, 2004). Άλλοι τρόποι καθαρισμού που έχουν χρησιμοποιηθεί σε έρευνες περιλαμβάνουν τον υπερηχητικό καθαρισμό ο οποίος δεν καταστρέφει το γηρασμένο και έτοιμο να θρυμματιστεί μικροπλαστικό (Cooper and Corcoran, 2010), χρήση μεταπυριτικού οξέος που καταστρέφει τα οργανικά υπολείμματα (Andrady, 2011) και ενζυματικό καθαρισμό (Cole et al., 2014).

5.4. Αναγνώριση και ποσοτικοποίηση

5.4.1. Φασματοσκοπία Υπερύθρου

Με την φασματοσκοπία υπερύθρου λαμβάνουμε χημικές πληροφορίες μέσω των δονήσεων των μορίων του δείγματος. Όπως βλέπουμε και στον πίνακα 4.2 η μέθοδος

αυτή περιλαμβάνει τέσσερις μεθόδους ανάλυσης δειγμάτων: μετάδοση, ανάκλαση, κατοπτρική ανάκλαση και ATR.

Στη μέθοδο της μετάδοσης μια ακτίνα υπέρυθρων «χτυπάει» το δείγμα και στη συνέχεια λαμβάνουμε ένα φάσμα διαφορετικών κυμάτων από το μεταδιδόμενο υπέρυθρο σήμα.

Στη δεύτερη μέθοδο η υπέρυθρη ακτίνα ανακλάτε από την επιφάνεια του δείγματος προς όλες τις κατευθύνσεις και στην συνέχεια η ενέργεια του ανακλώμενου υπέρυθρου φωτός συλλέγεται από μια μηχανή ανίχνευσης η οποία παράγει ένα χαρακτηριστικό φάσμα μοναδικό για κάθε υλικό(Mitchell 1993).

Η κατοπτρική ανάκλαση είναι παρόμοια μέθοδος με αυτήν της ανάκλασης με την διαφορά ότι η ανάκλαση δεν γίνεται προς όλες τις κατευθύνσεις αλλά με μια συγκεκριμένη γωνία η οποία εξαρτάται από την απορροφητικότητα της επιφάνειας του δείγματος.

Στη μέθοδο αυτή το η υπέρυθρη ακτινοβολία εισέρχεται σε έναν κρύσταλλο ο οποίος την ανακλά ολικά στην διεπιφάνεια κρυστάλλου και δείγματος με αποτέλεσμα αυτή η ανάκλαση να δημιουργεί ένα αποσβενώμενο κύμα αφού το δείγμα απορροφά ενέργεια. Μετά από αρκετές εσωτερικές ανακλάσεις το φως εξέρχεται από τον κρύσταλλο και παράγει το υπέρυθρο φάσμα του δείγματος.

Το είδος της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται άμεσα από το είδος και τα χαρακτηριστικά του υλικού του δείγματος. ΨΔείγματα με μεγάλο πάχος παράγουν ακριβέστερα αποτελέσματα εάν μετρηθούν με την ATR μέθοδο ενώ για τα λεπτά χρησιμοποιούμε την μέθοδο της μετάδοσης. ΨΕπίσης για πολύ μικρά δείγματα με μέγεθος μικρότερο από 10 μm κατάλληλη μέθοδος θεωρείται αυτή της ανάκλασης

Πίνακας 5.2: Μέθοδοι ανάλυσης δειγμάτων με FTIR.

Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Καταλληλότητα Δείγματος	Χαρακτηριστικά Μικροπλαστικού
Μετάδοση	Εδραιωμένη μέθοδος Καλή φασματική Πληροφόρηση Καλήγια ποσοτικοποίηση	Δείγματα στα οποία μπορεί να περάσει η υπέρυθρη ακτίνα Λεπτά πολυμερή Θερμοπλαστικές σκόνες	Λεπτές ίνες Σκόνες
Ανάκλαση	Ελάχιστη προετοιμασία δείγματος	Δείγματα που μπορούν να μετατραπούν σε λεπτή σκόνη Μαλακές σκόνες Ταμπλέτες	Λεπτά μικροπλαστικά < 1 μm Ακανόνιστο σχήμα
Κατοπτρική Ανάκλαση	Μη καταστροφική ανάλυση	Δείγματα με μεγάλες και επίπεδες επιφάνειες Μεταλλικές επιφάνειες Επιφάνειες απο σιλικόνη	Λεία και παχιά φιλμ
ATR	Ελάχιστη προετοιμασία δείγματος	Παχια δείγματα με καλή απορρόφηση	Παχιές ίνες Σκόνες

	Μη καταστροφική ανάλυση Ιδανικό για παχιά και δείγματα με καλή απορρόφηση υπέρυθρου φωτός	Πλαστικά, Λάστιχα, Μπογιές	Ακανόνιστο σχήμα
--	---	----------------------------	------------------

5.4.2. Φασματοσκοπία RAMAN

Η φασματοσκοπία RAMAN είναι μια πολύ αποτελεσματική μέθοδος χημικής αναγνώρισης μικροπλαστικών στα διάφορα ήδη δειγμάτων (Loder and Gerdts 2015). Το φάσμα RAMAN δημιουργείτε από τις δονήσεις των μορίων των δειγμάτων όταν σε αυτά εισάγουμε ενέργεια. Η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να εντοπίσει μικροπλαστικά με μέγεθος μικρότερο από 10 μm, όμως η χρήση της φασματοσκοπίας μικρο-RAMAN είναι ικανή να ανιχνεύσει μικροπλαστικά έως και 1 μm (Imhof et al 2016).

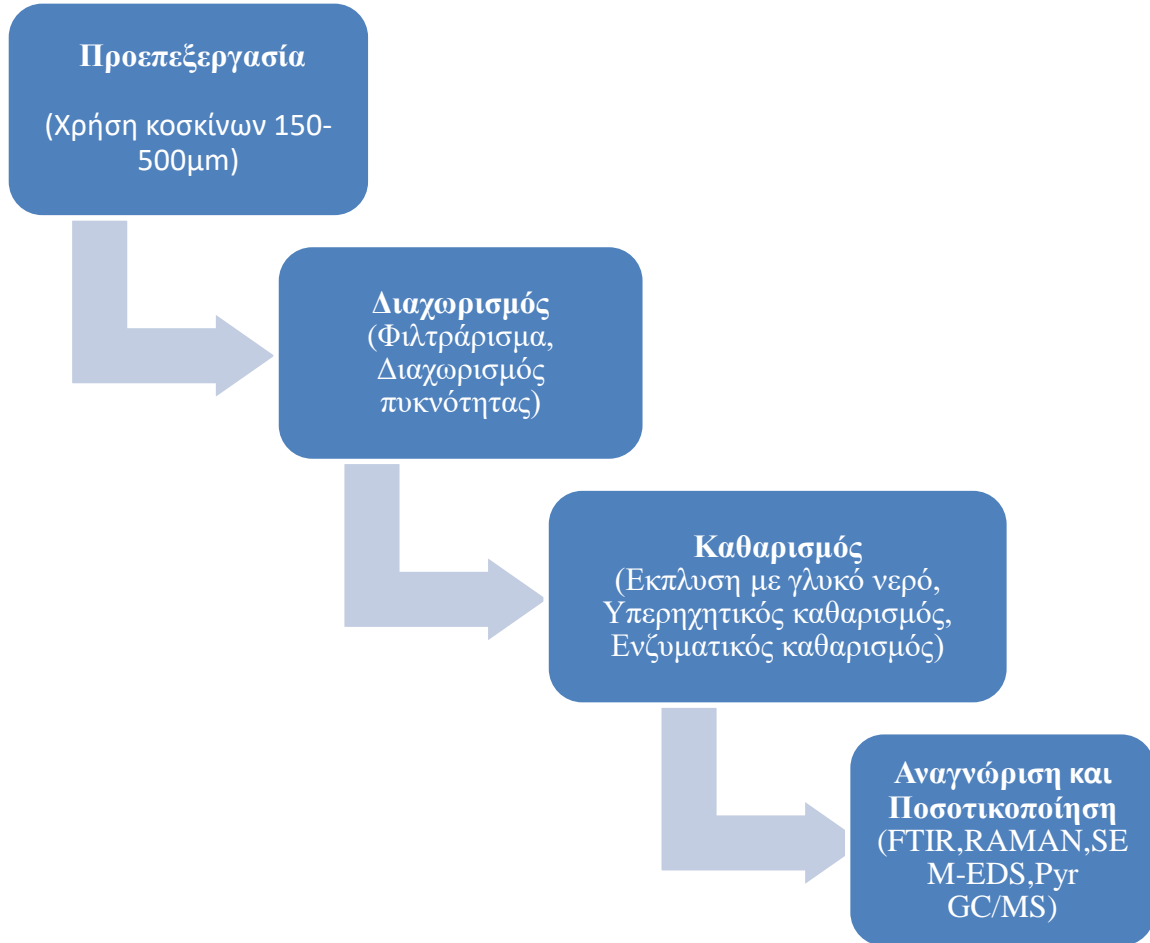
Συγκριτικά με την φασματοσκοπία FTIR αυτή η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι η παρουσία υγρού στο δείγμα και το πάχος του δείγματος δεν επηρεάζουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Επίσης η μ-FTIR δεν μπορεί να εντοπίσει μικροπλαστικά μικρότερα από 20μm σε νερό και σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων λόγω της χαμηλής ανάλυσης της μεθόδου, ενώ όπως αναφέραμε και πιο πάνω η μικρο-RAMAN μπορεί να εντοπίσει μικροπλαστικά έως και 1 μm (Mintenig et al 2017).

5.4.3. SEM-EDS

Η μικροσκοπία ηλεκτρονικής σάρωσης (SEM) είναι μια τεχνική για τη σάρωση υλικών στην κλίμακα μικρο ή νάνο. Το μικροσκόπιο ηλεκτρονικής σάρωσης παράγει εικόνες “χτυπώντας” το δείγμα με μια ακτίνα από ηλεκτρόνια. Η ακτίνα καθώς σαρώνει ψηφιακά το δείγμα δημιουργεί δευτερογενή ηλεκτρόνια και ακτίνες X ενώ κάποια από τα αρχικά ηλεκτρόνια διασπείρονται. Η διασπορά αυτή μαζί με την δημιουργία των δευτερογενών ηλεκτρονίων χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μιας εικόνας της επιφάνειας του δείγματος (SEM). Οι ακτίνες X που δημιουργούνται από την αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων-υλικού ανιχνεύονται και μέσω μια αναλυτικής διαδικασίας που λέγεται φασματοσκοπία διασποράς ενέργεια ακτίνων X παράγεται ένα φάσμα. Επειδή κάθε στοιχείο έχει μοναδική ατομική κατασκευή θα παραχθεί και μοναδικό φάσμα για κάθε υλικό και με αυτόν τον τρόπο θα μπορέσουμε να εξάγουμε τα χημικά χαρακτηριστικά του υλικού(EDS).Άρα η SEM μας παρέχει πληροφορίες σχετικά με την μορφολογία και την τοπογραφία της επιφάνειας του δείγματος ενώ η EDS βοηθάει στην χημική αναγνώριση του υλικού (Girao et al.2017)

5.4.4. Pyr-GC-MS

Πρόκειται για μια καταστρεπτική τεχνική η οποία χρησιμοποιείται για την αναγνώριση της σύστασης του μικροπλαστικού. Το πολυμερές υφίσταται πυρόλυση η οποία οδηγεί στην σχάση των χημικών δεσμών και την δημιουργία ασταθών κομματιών μικρού μοριακού βάρους από το πολυμερές. Τα προϊόντα αυτής της θερμικής υποβάθμισης παγιδεύονται έτσι ώστε να εξεταστούν και να αναγώρισθούν, χρησιμοποιώντας της γνωστές βιβλιοθήκες φασμάτων, με βάση το φάσμα μάζας τους.



Εικόνα 5.1: Σχηματική απεικόνιση διαδικασίας εργαστηριακής επεξεργασίας δειγμάτων

6. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΥΧΗΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

6.1. Τύχη των μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον

Τα πλαστικά παρόλο που έχουν ξεκινήσει να παράγονται μαζικά μόλις εδώ και 70 χρόνια έχουν καταφέρει να δημιουργούν προβλήματα σε χερσαία και υδάτινα περιβάλλοντα σε παγκόσμια κλίμακα. Αυτό ισχύει εξίσου και για τα μικροπλαστικά τα οποία έχουν βρεθεί σε παραλίες (Browne,2011), στο υπέδαφος, σε ποτάμια και σε εκβολές ποταμών (Sadri and Thompson, 2014,Browne et al., 2011), σε επιφανειακά νερά (Cozar et al., 2014), σε παράκτια νερά (Ng and Obbard, 2006) και κατά μήκος της υδάτινης στήλης (Lattin et al., 2004). Τα μικροπλαστικά όταν αποβάλλονται στο υδάτινο περιβάλλον παγιδεύονται από θαλάσσια ρεύματα και μεταφέρονται σε κεντρικά σημεία ωκεανών και θαλασσών (Law et al., 2010). Οι θαλάσσιες σπείρες παίζουν σημαντικό ρόλο στη συγκέντρωση μικροπλαστικών καθώς η κυκλική κίνηση των ρευμάτων τους παγιδεύουν τα μικροπλαστικά και τα μεταφέρουν σε κεντρικές θαλάσσιες περιοχές (Karl 1999).

Η τύχη των μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον καθορίζεται από γεωφυσικές διαδικασίες στις οποίες περιλαμβάνονται η βύθιση των πλαστικών με μεγαλύτερη πυκνότητα από το νερό, η βιο-αποδόμηση, η φωτο-αποδόμηση, η χημική υποβάθμιση, η μηχανική απόξεση και η ανάμιξη των υδάτων μεταξύ των επιφανειακών και των μεσαίων στρωμάτων στους ωκεανούς, διαδικασίες οι οποίες δεν έχουν κανατοηθεί πλήρως. Η κατανόηση της διανομής των μικροπλαστικών μεταξύ διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών, μεταξύ ανοικτών και κλειστών θαλασσών, μεταξύ επιφανειακών, μεσαίων νερών και βενθικών περιβάλλοντων καθώς και η κίνηση τους κατακόρυφα και οριζόντια μέσα στους ωκεανούς είναι πολύ σημαντική προκειμένου να εξακριβώσουμε τις επιδράσεις της ρύπανσης στους θαλάσσιους οργανισμούς και στο περιβάλλον καθώς και για να μπορέσουμε να την ελέγξουμε (GESAMP, 2015).

Κοινοί τύποι μικροπλαστικών που αποτελούνται από υψηλής ή χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE-LDPE) και προπυλένιο (PP) αποσυντίθενται με την επίδραση της

υπεριώδους ακτινοβολίας. Η διαδικασία της αποσύνθεσης επισπεύδεται από υψηλές θερμοκρασίες αλλά επιβραδύνεται από χαμηλές θερμοκρασίες, μικρά ποσοστά οξυγόνου, από κάλυψη με νερό ή οργανική ύλη που προσκολλάται στο πλαστικό (βιοσυσσώρευση) και γενικά από οτιδήποτε μειώνει την έκθεση του πλαστικού στην ακτινοβολία (Druis and Coors, 2016). Ως εκ τούτου, η φωτο-αποδόμηση των πλαστικών είναι πιο αποδοτική σε επιφάνειες παραλιών και λιγότερο αποτελεσματική σε μεγάλα βάθη ωκεανών και στο υπέδαφος (Andrady,2011; Barnes et al.,2009; Lambert et al,2014).

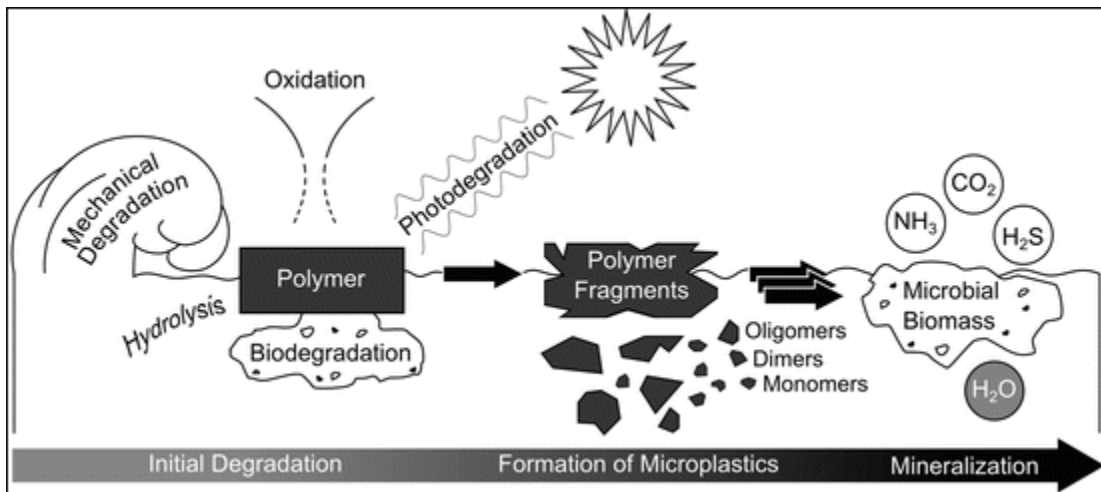
Η χημική υποβάθμιση είναι μια διαδικασία που εξαρτάται πλήρως από την θερμοκρασία. Αυτό σημαίνει ότι υψηλότερες θερμοκρασίες επισπεύδουν την διαδικασία της γήρανσης του υλικού με συνέπεια να πραγματοποιείται αλλαγή τόσο στην οπτική όσο και στη φυσική σύσταση των υλικών. Βέβαια αξίζει να σημειωθεί ότι κάτω από συνηθισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες η θερμοκρασία, στα υδάτινα συστήματα δεν είναι αρκετά υψηλή ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία της χημικής υποβάθμισης και ως εκ τούτου η γήρανση δεν είναι σημαντικός παράγοντας για το υδάτινο περιβάλλον(Anderson et al.,1961; McNeill and Leiper,1985).

Ελάχιστα πλαστικά του υδάτινου περιβάλλοντος είναι αυτά που περνάνε όλα τα στάδια της διάσπασης ή της πλήρους μετατροπής τους σε μεθάνιο ή διοξείδιο του άνθρακα. Τα πλαστικά αυτά αποτελούνται από αλειφατικό πολυεστέρα ή βιο-πολυμερή, όμως το κόστος παραγωγής τους είναι υψηλό και αποφεύγονται (GESAMP, 2015). Τα περισσότερα, κοινής χρήσεως, πλαστικά αποτελούνται από πολυμερή τα οποία κατά ένα βαθμό και κάτω από τις συνήθεις περιβαλλοντικές συνθήκες είναι μη βιοδιασπώμενα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ακόμα και αν το πλαστικό διασπασθεί και δημιουργηθούν μικρότερα κομμάτια πάλι θα αποτελούνται από πολυμερή με μέσο μοριακό βάρος χιλιάδων γραμμαρίων ανά mol. Η ορυκτοποίηση των πολυμερών αυτών είναι μια πολύ αργή διαδικασία γεγονός που καθιστά την διάρκεια ζωής τους σε εκατοντάδες χρόνια (Moore C.J., 2008). Για παράδειγμα, έρευνα που διεξήχθη από τους Sudhakar et al., (2007), έδειξε ότι φύλλα από LDPE, HDPE και PP τα οποία είχαν

εισέλθει στο θαλάσσιο περιβάλλον έχασαν μόλις το 1.5-2.5%, 0.5-0.8%, 0.5-0.6% αντίστοιχα, από το αρχικό τους βάρος σε διάρκεια έξι μηνών.

Η μηχανική απόξεση είναι η διαδικασία η οποία προκαλείται από ανέμους, κύματα, θαλάσσια ρεύματα, ζωϊκές και ανθρωπογενείς δραστηριότητες και έχει ως αποτέλεσμα το πλαστικό να σπάσει σε μικρότερα κομμάτια. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως αποσάρθρωση και συντελείται κυρίως σε πλαστικά που επιπλέουν στο νερό ή βρίσκονται στην επιφάνεια των παραλιών και λιγότερο σε πλαστικά του πυθμένα της θάλασσας και του υπεδάφους (Ogunola and Palanisami, 2016).

Στην εικόνα 6.1 παρουσιάζονται οι διαδικασίες και οι οδοί μετατροπής του πολυμερούς σε μικροπλαστικό μέχρι το στάδιο της ορυκτοποίησης του.



Εικόνα 6.1:Κύριες οδοί υποβάθμισης συνθετικών πολυμερών στο υδάτινο περιβάλλον και διαδικασίες υποβάθμισης του (Πηγή: Klein et al., 2018).

6.2. Διασπορά και μεταφορά μικροπλαστικών

Η διασπορά των μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον εξαρτάται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από την πηγή εισόδου, για τον λόγο αυτό ο προσδιορισμός των πηγών των μικροπλαστικών μπορεί να μας βοηθήσει στο να πραγματοποιηθούν ακριβέστερες εκτιμήσεις των ποσοτήτων των πλαστικών που εισέρχονται στον υδάτινο περιβάλλον

καθώς και να αναγνωρισθούν τα πιθανά σημεία υψηλών συγκεντρώσεων ώστε να ληφθούν τα καταλληλότερα μέτρα για τη μείωση των εισροών (GESAMP, 2015).

Μετά την εισοδό τους στο περιβάλλον, τα μικροπλαστικά, μπορούν να κινηθούν μέσα σε αυτό με τρεις κυρίως τρόπους, μέσω αέρα, μέσω της απορροής από τη στεριά όταν υπάρχει έντονη βροχόπτωση και μέσω των γλυκών νερών και της θάλασσας (Lambert et al., 2014). Οι ποταμοί μεταφέρουν αρκετά μεγάλες ποσότητες μικροπλαστικών στους ωκεανούς αν και έρευνες με ποσοτικά δεδομένα είναι περιορισμένες (Hidalgo-Thiel, 2013; Lee et al., 2013). Η συμπεριφορά των μικροπλαστικών στον τρόπο με τον οποίο μεταφέρονται εξαρτάται από τις ιδιότητες του κάθε υλικού, από το μέγεθος τους και από φαινόμενα όπως η βιοσυσσώρευση και η αποσύνθεση.

6.2.1. Θαλάσσιο Περιβάλλον

Κύριοι παράγοντες για την μεταφορά και την διασπορά των μικροπλαστικών μέσα στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι η πυκνότητα τους η οποία καθορίζει εάν το σωματίδιο θα βυθιστεί ή όχι. Για τον λόγο αυτό πλαστικά με πυκνότητα μικρότερη από την πυκνότητα του αλμυρού ή του γλυκού νερού οι οποίες είναι $1,03 \text{ g/cm}^3$ και $1,00 \text{ g/cm}^3$ αντίστοιχα έχουν μεγαλύτερη πλευστότητα ενώ αυτά που έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα βυθίζονται (Andrady, 2011). Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι η πυκνότητα των σωματιδίων μπορεί να αλλάξει και σωματίδια που θα περιμέναμε να κινούνται πάνω στο νερό στην πραγματικότητα βουλιάζουν. Αυτό συμβαίνει λόγω ενός φαινομένου που καλείται βιοσυσσώρευση. Καθώς αυξάνεται η υδροφοβικότητα του πλαστικού αυξάνεται και η απορροφητικότητα του σε οργανικές ουσίες, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο αποικίες από βακτήρια, φύκη και ασπόνδυλους μικροοργανισμούς (Andrady, 2011). Με αυτόν τον τρόπο η πυκνότητα τους μπορεί να μεγαλώσει όταν πάνω στο πλαστικό προσκολληθούν οργανισμοί και δημιουργήσουν αποικίες ή να μειωθεί εάν αυτές οι αποικίες απομακρυνθούν από το πλαστικό. (Barnes et al., 2009). Τα μικροπλαστικά συνήθως συσσωρεύονται στους ωκεανούς, σε κλειστές θάλασσες όπως η Μεσόγειος (Eriksen et al., 2013) ακόμα και σε ποταμούς και λίμνες.

6.2.1.1. Γλυκά Νερά

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, στην περίπτωση που η πυκνότητα του πλαστικού είναι μικρότερη από αυτήν του γλυκού νερού, τα μικροπλαστικά ακολουθούν την ροή του ποταμού και καταλήγουν στους ωκεανούς ή σε τεχνητές και φυσικές λίμνες (Lebreton et al., 2017). Στην περίπτωση που η πυκνότητα τους είναι μεγαλύτερη, τότε τα μικροπλαστικά είτε θα βουλιάξουν μέσα στο νερό ή θα συνεχίσουν να μεταφέρονται εάν η ροή του ποταμού είναι αρκετά ισχυρή. Το ακανόνιστο σχήμα στα μικροπλαστικά σηματοδοτεί την απόκλιση των υδροδυναμικών χαρακτηριστικών του από τις κλασσικές θεωρίες των σφαιρικών σωματιδίων (Chubarenko and Stepanova, 2017) άρα η κίνηση τους μέσα στο υδάτινο περιβάλλον είναι απρόβλεπτη. Σύμφωνα με τους Ballent et al.(2013) τα σωματίδια με πολύ ακανόνιστο σχήμα έχουν περισσότερες πιθανότητες να βυθιστούν από τα σωματίδια με σφαιρικό σχήμα.

Από τη στιγμή που τα σωματίδια βυθιστούν υπάρχουν δύο δρόμοι που μπορούν να ακολουθήσουν, ο ένας είναι να καθιζάνουν στον πυθμένα του ποταμού ή της λίμνης και ο άλλος είναι να αναδυθούν στην επιφάνεια με την βοήθεια υψηλών ταχυτήτων ροής.

6.2.1.2. Θάλασσες-Ωκεανοί

Οι έρευνες για την μεταφορά των μικροπλαστικών στις θάλασσες και τους ωκεανούς είναι πολύ πιο εκτεταμένες συγκριτικά με τις αντίστοιχες για τα γλυκά νερά. Μια έρευνα από τους Cozar et al. (2014) εκτίμησε ότι περίπου 7.000 – 35.000 τόνοι πλαστικού επιπλέουν σε ανοικτούς ωκεανούς ενώ αντίστοιχη έρευνα από τους Eriksen et al.(2014) εκτίμησε την ύπαρξη πάνω από πέντε τρισεκατομμυρίων κομματιών και πάνω από 250.000 τόνων πλαστικού στους ωκεανούς παγκοσμίως. Υπάρχει η εκτίμηση ότι από τη στιγμή που τα μικροπλαστικά εισέλθουν στον υδάτινο κόσμο θα καταλήξουν στους ωκεανούς. Το 70% των σκουπιδιών καθιζάνει στον πυθμένα των ωκεανών, το 15% επιπλέει στα επιφανειακά νερά και το υπόλοιπο 15% καταλήγει στις ακτές (UNEP,2005).

Παρόμοια συμπεριφορά όπως στα γλυκά νερά έχουν και στους ωκεανούς καθώς τα μικροπλαστικά με μεγαλύτερη πυκνότητα από αυτή του νερού ή με εγκατεστημένες

αποικίες μικροοργανισμών βουλιάζουν ενώ σωματίδια με μικρότερη πυκνότητα πλέουν και ταξιδεύουν στην επιφάνεια των ωκεανών. Το 2012 ο Engler εκτίμησε ότι περίπου το 50% από τα απόβλητα των πόλεων έχουν πυκνότητα ικανή για να βουλιάζουν.

Όσα μικροπλαστικά δεν βουλιάζουν μεταφέρονται, στις περιοχές από τις οποίες συλλέγονται, μέσω ρευμάτων και κυμάτων. Τα μεγάλα ρεύματα σε συνδυασμό με μικρότερα και με την επιρροή της δύναμης Coriolis σχηματίζουν πέντε μεγάλα θαλάσσια ρεύματα στα οποία συσσωρεύονται μικροπλαστικά (Arthur et al., 2009). Σε κάθε έναν από τους πέντε ωκεανούς της γης δημιουργείται με τέτοια περιοχή συσσώρευσης μικροπλαστικών, όμως μόνο στον Ατλαντικό και στον Ειρηνικό ωκεανό μένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα (van Sebille et al., 2012).

Οι αλλαγές θερμοκρασίας καθώς και οι εναλλαγές στη συγκέντρωση αλατιού στο νερό έχουν σαν αποτέλεσμα τα θαλάσσια ρεύματα να μεταφέρονται από την επιφάνεια προς το εσωτερικό μεταφέροντας ταυτόχρονα και τα μικροπλαστικά που επιπλέουν.

Όπως και στην περίπτωση των γλυκών νερών έτσι και στις θάλασσες φαινόμενα όπως η δημιουργία αποικιών, η αποσύνθεση και ο κατακερματισμός μεταβάλλουν την πυκνότητα των σωματιδίων και ως εκ τούτου και την ικανότητα τους να πλέουν ή να βυθίζονται. Μετά από μερικές ώρες παρουσίας των μικροπλαστικών στο αλμυρό νερό δημιουργούνται βιοφίλμ που αποτελούνται από βιοπολυμερή βακτήρια. (Urbanek et al., 2018). Η δημιουργία των βιοφίλμ είναι η αρχή μια ευρύτερης και εντονότερης αποικιοποίησης των σωματιδίων με σταδιακή αύξηση της πυκνότητας τους η οποία προκαλεί και την αύξηση κατακόρυφης ταχύτητας και επιτάχυνσης της βύθισης τους στον πυθμένα των θαλασσών. Για αρκετά χρόνια υπήρχε η πεποίθηση ότι όσο μεγαλύτερες γίνονταν οι αποικίες τόσο ταχύτερα έφταναν στον πυθμένα των ωκεανών τα μικροπλαστικά (Ye and Adrandy, 1991; Adrandy, 2011) όμως οι Kooi et al. (2017) έδειξαν ότι όσο βαθύτερα κινούνται τα μικροπλαστικά τόσο γρηγορότερα καταστρέφονται οι αποικίες λόγω της έλλειψης φωτός με αποτέλεσμα τα σωματίδια να γίνονται και πάλι ελαφρύτερα και να αναδύονται εκ νέου στην επιφάνεια.

Ρόλο στην οριζόντια μεταφορά των μικροπλαστικών παίζουν και οι θαλάσσιοι οργανισμοί οι οποίοι έχουν την ικανότητα να διατηρήσουν στο εσωτερικό τους ποσότητες μικροπλαστικών για αρκετό χρονικό διάστημα και να τα μεταφέρουν σε μεγάλες αποστάσεις. Χαρακτηριστικά, οργανισμοί που έχουν άμεση σχέση με το θαλάσσιο αλλά και με το χερσαίο περιβάλλον όπως τα θαλασσοπούλια και οι φώκιες μπορούν να μεταφέρουν τα μικροπλαστικά πάλι πίσω στη στεριά (GESAMP, 2015).

6.2.2. Χερσαίο Περιβάλλον

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά που συμβάλλουν στη μεταφορά των μικροπλαστικών στο χερσαίο περιβάλλον είναι οι ιδιότητες των σωματιδίων και του εδάφους. Το σχήμα των μικροπλαστικών επηρεάζει άμεσα το βαθμό με τον οποίο προσκολλάται το σωματίδιο στο έδαφος. Κάποιες έρευνες έδειξαν ότι μικροπλαστικά έχουν βρεθεί σε βάθος που φτάνει έως και τα 25 cm κυρίως λόγω έντονων βροχοπτώσεων, όργωμα του εδάφους και αστοχίες σε βόθρους (Zubris and Richards, 2005; Rillig et al., 2018)

Παρότι οι έρευνες πάνω στη μεταφορά των μικροπλαστικών στο χερσαίο περιβάλλον είναι πολύ περιορισμένες, έχουμε στοιχεία που δείχνουν ότι μικροπλαστικά ανιχνεύονται στο έδαφος ακόμα και 15 χρόνια μετά την τελευταία χρήση λυματολάσπης στην περιοχή. Επίσης τα μικροπλαστικά που έχουν εισέλθει στο έδαφος δεν αποσυντίθενται εύκολα, οι Otake et al.(1995) έδειξαν ότι μικροπλαστικά αποτελούμενα από πολυεστέρα και από PVC δεν έδειξαν κανένα σημάδι αποσύνθεσης ακόμα και 32 χρόνια μετά το θάψιμο τους στο έδαφος.

6.2.3. Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον

Τα μικροπλαστικά μπορούν να φτάσουν στην ατμόσφαιρα μέσω του ανέμου ο οποίος μπορεί να παρασύρει υπολείμματα λάστιχων που έχουν μείνει στο οδόστρωμα λόγω τριβής ή κομμάτια μπογιάς (Dris et al., 2016). Το κυριότερο χαρακτηριστικό της μεταφοράς αυτών των σωματιδίων μέσω του αέρα είναι η ικανότητα τους να ταξιδέψουν για πάρα πολύ μεγάλες αποστάσεις γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση μικροπλαστικών σε απομακρυσμένες λίμνες ακόμα και στην Αρκτική (Battulga et al., 2019; Bergmann et al., 2017). Επίσης μικροπλαστικά που έχουν

συγκεντρωθεί στην ατμόσφαιρα μπορούν να επιστρέψουν στο χερσαίο και θαλάσσιο περιβάλλον μέσω της βροχής και του χιονιού (Dris et al., 2016).

6.3. Συγκεντρώσεις μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για την συλλογή δειγμάτων καθώς και για την αναγνώριση και ποσοτικοποίηση των μικροπλαστικών στα δείγματα αυτά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι έρευνες που χρησιμοποιούν αυτές τις διαφορετικές μεθόδους να ανακοινώνουν αποτελέσματα σε διαφορετικές μονάδες μέτρησης γεγονός που καθιστά την σύγκριση μεταξύ των ερευνών προβληματική.

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτή η δυσκολία και να μπορέσουμε να συγκρίνουμε αποτελέσματα διαφορετικών ερευνών θα θεωρήσουμε ως δεδομένο ότι τα επιφανειακά δείγματα συλλέγονται στα πρώτα 20 cm του νερού και στη συνέχεια θα δημιουργήσουμε μια νέα μονάδα μέτρησης. Αρχικά θα μετατρέψουμε τα km^{-2} σε m^{-2} και ακολούθως θα πολλαπλασιάσουμε με 0,20 m για να μετατρέψουμε τις μονάδες σε m^{-3} .

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα ερευνών που αφορούν τις συγκεντρώσεις μικροπλαστικών σε ωκεανούς, θάλασσες και γλυκά νερά.

6.3.1. Μικροπλαστικά στους ωκεανούς

Η ανακάλυψη ότι τα μικροπλαστικά συσσωρεύονται στους ωκεανούς είναι ένα σχετικά πρόσφατο εύρημα (Barnes et al., 2009), παρόλο το ότι η συσσώρευση λαμβάνει χώρα εδώ και τουλάχιστον 40 χρόνια (Thompson et al., 2005). Το έτος 1975 εκτιμήθηκε ότι λόγω της αλιευτικής δραστηριότητας απορρίφθηκαν στους ωκεανούς παγκοσμίως 135,400 τόνοι πλαστικού αλιευτικού εξοπλισμού (GESAMP, 2015). Έκτεταμένες έρευνες έχουν σημειωθεί στους τρεις μεγάλους ωκεανούς, τον ειρηνικό, τον ατλαντικό και τον ινδικό ωκεανό.

6.3.1.1. Ειρηνικός Ωκεανός

Ο Ειρηνικός ωκεανός, η μεγαλύτερη υδάτινη λεκάνη του κόσμου, έχει απασχολήσει την επιστημονική κοινότητα παγκοσμίως με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλές έρευνες με αντικείμενο την ρύπανσή του από μικροπλαστικά. Οι έρευνες αυτές εστιάζουν κυρίως

σε δύο περιοχές, την Κεντρική Σπείρα του Βορείου Ειρηνικού που βρίσκεται στη δυτική ακτή της Καλιφόρνια στις Η.Π.Α και την Υποτροπική Σπείρα του Βορείου Ειρηνικού (Kaiser J., 2010;Goldstein et al., 2013). Συγκριτικά με την κεντρική, στην υποτροπική σπείρα οι συγκεντρώσεις μικροπλαστικών είναι κατά δύο τάξεις μεγέθους μικρότερες (Goldstein et al., 2013). Οι έρευνες αυτές περιέχονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 6.1).

Πίνακας 6.1:Συγκεντρώσεις μικροπλαστικών στον Ειρηνικό Ωκεανό

Τοποθεσία	Εξοπλισμός	Συγκέντρωση Σωματιδίων (μετρημένες τιμές)	Συγκέντρωση Μικροπλαστικών (αριθμός/m)	Πηγή
Θάλασσα Bering	Δίχτυ Δαχτυλίδι	80/km ²	0.000016	Day και Shaw (1987)
Θάλασσα Bering	Δίχτυ Neuston	1/km ²	0.0000002	Day et al. (1990)
Υποαρκτικός Β.Ε.	Δίχτυ Neuston	61.4/km ²	0.000012	Day et al. (1990)
Βορειοανατολικός Ειρηνικός Ωκεανός	Δίχτυ Πλαγκτόν	21,290 τόνοι (εκτίμηση)	-	Law et al. (2014)
Βορειοανατολικός Ειρηνικός Ωκεανός	Δίχτυ Manta	279/m ³		Desforges et al. (2014)
Κεντρική Σπείρα	Δίχτυ Manta	334,271/km ²	2.23	Moore et al. (2001)

Κεντρική Σπείρα	Δίχτυ Manta	85.184/km ²	0.017	Carson et al. (2013)
Υποτροπική Σπείρα	Δίχτυ πλαγκτον Δίχτυ Neuston Δίχτυ Manta	0.116/m ³ (Μέσος όρος)	0,12	Goldstein et al. (2012)
Υποτροπική Σπείρα	Δίχτυ Neuston Δίχτυ Manta	678.000/km ²	0.1356	Lebreton et al. (2018)
Νότια Καλιφόρνια	Δίχτυ Manta	0,011-0,033/ m ³ (μέσος όρος)	0,011-0,033	Gilfillan et al. (2009)
Κόλπος Σάντα Μόνικα	Δίχτυ Manta	3.92/m ³	3.92	Lattin et al. (2004)
Κόλπος Σάντα Μόνικα	Δίχτυ Manta	7.25/m ³	7.25	Moore et al. (2002)
Υποτροπική Σπείρα Β.Ε.	Δίχτυ Δαχτυλίδι	96.100/km ²	0.019	Day and Shaw (1987)
Υποτροπική Σπείρα Β.Ε.	Δίχτυ Δαχτυλίδι Δίχτυ Neuston	535,1/km ²	0.00011	Day et al. (1990)
Υποτροπική Σπείρα Β.Ε.	Δίχτυ Manta	0.02-0.45/m ²	0.0042-0.089	Goldstein et al.

				(2013)
Ιαπωνία	Δίκτυ Δαχτυλίδι Δίκτυ Neuston	128.2/km ²	0.000026	Day et al. (1990)
Εκβολές Γιανκτσε	Δίκτυ Neuston	4.137,3/m ³	4137,3	Zhao et al. (2014)
Θάλασσα Νοτίου Κορέας	Δειγματοληψία χύδην Δίκτυ Manta	16.000/m ³	16.000	Song et al. (2014)
Υποτροπική Σπείρα N.E.	Δίκτυ Manta	26.898/km ²	0.0054	Eriksen et al. (2013)
Αυστραλιανή Ακτή	Δίκτυ Manta Δίκτυ Neuston	4.256,3/km ²	0.00085	Reisser et al. (2013)

(Αποτελέσματα ερευνών τα οποία δεν δημοσιεύθηκαν σε μικροπλαστικά ανά m³ μετατράπηκαν ως εξής: Τα km⁻² σε m⁻² πολλαπλασιάζοντας με 10⁻⁶ και εν συνεχεία τα m⁻² σε m⁻³ πολλαπλασιάζοντας με 0,20. Τα 20 cm προσομοιάζουν το σύνθηρες βάθος δειγματοληψίας σε επιφανιακά νερά).

6.3.1.2. Ατλαντικός Ωκεανός

Οι έρευνες που έχουν διεξαχθεί στον Ατλαντικό ωκεανό (Πίνακας 6.2) μπορεί να μην είναι τόσο εκτεταμένες όσο στον Ειρηνικό αλλά κάποιες από αυτές παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια στον χρόνο. Από τις έρευνες των (Law et al.,2010; Moret-Ferguson et al., 2010) προέκυψε η παρουσία μεγάλης σε κλίμακα ζωνής σύγκλισης στην

σπείρα του βορείου Ατλαντικού η οποία δημιουργείται από τα επιφανειακά ρεύματα ανέμων.

Πίνακας 6.2: Συγκεντρώσεις μικροπλαστικών στον Ατλαντικό Ωκεανό

Τοποθεσία	Εξοπλισμός	Συγκέντρωση Σωματιδίων (μετρημένες τιμές)	Συγκέντρωση Μικροπλαστικών (αριθμός/m ³)	Πηγή
Σπείρα Βορείου Ατλαντικού	Δίχτυ Πλαγκτόν	20.328/km ²	0.0041	Law et al. (2010)
Βόρειος Ατλαντικός	Καταγραφέα ς Πλαγκτόν	1960-1980: 0,01/m ³ 1980-2000: 0.04/m ³	1960-1980: 0,01 m ⁻³ 1980-2000: 0.04 m ⁻³	Thompson et al. (2004)
Βορειοανατολικός Ατλαντικός	Αντλίες	2.46 ± 2.43/m ³	2.46 ± 2.43	Lusher et al. (2014)
Βορειοανατολικός Ατλαντικός	Δίχτυ Neuston	490/km ²	0.00098	Wilber (1987)
Ωκεάνιος Πυθμένας Ατλαντικού (1176-4843m)	Δειγματολήπ της πυθμένα	0.5/25cm ²	-	VanCauwenb erghe et al. (2013)
Ωκεάνιος Πυθμένας Ατλαντικού (1000-3500m)	Δειγματολήπ της πυθμένα	13.4/50ml	-	Woodall et al. (2014)
Κόλπος του Μείν	Δίχτυ πλαγκτόν	153/ km ²	0.00031	Law et al. (2010)
Νεα Αγγλία, Η.Π.Α	Δίχτυ πλαγκτόν	0,00-2,58/m ³	0.00-2.58	Carpenter et al. (1972)

Δυτική ακτή Η.Π.Α.	Δίχτυ Neuston	2.773/km ²	0.00056	Colton et al. (1974)
Δυτική Θάλασσα Sargasso	Δίχτυ Neuston	3.537/km ²	0.00071	Carpenter and Smith (1972)
Καραϊβική	Δίχτυ Neuston	60.6-180/km ²	0.000012-0.000036	Colton et al. (1974)
Καραϊβική	Δίχτυ πλαγκτόν	1.414/km ²	0.00028	Law et al. (2010)
Ιρλανδία	Αντλίες	2.46/m ³	2.46	Lusher et al. (2014)
Αγγλικό Κανάλι, Ηνωμένο Βασίλειο	Δίχτυ πλαγκτόν	0,27/m ³	0,27	Cole et al. (2014)
Ακτή Πορτογαλία	Δίχτυ Neuston	0.02-0.036/m ³	0.02-0.036	Frias et al. (2014)
Αρχιπελάγοι Αγ.Πέτρου και Αγ.Παύλου, Βραζιλία	Δίχτυ πλαγκτόν	0,01/m ³	0.01	Ivar do Sul et al. (2013)
Ακρωτήριο Basin	Έλκυθο neuston	1.874,3/km ²	0.00037	Morris (1980)
Ακρωτήριο Province	Δίχτυ neuston	3.640/km ²	0.00073	Ryan (1988)
Βραζιλία	Δίχτυ manta	0.03/m ³	0.03	Ivar do Sul et al. (2014)
Βορειοδυτικός Ατλαντικός	Δίχτυ πλαγκτόν	0.01-14.1/m ³	0.01-14.1	Carpenter et al. (1972)

(Αποτελέσματα ερευνών τα οποία δεν δημοσιεύθηκαν σε μικροπλαστικά ανά m^3 μετατράπηκαν ως εξής: Τα km^{-2} σε m^{-2} πολλαπλασιάζοντας με 10^{-6} και εν συνεχεία τα m^{-2} σε m^{-3} πολλαπλασιάζοντας με 0,20. Τα 20 cm προσομοιάζουν το σύνηθες βάθος δειγματοληψίας σε επιφανιακά νερά).

6.3.1.3. Ινδικός Ωκεανός

Έρευνες που να αφορούν τις συγκεντρώσεις μικροπλαστικών στον Ινδικό ωκεανό είναι περιορισμένες και οι λίγες που υπάρχουν παρουσιάζουν έντονη ετερογένεια όσων αφορά τις μονάδες μέτρησης των αποτελεσμάτων τους γεγονός που δημιουργεί ακόμα μεγαλύτερο πρόβλημα στην προσπάθεια κατανόησης της κλίμακας του προβλήματος της ρύπανσης από μικροπλαστικά. Οι περισσότερες έρευνες που απεικονίζονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 6.3) είναι κομμάτι του ενημερωτικού δελτίου “International Pellet Watch” (Ogata et al., 2009). Τα δείγματα αυτά συλλέχθηκαν από αμμώδης παραλίες χρησιμοποιώντας καθαρά χέρια ή τσιμπήδες από ανοξείδωτο ατσάλι και στη συνέχεια στάλθηκαν αεροπορικώς στο εργαστήριο στο Τόκιο. Το γεγονός αυτό επισημαίνει την έλλειψη δεδομένων και την ανάγκη περαιτέρω έρευνας για την περιοχή αυτή.

Πίνακας 6.3: Συγκεντρώσεις μικροπλαστικών στον Ινδικό Ωκεανό

Τοποθεσία	Τύπος Δείγματος	Εξοπλισμός	Ποσότητα	Πηγή
Ναυπηγείο, Alang-sosiya, Ινδία	Θραύσματα	Φτυάρι από ανοξείδωτο ατσάλι	81 mg/kg	Reddy et al. (2006)
Μουμπάι, Ινδία	Σφαιρίδια	Τσιμπήδα από ανοξείδωτο ατσάλι	-	Ogata et al. (2009)
Σιγκαπούρη	Ίνες, Θραύσματα	Σπάτουλα από	36,8±23,6/kg	Mohamed Nor και

		ανοξειδωτο ατσάλι		Obbard (2014)
Lang Kawi, Penang και Borneo, Μαλαισία	Σφαιρίδια	Τσιμπήςδα από ανοξειδωτο ατσάλι	-	Ogata et al. (2009)
Rayong, Ταϊλάνδη	Σφαιρίδια	Τσιμπήςδα από ανοξειδωτο ατσάλι	-	Ogata et al. (2009)
Κόλπος τζακάρτα, Ινδονησία	Σφαιρίδια	Τσιμπήςδα από ανοξειδωτο ατσάλι	-	Ogata et al. (2009)
Μοζαμβίκη	Σφαιρίδια	Τσιμπήςδα από ανοξειδωτο ατσάλι	-	Ogata et al. (2009)
Κόλπος του Ομάν	Σφαιρίδια	Χέρια	>50-200/m ²	Khordagui και abu-Hilal (1994)
Αραβικός Κόλπος	Σφαιρίδια	Χέρια	>50- 80.000/m ²	Khordagui και abu-Hilal (1994)

6.3.1.4. Μικροπλαστικά στον Αρκτικό Ωκεανό και στην Ανταρκτική.

Έρευνες που να αφορούν συγκεκριμένα τις συγκεντρώσεις μικροπλαστικών στις πολικές περιοχές με επί τόπου δειγματοληψία από τον αρκτικό ωκεανό ή την

ανταρκτική δεν υπήρξαν πριν το 2014. Το 2010 έγινε μια προσπάθεια από τους Zarfl και Mathies (2010) να υπολογιστεί η πλαστική ροή η οποία υπολογίστηκε μεταξύ 62.000 και 105.000 τόνους ανά έτος. Λόγω της πολύ μικρότερης τάξης μεγέθους πλαστικής ροής συγκριτικά με τους υπόλοιπους ωκεανούς και θάλασσες έφτασαν σε συμπέρασμα ότι οι συγκεντρώσεις είναι αμελητέες και δεν υπάρχει ζήτημα ρύπανσης. Το 2014 όμως σε έρευνα των Obbard et al., (2014) μετά από απευθείας δειγματοληψία σε απομακρυσμένες περιοχές του αρκτικού ωκεανού παρατηρήθηκε συγκέντρωση που κυμαίνονταν από 38-234 μικροπλαστικά ανά m^3 καταρρίπτοντας με αυτόν τον τρόπο την πεποίθηση ότι ο αρκτικός ωκεανός είναι ασφαλής από τη ρύπανση.

6.3.2. Μικροπλαστικά στις Θάλασσες

6.3.2.1. Μικροπλαστικά σε Ευρωπαϊκές Θάλασσες και στη Μεσόγειο Θάλασσα

Παρά το γεγονός ότι η Μεσόγειος θάλασσα είναι μια κλειστή υδάτινη λεκάνη δεν είναι απελευθερωμένη από το περιβαλλοντικό πρόβλημα της ρύπανσης από μικροπλαστικά. Τα επίπεδα ρύπανσης της βορειοδυτικής μεσογείου πλησιάζουν αυτά της κεντρικής σπείρας του βορείου ειρηνικού ωκεανού (0.27 σωματίδια ανά m^{-3} , Collignon et al., 2012) αλλά ακόμα και περιοχές απομακρυσμένες από σημεία παραγωγής μικροπλαστικών έχουν εξίσου υψηλές συγκεντρώσεις (0.15 σωματίδια ανά m^{-3} , De Lucia et al., 2014). Η ένταση του ανέμου είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την κατανομή των μικροπλαστικών γεγονός που μπορεί να επηρεάσει και τα αποτελέσματα των ερευνών καθώς ανακατατάσσει τα σωματίδια των ανώτερων στρώσεων νερού με συνέπεια να αποκλείονται από την δειγματοληψία (Collignon et al., 2012). Ακολουθεί πίνακας με τις συγκεντρώσεις μικροπλαστικών σε Ευρωπαϊκές Θάλασσες και στη Μεσόγειο Θάλασσα (Πίνακας 6.4).

Πίνακας 6.4: Συγκεντρώσεις μικροπλαστικών στις Ευρωπαϊκές Θάλασσες και στη Μεσόγειο Θάλασσα.

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)	Δειγματολείπτης πυθμένα	13,4/50mL	-	Woodall et al. (2014)
Πυθμένας Μεσογείου (1176-4843m)	Δειγματολείπτης πυθμένα	0,5/25cm ²	-	VanCauwenberghe et al. (2013)
Ιταλία (Μεσόγειος)	Δίχτυ Neuston	1.25/m ²	0.25	Suaris 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 και 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 και Dounas (1998)
Δυτική Μεσόγειος, Λυγυρική 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	Δίχτυ Manta	147.500/Km ²	0.0295	Ruiz-

Θάλασσα				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	Guyen 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)

(Αποτελέσματα ερευνών τα οποία δεν δημοσιεύθηκαν σε μικροπλαστικά ανά m^3 μετατράπηκαν ως εξής: Τα km^{-2} σε m^{-2} πολλαπλασιάζοντας με 10^{-6} και εν συνεχεία τα m^{-2} σε m^{-3} πολλαπλασιάζοντας με 0,20. Τα 20 cm προσομοιάζουν το σύνθητες βάθος δειγματοληψίας σε επιφανιακά νερά).

6.3.3. Μικροπλαστικά στα γλυκά νερά

Έχοντας ήδη αναλύσει το μέγεθος της ρύπανσης από μικροπλαστικά στις θάλασσες και στους ωκεανούς θα δούμε στη συνέχεια ότι η παρουσία μικροπλαστικών στα οικοσυστήματα γλυκού νερού όχι μόνο υφίσταται αλλά προσεγγίζει σε αυτή των ωκεανών (Wagner et al., 2014). Έχει εκτιμηθεί ότι τουλάχιστον το 80% των μικροπλαστικών που εισέρχονται στις λίμνες και τους ποταμούς προέρχονται από χερσαίες πηγές παραγωγής (Wagner et al., 2014). Αξιοποιώντας τα δεδομένα πληθυσμού οικονομικής κατάστασης και στερεών αποβλήτων σε 192 παράκτιες χώρες οι Jambek et al. (2015) εκίμησαν ότι 275 εκατομμύρια τόνοι παρήχθησαν το 2010 και από αυτούς 4,8 έως 12,7 τόνοι κατέληξαν στον ωκεανό. Μια σημαντική οδός για την είσοδο των μικροπλαστικών στους ωκεανούς είναι η μεταφορά τους μέσω των ποταμών (Rech et al., 2014; Moritt et al., 2014). Το 2018 οι Blettler et al. διεξήγαγαν μια έρευνα σχετικά με το πόσες μελέτες δημοσιεύθηκαν στις βάσεις δεδομένων των επιστημονικών περιοδικών και αφορούσαν την ρύπανση από μικροπλαστικά στο θαλάσσιο περιβάλλον και πόσες σε περιβάλλον γλυκού νερού. Αποδείχθηκε ότι 440 μελέτες, περίπου 87%, αφορούσαν στο θαλάσσιο περιβάλλον και μόλις 64, δηλαδή το 13%, στα γλυκά νερά γεγονός που δεν δικαιολογείται καθώς, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η ρύπανση των ποταμών και των λιμνών πλησιάζει σε επίπεδα αυτή του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Για τους λόγους αυτούς παράλληλα με τις θάλασσες και τους ωκεανούς είναι εξίσου σημαντικό να ερευνήσουμε και τη ρύπανση από μικροπλαστικά στα ποτάμια και τις λίμνες.

6.3.3.1. Ποτάμια

Μέχρι σήμερα οι έρευνες που έχουν διεξαχθεί και αφορούν τα μικροπλαστικά στους ποταμούς είναι περιορισμένες και εστιάζουν αποκλειστικά στους μεγάλους, ενώ για τους μικρούς τα δεδομένα είναι περιορισμένα (Πίνακας 6.5) (Lambert et al., 2014; Wagner et al., 2014).

Το 2010 οι Lechner et al. διεξήγαγαν μια έρευνα που αφορούσε στην συγκέντρωση μικροπλαστικών στα επιφανειακά στρώματα του ποταμού Δούναβη και η οποία είχε διάρκεια δύο ετών. Το 2010 εκτιμήθηκε ότι η μέση συγκέντρωση μικροπλαστικών ήταν 0.938 ανά m^3 ενώ το 2012 μόλις 0.055 ανά m^3 . Όπως αποδείχθηκε η διαφορά αυτή προέκυψε από διαρροές στους αγωγούς ενός εργοστασίου παραγωγής πλαστικών σε συνδυασμό με φαινόμενα έντονων βροχοπτώσεων οι οποίες μετέφεραν τα πλαστικά σφαιρίδια στον ποταμό (Ara 2014; Lechner et al., 2015).

Σύμφωνα με τη μελέτη των Lechner et al. ο Δούναβης αποβάλλει στην Μαύρη Θάλασσα 4.2 τόνους πλαστικού τη μέρα και 1.500 τόνους το χρόνο. Η συγκεκριμένη έρευνα ήταν η πρώτη που απέδειξε ότι τα μεγάλα ποτάμια είναι πολύ σημαντικοί φορείς μικροπλαστικών με σημαίνουσα συμμετοχή στη ρύπανση των υδάτων από μικροπλαστικά.

Στον ποταμό Ρήνο η συγκέντρωση μικροπλαστικών στα ανώτερα στρώματα εκτιμήθηκε σε 0,29 ανά m^3 (de Alencastro, 2014) και επιπλέον σε δείγματα που συλλέχθηκαν σε 11 τοποθεσίες σε μήκος 820 χιλιομέτρων κατά μήκος του ποταμού βρέθηκαν από 0,01 έως 12,9 μικροπλαστικά ανά λίτρο (Mani et al., 2015; Moore et al., 2011). Στον ποταμό Γιάνκτσε στην Κίνα οι συγκεντρώσεις μικροπλαστικών κυμαίνονταν μεταξύ 3.407.700 και 13.617.500 ανά km^2 (Zhang et al., 2015).

Πίνακας 6.5: Συγκεντρώσεις μικροπλαστικών σε παταμούς παγκοσμίως.

Τοποθεσία	Εξοπλισμός	Συγκέντρωση Σωματιδίων (Μετρημένες τιμές)	Συγκέντρωση Μικροπλαστικών (αριθμός/m ³)	Πηγή
Αστικοί Ποταμοί (Η.Π.Α.)	Δίχτυ Manta	Μέγιστη:12,932/m ³ Ελάχιστη:10/m ³	10-12,932	Moore et al. (2011)
Ποταμός Ρήνος (Γερμανία)	Δίχτυ Manta	Μέση:892.777/km ²	0.178	Mani et al. (2015)
Ποταμός Δούναβης (Αυστρία)	Δίχτυ	Μέση:0.3168/m ³	0.3168	Lechner et al. (2014)
Ποταμός Γιάνκτσε (Κίνα)	Δίχτυ Manta	Μέση:8.465.600/k m ²	1.69	Zhang et al. (2015)
Ποταμός Σηκουάνας (Γαλλία)	Δίχτυ Πλαγκτόν	3-106/m ³ (Δίχτυ πλαγκτόν)	3-106	Dris et al. (2015)
	Δίχτυ Manta	0.28-0.47 (Δίχτυ Manta)	0.28-0.47	
4 Ποταμοί Όρμου Τσέζαπικ (Η.Π.Α.)	-	Μέγιστη:297.927/K m ²	0.0596	Yonkos et al. (2014)
Ποταμός Άγιος Λαυρέντιος	Κόσκινο	13,759/m ²	2,752	Castaneda et al. (2014)

(Καναδάς)				
Ποταμός Τάμεσης (Ηνωμένο Βασίλειο)	Κουτάλα από ανοξειδωτο ατσάλι	Μέγιστο:660/kg	-	Horton et al. (2017a)
Ποταμός Λος Άντζελες	Δίχτυ χειρός Δίχτυ Manta	Συνολικός Αριθμός : 12.933/m ³ (1-4.75mm) 820/m ³ (>4.75mm)	- -	Moore et al. (2005)
Ποταμός San Gabriel	Δίχτυ χειρός Δίχτυ Manta	Συνολικός Αριθμός : 411/m ³ (1-4.75mm) 125/m ³ (>4.75mm)	- -	Moore et al. (2005)
Ποταμός Μάρνης (Γαλλία)	Δίχτυ Manta	100.6±99.9/m ³	100.6±99.9	Dris et al.(2018)
Ποταμός Pearl (Κίνα)	Δειγματολήπτης Πυθμένα	2724/m ³	2724	Lin et al. (2018)
29 Ποτάμια (Ιαπωνία)	Δίχτυ Πλαγκτόν	0,44/m ³	0.44	Kataoka et al. (2019)
Ποταμός Wei (Κίνα)	Αντλίες Κόσκινα	0.918g/L	-	Ding et al. (2019)
Ποταμοί	Δίχτυ Fyke	0.0153g/L	-	Slotmaek

Flemish				ers et al. (2019)
Ποταμοί Maribyrnong και Yarra (Αυστραλία)	Δίχτυ Manta	2.5803g/L	-	Kowalczyk et al. (2017)

(Αποτελέσματα ερευνών τα οποία δεν δημοσιεύθηκαν σε μικροπλαστικά ανά m^3 μετατράπηκαν ως εξής: Τα km^{-2} σε m^{-2} πολλαπλασιάζοντας με 10^{-6} και εν συνεχεία τα m^{-2} σε m^{-3} πολλαπλασιάζοντας με 0,20. Τα 20 cm προσομοιάζουν το σύννηθες βάθος δειγματοληψίας σε επιφανιακά νερά).

Από τον Πίνακα 6.5. συμπεραίνουμε ότι οι συγκεντρώσεις μικροπλαστικών παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση από περιοχή σε περιοχή γεγονός που δικαιολογείται από διάφορους παράγοντες όπως η πληθυσμιακή πυκνότητα, η οικονομική και αστική ανάπτυξη της περιοχής, υδρολογικά φαινόμενα και διαχείριση αποβλήτων (Eriksen et al., 2013; Free et al., 2014; Moore et al., 2011). Επίσης παρατηρούμε εκ νέου την έλλειψη μιας τυποποιημένης διαδικασίας για την συλλογή και ανάλυση των δεδομένων γεγονός που οδηγεί σε μη συγκρίσιμα αποτελέσματα μεταξύ των ερευνών.

6.3.3.2. Λίμνες

Οι συγκεντρώσεις μικροπλαστικών στις λίμνες (Πίνακας 6.6) είναι ανάλογες με την πληθυσμιακή κάλυψη και τις δραστηριότητες της περιοχής (Eerkes-Medrano et al., 2015) το οποίο αποδεικνύεται από το γεγονός ότι οι Eriksen et al., (2013) ανακοίνωσαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μετά από ανιχνεύσεις στην επιφάνεια της λίμνης Erie κοντά στα αστικά κέντρα συγκριτικά με τις λιγότερο κατοικημένες περιοχές κοντά στις λίμνες Huron και Superior. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Baldwin et al. (2016) μετά από έρευνα σε 29 εκβολές μεγάλων λιμνών. Ωστόσο, κάποιες απομακρυσμένες περιοχές με περιορισμένη οικονομική δραστηριότητα και μειωμένο πληθυσμό

παρουσίασαν υψηλές συγκεντρώσεις μικροπλαστικών οι οποίες προέκυψαν κυρίως λόγω κακής διαχείρισης αποβλήτων και έντονων υδρολογικών φαινομένων. Πιο συγκεκριμένα, στην ορεινή περιοχή της λίμνης Honsgol στη Μογγολία η συγκέντρωση έφτασε τα 44,435 μικροπλαστικά/km² (Free et al., 2014) ενώ σε αστικούς αλλά και μη αστικούς υδροκρίτες οι συγκεντρώσεις είναι υψηλότερες σε περιόδους έντονων καιρικών συνθηκών και χαμηλότερες σε ήπιες υδρολογικές συνθήκες αν και η συσχέτιση δεν έχει επιβεβαιωθεί στατιστικά (Baldwin et al., 2016; Mani et al., 2015; Yonkos et al., 2014).

Πίνακας 6.6: Συγκεντρώσεις μικροπλαστικών σε λίμνες παγκοσμίως

Τοποθεσία	Εξοπλισμός	Συγκέντρωση Σωματιδίων (Μετρημένες τιμές)	Συγκέντρωση Μικροπλαστικών (αριθμός/m ³)	Πηγή
Λίμνες Laurentian (Καναδάς)	Δίκτυ Neuston	43.000-466.000 km ²	0.0086-0.0932	Eriksen et al. (2013)
Λίμνη Poyang (Κίνα)	Δειγματολήπτης Πυθμένα (Van Veen) Κόσκινο	0.2034 g/L	-	Yuan et al. (2019)
Λίμνη Winnipeg (Καναδάς)	Δίκτυ Manta	193.240±115.567/km ²	0.0386±0.0231	Anderson et al. (2017)
Λίμνη Vembanad (Ινδία)	Δειγματολήπτης Πυθμένα (Van Veen) Κόσκινο	252.80±25.76/m ²	-	Struthy and Ramasamy (2017)
Απομονωμένες Λίμνες στο	Φτυάρι	0.5067 g/L	-	Zhang et al.

Οροπέδιο του Θιβέτ (Κίνα)				(2016)
Λίμνες Chiusi και Bolsena (Ιταλία)	Δίχτυ Manta	2,765/m ³	2,765	Fischer et al. (2016)
Λίμνη Taihu (Κίνα)	Δίχτυ πλαγκτόν Γυάλλινα Μπουκάλια Ατσάλινος Δειγματολήπτης Δειγματολήπτης Peterson	14,6/L (Επιφανιακά νερά) 122,8/L (Ιζημα)	- -	Su et al. (2016)
Λίμνη Honsgol (Μογγολία)	Δίχτυ Manta	20.264/km ²	0.00405	Free et al. (2014)
Λίμνη Garda (Ιταλία)	Σχάρα	108-1.108/km ²	0.0000216- 0.0002216	Imhof et al. (2013)
Λίμνη Geneva (Αυστρία)	Δίχτυ Manta	48.146/km ²	0,096	Faure et al. (2012)
Λίμνη Huron (Η.Π.Α. και Καναδας)	Σπάτουλα από ανοξειδωτο ατσάλι	3.209/85m ²	7.55	Zbyszews ki and Corcoran (2011)
Λίμνη Dongting (Κίνα)	Αντλίες Κόσκινα	1.191,7 /m ³	1.191,7	Wang et al. (2018)
Λίμνη Hong	Αντλίες	2.282,5 /m ³	2.282,5	Wang et

(Κίνα)	Κόσκινα			al. (2018)
29 Εκβολές Μεγάλων Λιμνών (Η.Π.Α.)	-	1,9/m ³	1,9	Baldwin et al. (2016)

(Αποτελέσματα ερευνών τα οποία δεν δημοσιεύθηκαν σε μικροπλαστικά ανά m³ μετατράπηκαν ως εξής: Τα km⁻² σε m⁻² πολλαπλασιάζοντας με 10⁻⁶ και εν συνεχεία τα m⁻² σε m⁻³ πολλαπλασιάζοντας με 0,20. Τα 20 cm προσομοιάζουν το σύνηθες βάθος δειγματοληψίας σε επιφανιακά νερά).

Αξίζει να σημειωθεί ότι για ακόμη μια φορά η έλλειψη τυποποιημένης διαδικασίας έρευνας για τις συγκεντρώσεις μικροπλαστικών δεν επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ των ερευνών και ως εκ τούτου μια πιο ρεαλιστική και ορθή εικόνα της κατάστασης. Στην έρευνα που χρησιμοποιήθηκαν αντλίες για τη δειγματοληψία (Wang et al., 2018) παρουσιάζονται συγκεντρώσεις (1.191,7 και 2.282,5) πολλών τάξεων μεγέθους μεγαλύτερες από έρευνες που χρησιμοποίησαν άλλα μέσα (Faure et al., 2012; Imhof et al., 2013). Λόγω, λοιπόν, αυτής της διαφορετικής προσέγγισης μεταξύ των ερευνών δεν μπορούμε να συμπεράνουμε εάν οι λίμνες Hong και Dongting έχουν όντως τόσο μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μικροπλαστικών από τις λίμνες Geneva και Grada ή εάν στις δεύτερες έχουν υποεκτιμηθεί κατά πολύ οι συγκεντρώσεις.

7. ΘΕΣΜΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η ρύπανση του υδάτινου περιβάλλοντος από μικροπλαστικά είναι ένα παγκόσμιο περιβαλλοντικό πρόβλημα καθώς επηρεάζει ωκεανούς, θάλασσες, λίμνες, ποταμούς και ακτές σε όλο τον κόσμο. Τα μικροπλαστικά έχουν τεθεί στον δημόσιο διάλογο αρκετά χρόνια τώρα με όλο και αυξανόμενο ενδιαφέρον. Αυτό έχει οδηγήσει τους νομοθέτες και τις πολιτείες να δημιουργήσουν εξειδικευμένα όργανα, σε παγκόσμιο αλλά και εθνικό επίπεδο καθώς και να λάβουν μέτρα αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος.

7.1. Προγράμματα αντιμετώπισης της ρύπανσης από μικροπλαστικά

7.1.1. Παγκόσμιο επίπεδο

Συνέδριο Ηνωμένων Εθνών για το Δίκαιο της Θάλασσας (UNCLOS)

Το UNCLOS είναι μια από τις σημαντικότερες διακρατικές συμφωνίες σχετικά με την εκμετάλλευση των ωκεανών καθώς μέσα από τα 320 άρθρα και 9 παραρτήματά της καθιέρωσε για πρώτη φορά ένα καθεστώς για το δίκαιο της θάλασσας. Αν και δεν γίνεται συγκεκριμένη αναφορά στα μικροπλαστικά παράλαυτα τα άρθρα 192-237 είναι αφιερωμένα στην προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Παράρτημα V MARPOL

Η διεθνής σύμβαση για την αντιμετώπιση της ρύπανσης από τα πλοία θεσπίστηκε το 1973 και υπογράφηκε από 122 κράτη. Το παράρτημα V που αναθεωρήθηκε το 2011 και τέθηκε σε ισχύ το 2013 περιέχει ένα πλαίσιο ελέγχου των απορριμάτων που προέρχονται από τα πλοία. Επιβάλλει μια γενική απαγόρευση στην απόρριψη σκουπιδιών από τα πλοία εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων που αφορούν το είδος του απορρίμματος, το σημείο απόρριψης, αποστάσεις από την ακτή κ.α.

EU MSFD

Η οδηγία-πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης του 2008 είναι μια οδηγία που αφορά στην προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος για την Ευρωπαϊκή κοινότητα. Η οδηγία αυτή

εδραιώνει ένα πλαίσιο μέσα στο οποίο κάθε κράτος-μέλος είναι υποχρεωμένο να κάνει τις απαραίτητες ενέργειες για να βελτιώσει ή να διατηρήσει ένα καλό περιβαλλοντικό επίπεδο (GES) όσον αφορά το θαλάσσιο περιβάλλον. Τα θαλάσσια απορρίματα μέσα στα οποία περιλαμβάνονται και τα πλαστικά και άρα και τα μικροπλαστικά είναι ένας από τους 11 ποιοτικούς παράγοντες που καθορίζουν το περιβαλλοντικό στάτους της κάθε χώρας (Chen CL, 2015).

7.1.2. Εθνικό επίπεδο

Πρόγραμμα θαλάσσιων απορριμάτων Ηνωμένων Πολιτειών (MDP)

Το πρόγραμμα αυτό ασχολείται με την ανεύρεση και λύση των προβλημάτων που προκύπτουν από τους θαλάσσιους ρύπους με στόχο την προστασία και διατήρηση του θαλάσσιου περιβάλλοντος, των φυσικών πόρων, της οικονομίας και των ανθρώπων. Το πρόγραμμα αυτό χρηματοδοτεί ενέργειες και υπηρεσίες που ασχολούνται με την καθαριότητα του περιβάλλοντος και παρέχει τεχνικές συμβουλές στα κράτη όλης της Καραϊβικής (Chen CL, 2015). Ένα από τα προγράμματα που χρηματοδοτεί είναι και το Fishing for Energy μέσω του οποίου μέχρι τον Μάιο του 2014 είχαν αποσυρθεί από τη θάλασσα περισσότερα από 1.1 κιλά αλιευτικού εξοπλισμού τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή ενέργειας 183 κατοικιών για ένα έτος (NFWF, 2014)

Εθνικό σχέδιο για τη διαχείριση των θαλάσσιων απορριμάτων (Νότια Κορέα)

Το σχέδιο αυτό εφαρμόστηκε την περίοδο 2009-2013 και έθεσε δύο ποσοστικούς στόχους : τη μείωση των απορριμάτων που εισέρχονται στον ωκεανό από 159.800 τόνους σε 127.840 τόνους ετησίως και την αύξηση του ρυθμού συλλογής τους από 34% σε 45% . Το πρόγραμμα αυτό παρά την χρηματοδότηση των 45 δισεκατομμυρίων ευρώ δεν κατάφερε να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της θαλάσσιας ρύπανσης καθώς εστίασε στην συλλογή απορριμάτων που βρίσκονται ήδη στο θαλάσσιο περιβάλλον αντί να εστιάζει στην αποφυγή εισόδου τους στον ωκεανό (Jung και Song, 2013).

Νομοθεσία για τα απορρίματα των πλοίων (Ηνωμένο Βασίλειο)

Το Ηνωμένο Βασίλειο είναι ένα από τα κράτη που υπέγραψαν τη διεθνή σύμβαση για την αντιμετώπιση της ρύπανσης των πλοίων. Με βάση το “Annex V” θεσπίστηκε ο νόμος του 2003 για τα εμπορικά πλοία και τα αλιευτικά σκάφη και ο νόμος του 2008 για τις εμπορικές μεταφορές. Ο πρώτος νόμος υποχρεώνει όλα τα λιμάνια και τις μαρίνες να παρέχουν εγκαταστάσεις συλλογής απορριμάτων, ενώ ο δεύτερος περιέχει άρθρα που αφορούν στη διαχείριση απορριμάτων και των βιβλίων καταγραφής τους και στην απαγόρευση απόρριψης σκουπιδιών (Chen CL,2015).

Εθνική στρατηγική θαλάσσιας ρύπανσης (Σκωτία)

Η Σκωτία με γνώμονα την οδηγία-πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την προστασία τους θαλάσσιου περιβάλλοντος (MSFD), καθιέρωσε την Στρατηγική Θαλάσσιας Ρύπανσης και την Εθνική Στρατηγική Ρύπανσης ώστε να αντιμετωπίσει και να διαχειριστεί τα απορρίματα τόσο στο χερσαίο όσο και στο παράκτιο και θαλάσσιο περιβάλλον. Οι στρατηγικές αυτές αφορούσαν την περίοδο 2012-2020 και στόχο είχαν τη μείωση της ρύπανσης μέσα από την ενημέρωση και εκπαίδευση των πολιτών, την κατασκευή υποδομών και την επιβολή προστίμων (The Scottish Government 2013).

7.2. Μέτρα και ρυθμίσεις αντιμετώπισης της ρύπανσης από μικροπλαστικά

7.2.1. Μέτρα Πρόληψης

Τα μέτρα αυτά έχουν στόχο να αποτρέψουν την παραγωγή των μικροπλαστικών ή να εμποδίσουν την είσοδο τους στον υδάτινο κόσμο. Τα μέτρα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν την μείωση των πηγών παραγωγής, την επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση, την ενεργειακή τους χρήση και την κατασκευή εγκαταστάσεων συγκέντρωσης μικροπλαστικών στα σημεία εισόδου τους στο περιβάλλον. Τέτοιες ενέργειες βρίσκονται ήδη σε ισχύ. Για παράδειγμα, οι συσκευασίες των προϊόντων είναι είτε επαναχρησιμοποιήσιμες είτε κατασκευάζονται από βιοδιασπώμενα υλικά. Ένα επιπλέον μέτρο που είχε σημαντικά αποτελέσματα στην μείωση των πλαστικών απορριμάτων είναι ο περιορισμός της χρήσης πλαστικών σακούλων.

Οι στρατηγικές πρόληψης είναι ο νούμερο ένα στόχος όσων αφορά την διαχείριση των αποβλήτων καθώς μέτρα όπως η ανακύκλωση, η επαναχρησιμοποίηση και η χρήση των πλαστικών για ενεργειακούς σκοπούς μειώνουν την παραγωγή απορριμάτων με μικρότερο κόστος και ρίσκο συγκριτικά με την επεξεργασία και διάθεση τους. (Cheremisinoff, 2013).

Υιοθετώντας αυτή τη λογική η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δημιουργήσει μια στρατηγική ιεραρχία, για την επεξεργασία των αποβλήτων, που καλείται 3-R και περιλαμβάνει τις εξής ενέργειες: Reduce, Reuse, Recycle (Μείωσε, Επαναχρησιμοποίησε, Ανακύκλωσε).

7.2.2. Μέτρα Περιορισμού

Τα μέτρα αυτά περιλαμβάνουν τρόπους απόρριψης των σκουπιδιών με τους οποίους μειώνεται η αρνητική επιρροή τους στο θαλάσσιο περιβάλλον. Τα μέτρα αυτά μπορεί να είναι σε μορφή νόμων και απαγορεύσεων απόρριψης συγκεκριμένων ειδών ρύπων, όπως πλαστικά, ή κανονισμοί που πρέπει να ακολουθούνται σχετικά με την απόσταση από τη στεριά, την σύσταση των αποβλήτων ή το είδος των απορριμάτων που πρόκειται να απορριφθούν (Chen CL, 2015).

7.2.3. Μέτρα Εξυγίανσης

Τα μέτρα εξυγίανσης στόχο έχουν την αφαίρεση μικροπλαστικών που βρίσκονται ήδη στο περιβάλλον. Οι καθαρισμοί που πραγματοποιούνται μέχρι σήμερα περιορίζονται στην απομάκρυνση, από ακτές και θάλασσα, πλαστικών αντικειμένων που είναι ορατά με το γυμνό μάτι. Για παράδειγμα ο καθαρισμός των ακτών αποτελεί ένα τέτοιο μέτρο όμως η αποδοτικότητα του είναι μικρή συγκριτικά με το χρόνο και το κόστος που απαιτεί για να υλοποιηθεί (Newman et al., 2015). Σημαντική είναι και η αξιοποίηση των ψαράδων της περιοχής οι οποίοι μέσα από οργανωμένες κρατικές ή τοπικές πρωτοβουλίες, κατά τη διάρκεια των αλιευτικών δραστηριοτήτων τους, απομακρύνουν κατεστραμμένο αλιευτικό εξοπλισμό και απορρίματα που βρίσκονται στη θάλασσα και τα εναποθέτουν σε σημεία συλλογής (Noh et al., 2010).

7.2.4. Νομοθετικά Μέτρα

Τόσο η εφαρμογή όσο και η επιβολή των νομοθετικών μέτρων είναι σημεία κλειδιά για την καταπολέμηση της θαλάσσιας ρύπανσης. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν νομοθετικά πλαίσια για την προστασία του περιβάλλοντος σε παγκόσμιο επίπεδο αυτά δεν εφαρμόζονται καθόλου ή δεν εφαρμόζονται με συνέπεια σε εθνικό επίπεδο. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι σε εθνικό επίπεδο υπάρχει έλλειψη εφαρμογής των μέτρων, μη επαρκή πρόστιμα ακόμα και έλλειψη σαφήνειας των νόμων. Για παράδειγμα η UNEP (2009) επεσήμανε ότι μόνο οι περιοχές της Καραϊβικής και του Βορειοδυτικού Ειρηνικού έχουν ξεκάθαρη νομοθεσία για την θαλάσσια ρύπανση.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της εργασίας είναι η διερεύνηση της τύχης των μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον με έμφαση στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η διερεύνηση πραγματοποιήθηκε μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης ενός μεγάλου αριθμού δημοσιεύσεων σχετικών με τις μεθόδους αναγνώρισης και ανάλυσης των μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον καθώς και των διεργασιών που συντελούνται σε αυτό, ενώ τέλος πραγματοποιήθηκε αποτύπωση των συγκεντρώσεων των μικροπλαστικών σε διάφορες υδάτινες περιοχές. Τα συμπεράσματα της εργασίας συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- ⇒ Αποτέλεσμα της ευρείας χρήσης των μικροπλαστικών είναι η συσσώρευση πρωτογενών και δευτερογενών μικροπλαστικών στον υδάτινο κόσμο μέσω διαφορετικών πηγών. Κυριότερο πρόβλημα αποτελούν τα δευτερογενή μικροπλαστικά τα οποία υπάρχουν ήδη στο περιβάλλον και λόγω των φυσικοχημικών τους χαρακτηριστικών βιοδιασπώνται με δυσκολία και δεν είναι εύκολη η απομάκρυνση τους με αποτέλεσμα ενώ τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει ενέργειες για την μείωση της χρήσης των πλαστικών, αυτό να μην αποτυπώνεται στις πρόσφατες καταγραφές της παρουσίας τους στο υδάτιν περιβάλλον στις οποίες σημειώνεται αύξηση.
- ⇒ Το ενδιαφέρον για το πρόβλημα της ρύπανσης του υδάτινου περιβάλλοντος με μικροπλαστικά έχει αυξηθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια με συνέπεια να δημιουργούνται νέες μέθοδοι συλλογής δειγμάτων και αναγνώρισης μικροπλαστικών αλλά και να εκσυγχρονίζονται οι ήδη υπάρχουσες. Αυτό δίνει την δυνατότητα για περισσότερες έρευνες, ακόμα και σε περιοχές που δεν υπήρχε τρόπος να μελετηθούν.
- ⇒ Οι κυριότερες μέθοδοι δειγματοληψίας που χρησιμοποιούν οι ερευνητές στις μελέτες είναι τα δίχτυα (manta, neuston, bongos, πλαγκτόν), οι αντλίες και οι δειγματολήπτες πυθμένα (Van Veen). Μετά το στάδιο της προεπεξεργασίας και του καθαρισμού του δείγματος ακολουθεί η αναγνώριση και ποσοτικοποίηση των μικροπλαστικών. Η ανάλυση αυτή υλοποιείται κυρίως με φασματοσκοπία FTIR και

RAMAN, με τη μέθοδο SEM-EDS και τη μέθοδο Pyr-GC/MS. Απαραίτητη προϋπόθεση προκειμένου να καταστεί δυνατή η ακριβής αξιολόγηση του προβλήματος και των κινδύνων που μπορεί να προκαλέσει τόσο στο υδάτινο περιβάλλον όσο και στον ανθρώπινο οργανισμό, είναι η βελτίωση των σύγχρονων μεθόδων ανάλυσης τόσο των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών των μικροπλαστικών όσο και της ποσότητάς τους. Εξίσου σημαντική είναι η διερεύνηση της κίνησης των διαφορετικών τύπων μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον έτσι ώστε να καταστεί δυνατός ο προσδιορισμός της τύχης τους μέσα σε αυτό.

⇒ Ένα σημαντικό πρόβλημα που παρατηρείται στο σύνολο των ερευνών είναι η μεγάλη ετερογένεια των αποτελεσμάτων τους γεγονός που οφείλεται σε δύο κυρίως παράγοντες. Πρώτον, δεν υπάρχει ένας παγκόσμια αποδεκτός ορισμός για το τι είναι μικροπλαστικό, ποιές είναι οι διαστάσεις του και ποια η σύσταση του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα έρευνες σε διαφορετικές χώρες ή ερευνητές από διαφορετικά ιδρύματα ή υπηρεσίες να χρησιμοποιούν διαφορετικά κριτήρια και ως εκ τούτου να οδηγούνται και σε διαφορετικά, μη συγκρίσιμα, αποτελέσματα. Επιπλέον δεν υπάρχει μια τυποποιημένη διαδικασία συλλογής, αναγνώρισης, ποσοτικοποίησης και αξιολόγησης των δειγμάτων που λαμβάνονται από το περιβάλλον. Με αυτόν τον τρόπο τα αποτελέσματα εξαρτώνται από τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί κατά τη συλλογή των δειγμάτων, από την μέθοδο αναγνώρισης στην οποία θα υποβληθούν και στο μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί για την ποσοτικοποίησή τους με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η σύγκριση μεταξύ των ερευνών.

⇒ Για τους λόγους αυτούς οι συγκεντρώσεις μικροπλαστικών σε ωκεανούς, θάλασσες, ποτάμια και λίμνες παρουσιάζουν μεγάλο εύρος τιμών. Για τον Ειρηνικό ωκεανό οι συγκεντρώσεις των τελευταίων ετών κυμαίνονται από 0.00085 (Αυστραλιανή ακτή) έως 16.000 (Νότια Κορέα) μικροπλαστικά ανά m^3 . Αντίστοιχα για τον Ατλαντικό ωκεανό η ελάχιστη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στην Καραϊβική ($0.00028/m^3$) και η μέγιστη στην Ιρλανδία ($2.46/m^3$) ενώ για τον Ινδικό ωκεανό δεν βρέθηκαν συγκρίσιμα αποτελέσματα. Στις θάλασσες της Ευρώπης και τη Μεσόγειο οι συγκεντρώσεις ξεκινούν από 0.0327 μικροπλαστικά/ m^3 (Αιγαίο-Θάλασσα Μέσης

Ανατολής) και φτάνουν μέχρι $102.000/m^3$ (Skagerrak, Σουηδία). Όσον αφορά τα ποτάμια μικρότερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε στους ποταμούς του όρμου Τσέζαπικ στις Η.Π.Α. ($0.0596/m^3$) και μεγαλύτερη στον ποταμό Pearl στην Κίνα ($2.724/m^3$). Η λίμνη Grada στην Ιταλία παρουσίασε την χαμηλότερη συγκέντρωση μικροπλαστικών ($0.0000216/m^3$) ενώ η μεγαλύτερη συγκέντρωση σημειώθηκε στη λίμνη Hong της Κίνας ($2.282,5/m^3$).

⇒ Παρολαυτά, με βάση τα δεδομένα που έχουμε συλλέξει μέχρι τώρα για τις ιδιαίτερες υψηλές συγκεντρώσεις των μικροπλαστικών σε όλες τις περιοχές του κόσμου από τις πιο πυκνοκατοικημένες μέχρι και τις πιο απομονωμένες αλλά και την εκτίμηση για αύξηση αυτών των συγκεντρώσεων λόγω του κατακερματισμού τους, την ανθεκτικότητά τους στις περιβαλλοντικές συνθήκες, την αφθονία πηγών παραγωγής τους, την ευκολία μετακίνησης τους από ένα μέσο σε άλλο και την ευρεία χρήση τους σε όλα τα στάδια της ανθρώπινης δραστηριότητας, γίνεται σαφής η αναγκαιότητα να εφαρμοστούν στρατηγικές διαχείρισης, τόσο σε νομοθετικό όσο και σε τεχνικό επίπεδο, φιλικές προς το περιβάλλον σε παγκόσμιο αλλά και εθνικό επίπεδο για να αποφευχθεί η υπέρβαση του μέγιστου ορίου συγκεντρώσεων πάνω από το οποίο το πρόβλημα θα μετατραπεί σε μη αναστρέψιμο.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anderson DA, Freeman ES (1961) The kinetics of the thermal degradation of polystyrene and polyethylene. *J Polym Sci* 54(159):253–260. doi:10.1002/pol.1961.1205415920
- Anderson, Philip & Warrack, Sarah & Langen, Victoria & Challis, Jonathan & Hanson, Mark & Rennie, Michael. (2017). Microplastic contamination in Lake Winnipeg, Canada. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*. 225. 223-231. 10.1016/j.envpol.2017.02.072.
- Andrady, A.L., 2011. Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1596–1605.
- Andrady, Anthony. (2017). The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin*. 119. 10.1016/j.marpolbul.2017.01.082..
- Apa (2014) Plastik in der Donau—Borealis verteidigt sich. *Salzburger Nachrichten*, 07 April 2014.
- Apa (2014) Vorwürfe gegen Borealis wegen Plastikmülls. *Salzburger Nachrichten*, 29 March 2014.
- Arthur, C. & Baker, Joel & Bamford, Holly. (2009). Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris. National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Memorandum NOS-OR&R-30.
- Azzarello MY, Van Vleet ES (1987) Marine birds and plastic pollution. *Marine Ecology Progress Series* 37: 295-303.
- 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.
- Baldwin, Austin & Corsi, Steven & Mason, Sherri. (2016). Plastic Debris in 29 Great Lakes Tributaries: Relations to Watershed Attributes and Hydrology. *Environmental science & technology*. 50. 10.1021/acs.est.6b02917.

- Ballent, Anika & Pando, S & Purser, Autun & Juliano, Manuela & Thomsen, Laurenz. (2013). Modelled transport of benthic marine microplastic pollution in the Nazaré Canyon. *Biogeosciences*. 10. 7957-7970. 10.5194/bg-10-7957-2013.
- Barnes DK, Galgani F, Thompson RC, Barlaz M (2009) Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos Trans RSoc Lond B* 364:1985–1998
- Barnes, David & Galgani, François & Thompson, Richard & Barlaz, Morton. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*. 364. 1985-98. 10.1098/rstb.2008.0205.
- Battulga, B., Kawahigashi, M., Oyuntsetseg, B., 2019. Distribution and composition of plastic debris along the river shore in the Selenga River basin in Mongolia. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 26 (14), 14059–14072. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04632-1>.
- Bergmann, Melanie & Peeken, I. & Beyer, B. & Krumpfen, Thomas & Primpke, Sebastian & Tekman, Mine B & Gerdtz, Gunnar. (2017). Vast Quantities of Microplastics in Arctic Sea Ice—A Prime Temporary Sink for Plastic Litter and a Medium of Transport. 10.1016/B978-0-12-812271-6.00073-9.
- Bertling, J., Hamann, L., Bertling, R., 2018. Kunststoffe in der Umwelt. <https://doi.org/10.24406/UMSICHT-N-497117>.
- Blettler, Martin & Abrial, Elie & Khan, Farhan & Sivri, Nüket & Espínola, Luis. (2018). Freshwater plastic pollution: Recognizing research biases and identifying knowledge gaps. *Water Research*. 143. 10.1016/j.watres.2018.06.015.
- Bouland AJ, White AE, Lonabaugh KP, Varian-Ramos CW, Cristol DA (2012) Female-biased offspring sex ratios in birds at a mercury-contaminated river. *J Avian Biol* 43: 244-251.
- Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., Thompson, R., 2011. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science & Technology* 45 (21), 9175–9179. <https://doi.org/10.1021/es201811s>.

- Carpenter EJ, Anderson SJ, Harvey GR, Miklas HP, Beck BB (1972) Polystyrene spherules in coastal waters. *Science* 178:749–750
- Carpenter EJ, Smith KL Jr (1972) Plastics on the Sargasso sea surface. *Science* 175:1240–1241
- Carr, Steve & Liu, Jin & Tesoro, Arnold. (2016). Transport and Fate of Microplastic Particles in Wastewater Treatment Plants. *Water Research*. 91. 10.1016/j.watres.2016.01.002.
- Carson, H. S. (2013). The incidence of plastic ingestion by fishes: From the prey's perspective.
- Castañeda RA, Avlijas S, Simard MA, Ricciardi A (2014) Microplastic pollution in St. Lawrence River sediments. *Can J Fish Aquat Sci* 71:1767–1771
- 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.
- Chubarenko, Irina & Stepanova, Natalia. (2017). Microplastics in sea coastal zone: Lessons learned from the Baltic amber. *Environmental Pollution*. 224.10.1016/j.envpol.2017.01.085.
- Claessens M, Van Cauwenberghe L, Vandegehuchte MB, Janssen CR (2013) New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. *Mar Pollut Bull* 70:227–233
- Cole, Matthew & Lindeque, Penelope & Halsband, Claudia & Galloway, Tamara. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review.. *Marine pollution bulletin*. 62. 2588-97. 10.1016/j.marpolbul.2011.09.025..
- Cole, Matthew & Webb, Hannah & Lindeque, Penelope & Fileman, Elaine & Halsband, Claudia & Galloway, Tamara. (2014). Isolation of microplastics in biota-rich seawater samples and marine organisms. *Scientific reports*. 4. 4528. 10.1038/srep04528.

- 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, J.H & Galgani, François & Collard, France & Goffart, Anne. (2013). Annual variation in neustonic micro- and meso-plastic particles and zooplankton in the Bay of Calvi (Mediterranean-Corsica). *Marine pollution bulletin*. 79. 10.1016/j.marpolbul.2013.11.023.
- Colton, J & Burns, B & Knapp, F. (1974). Plastic Particles in Surface Waters of the Northwestern Atlantic. *Science* (New York, N.Y.). 185. 491-7.10.1126/science.185.4150.491.
- Constant, Mel & Philippe, Kerhervé & Mino-Vercellio-Verollet, Morgan & Dumontier, Marc & Vidal, Anna & Canals, Miquel & Heussner, Serge. (2019). Beached microplastics in the Northwestern Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 142. 10.1016/j.marpolbul.2019.03.032.
- Costa, M., Ivar do Sul, J., Silva-Cavalcanti, J., Araújo, M., Spengler, Â., & Tourinho, P. (2010), On the importance of size of plastic fragments and pellets on the strandline: A snapshot of a Brazilian beach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 168, 299–304.
- Cózar, Andrés & Echevarría, Fidel & González-Gordillo, Juan & Irigoien, Xabier & Úbeda, Bárbara & Hernandez-Leon, Santiago & Palma, Alvaro & Navarro, Sandra & Lomas, Juan & Ruiz, Andrea & Fernández-de-Puelles, María & Duarte, Carlos. (2014). Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 111. 10.1073/pnas.1314705111.
- Cózar, Andrés. (2015). Plastic accumulation in the Mediterranean Sea. *PLoS ONE*. 10. e0121762.
- Day, Robert & Shaw, David. (1987). Patterns in the abundance of pelagic plastic and tar in the north Pacific Ocean, 1976–1985. *Marine Pollution Bulletin*. 18. 311-316. 10.1016/S0025-326X(87)80017-6.

- Day, Robert & Shaw, David & Ignell, Steve. (1990). The quantitative distribution and characteristics of neuston plastic in the North Pacific Ocean, 1984-1988.
- de Alencastro LF (2014) Évaluation de la pollution par les plastiques dans les eaux de surface en Suisse. Final report EPFL—ENAC/IIE/GR-CEL. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne
- De Falco, Francesca & Gullo, Maria & Gentile, Gennaro & Pace, Emilia & Cocca, Mariacristina & Gelabert, Laura & Brouta-Agnésa, Marolda & Rovira, Angels & Escudero, Rosa & Villalba, Raquel & Mossotti, Raffaella & Montarsolo, Alessio & Gavignano, Sara & Tonin, Claudio & Avella, Maurizio. (2017). Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics. *Environmental Pollution*. 236. 10.1016/j.envpol.2017.10.057. fate model. *Sci. Total Environ*. 544, 553–563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.087>.
- de Lucia, Giuseppe & Caliani, Ilaria & Marra, Stefano & Camedda, Andrea & Coppa, Stefania & Alcaro, Luigi & Campani, Tommaso & Giannetti, Matteo & Coppola, Daniele & Cicero, Anna & Panti, Cristina & Bains, Matteo & Guerranti, Cristiana & Marsili, Letizia & Massaro, Giorgio & Fossi, Maria & Matiddi, Marco. (2014). Amount and distribution of neustonic micro-plastic off the Western Sardinian coast (Central-Western Mediterranean Sea). *Marine Environmental Research*. 100.10.1016/j.marenvres.2014.03.017.
- Desforges, J.-P.W., Galbraith, M., Dangerfield, N., Ross, P.S., 2014. Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean. *Mar. Pollut. Bull.* 79 (1–2), 94–99. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.12.035>.
- Ding, L., Mao, R.F., Guo, X., Yang, X., Zhang, Q., & Yang, C. (2019). Microplastics in surface waters and sediments of the Wei River, in the northwest of China. *The Science of the total environment*, 667, 427-434 .
- Driedger AGJ, Dürr H, Mitchell K, Van Cappellen P (2015) Plastic debris in the Laurentian Great Lakes: a review. *J Great Lakes Res* 41:9–19

- Dris R, Imhof H, Sanchez W, Gasperi J, Galgani F, Tassin B, Laforsch C (2015) Beyond the ocean: contamination of freshwater ecosystems with (micro-) plastic particles. *Environ Chem*. doi:10.1071/EN14172
- Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., Tassin, B., 2016. Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment? *Mar. Pollut. Bull.* 104 (1–2), 290–293. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006>.
- Duis, Karen & Coors, Anja. (2016). Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe*. 28. 10.1186/s12302-015-0069-y.
- Eerkes-Medrano D, Thompson RC, Aldridge DC (2015) Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Res* 75:63–82. doi:10.1016/j.watres.2015.02.012
- Engler, Richard. (2012). The Complex Interaction between Marine Debris and Toxic Chemicals in the Ocean. *Environmental science & technology*. 46. 10.1021/es3027105.
- Eriksen, Marcus & Lebreton, Laurent & Carson, Henry & Thiel, Martin & Moore, Charles & Borerro, Jose & Galgani, François & Ryan, Peter & Reisser, Julia. (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE*. 9. 10.1371/journal.pone.0111913.
- Eriksen, Marcus & Mason, Sherri & Wilson, Stiv & Box, Carolyn & Zellers, Ann & Edwards, William & Farley, Hannah & Amato, Stephen. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*. 77. 177–182. 10.1016/j.marpolbul.2013.10.007.
- Essel R, Engel R, Carus M (2015) Sources of microplastics relevant to marine protection in Germany. *Texte 64/2015*. Dessau-Roßlau: German Federal Environment Agency
- Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 68, 656–660.

- Faure F, Demars C, Wieser O, Kunz M, de Alencastro LF (2015) Plastic pollution in Swiss surface waters: nature and concentrations, interaction with pollutants. *Environ Chem* 12(5):582–591. doi:10.1071/EN14218
- Fischer EK, Paglialonga L, Czech E, Tamminga M (2016) Microplastic pollution in lakes and lake shoreline sediments – a case study on Lake Bolsena and lake Chiusi (central Italy). *Environ Pollut* 213:648–657.
- 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.
- 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.
- Free CM, Jensen OP, Mason SA, Eriksen M, Williamson NJ, Boldgiv B (2014) High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Mar Pollut Bull* 85:156–163
- Frias, P. G. L., Otero, V., & Sobral, P. (2014). Evidence of microplastics in samples of zooplankton from Danish waters. Paper Presented at the ICES Annual Science Conference (ASC).
- GESAMP (2015) Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. *Reports and Studies 90*. London: IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection
- Gillfillan, Lisa & Ohman, Mark & Doyle, Miriam & Watson, William. (2009). Occurrence of plastic micro-debris in the southern California Current system. *CalCOFI Report*. 50.

- Girão, Ana & Caputo, Gianvito & Ferro, M.C.. (2017). Application of Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDS). 10.1016/bs.coac.2016.10.002.
- Goldstein MC, Titmus AJ, Ford M (2013) Scales of spatial heterogeneity of plastic marine debris in the northeast Pacific ocean. PLoS One 8:e80020
- Goldstein, Miriam & Rosenberg, Marci & Cheng, Lanna. (2012). Increased oceanic microplastic debris enhances oviposition in an endemic pelagic insect. Biology letters. 8. 817-20. 10.1098/rsbl.2012.0298.
- Gouin T, Avalos J, Brunning I, Brzuska K, de Graaf J, Kaumanns J et al (2015) Use of micro-plastic beads in cosmetic products in Europe and their estimated emissions to the North Sea environment. SOFW-J 141:40–46
- Gouin T, Roche N, Lohmann R, Hodges G (2011) A thermodynamic approach for assessing the environmental exposure of chemicals absorbed to microplastic. Environ Sci Technol 45:1466–1472
- Gregory, M. R., (1990). Plastics: accumulation, distribution, and environmental effects of meso-,macro-, and megalitter in surface waters and on shores of the Southwest Pacific. In R. S.Shomura, & M. L.Godfrey, (Eds.), Proceedings of the Second International Conference on Marine Debris, Honolulu, (pp. 55–84). Hawaii.
- 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.
- Gündoğdu, Sedat & Cem, Cevik. (2017). Micro- and mesoplastics in Northeast Levantine coast of Turkey: The preliminary results from surface samples. Marine Pollution Bulletin. 118. 341–347. 10.1016/j.marpolbul.2017.03.002.
- Güven, 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.

- Hidalgo-Ruz, Valeria & Thiel, Martin. (2013). Distribution and abundance of small plastic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): A study supported by a citizen science project. *Marine environmental research*. 87. 10.1016/j.marenvres.2013.02.015.
- Horton, A.A., Dixon, S.J., 2017. Microplastics: an introduction to environmental transport processes. *WIREs Water* 9 (12), e1268. <https://doi.org/10.1002/wat2.1268>.
- Horton, A.A., Svendsen, C., Williams, R.J., Spurgeon, D.J., Lahive, E., 2017. Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames, UK - abundance, sources and methods for effective quantification. *Mar. Pollut. Bull.* 114 (1), 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.004>.
- Imhof, H.K., Laforsch, C., Wiesheu, A.C., Schmid, J., Anger, P.M., Niessner, R., Ivleva, N.P., 2016. Pigments and plastic in limnetic ecosystems: a qualitative and quantitative study on microparticles of different size classes. *Water Res.* 98, 64–74.
- 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.
- Sul, Juliana & Costa, Monica. (2013). The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environmental pollution* (Barking, Essex : 1987). 185. 10.1016/j.envpol.2013.10.036.
- Sul, Juliana & Costa, Monica & Barletta, Mário & Cysneiros, Francisco. (2013). Pelagic microplastics around an archipelago of the Equatorial Atlantic. *Marine pollution bulletin*. 75. 10.1016/j.marpolbul.2013.07.040.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., et al. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347, 768-771.
- Kaiser, J., 2010. The dirt on ocean garbage patches. *Science* 328, 1506.
- Karl, D. A Sea of Change: Biogeochemical Variability in the North Pacific Subtropical Gyre. *Ecosystems* 2, 181–214 (1999). <https://doi.org/10.1007/s100219900068>
- Kataoka, T., Nihei, Y., Kudou, K., & Hinata, H. (2019). Assessment of the sources and inflow processes of microplastics in the river environments of Japan. *Environmental pollution*, 244, 958-965 .

- Khordagui, Hosny & Abu Hilal, Ahmad. (1994). Industrial plastic on the southern beaches of the Arabian Gulf and the western beaches of the Gulf of Oman. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*. 84. 325-7. 10.1016/0269-7491(94)90143-0.
- Klein, Sascha, Ian K Dimzon, Jan Eubeler, and Thomas P Knepper. 2018. "Freshwater Microplastics" 58: 51-67. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-61615-5>.
- Kooi, Merel & Nes, Egbert & Scheffer, Marten & Koelmans, Albert. (2017). Ups and downs in the ocean: Effects of biofouling on the vertical transport of microplastics. *Environmental Science & Technology*. 51. 10.1021/acs.est.6b04702.
- Kowalczyk, N., Blake, N., Charko, F., Ying, Q., 2017. Microplastics in the Maribyrnong and Yarra Rivers, Melbourne, Australia.
- Lambert S, Sinclair CJ, Boxall AB (2014) Occurrence, degradation and effect of polymer-based materials in the environment. *Rev Environ Contamin Toxicol* 227:1–53
- Lassen, C., Hansen, S.F., Magnusson, K., Norén, F., Hartmann, N.I.B., Jensen, P.R., Torkel, G.T., Brinch, A., 2015. Microplastics - Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark. The Danish Environmental Protection Agency. Environmental Project No. 1793, 2015 <http://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2015/10/978-87-93352-80-3.pdf>.
- Lattin, G. L., Moore, C. J., Zellers, A. F., Moore, S. L., & Weisberg, S. B. (2004). A comparison of neustonic plastic and zooplankton at different depths near the southern California shore. *Marine Pollution Bulletin*, 49(4), 291–294.
- Law, Kara & Morét, Skye & Goodwin, Deb & Zettler, Erik & Deforce, Emelia & Kukulka, Tobias & Proskurowski, Giora. (2014). Distribution of Surface Plastic Debris in the Eastern Pacific Ocean from an 11-Year Data Set. *Environmental science & technology*. 48. 10.1021/es4053076.
- Law, Kara & Morét, Skye & Maximenko, Nikolai & Proskurowski, Giora & Peacock, Emily & Hafner, Jan & Reddy, Christopher. (2010). Plastic Accumulation in the North Atlantic Subtropical Gyre. *Science (New York, N.Y.)*. 329. 1185-8. 10.1126/science.1192321.

- Lebreton, Laurent & Slat, Boyan & Ferrari, Francesco & Sainte-Rose, Bruno & Aitken, J & Marthouse, R & Hajbane, Sara & Cunsolo, Serena & Schwarz, Anna & Levivier, A & Noble, Kimberly & Debeljak, P & Maral, H & Schöneich-Argent, Rosanna & Brambini, Roberto & Reisser, Julia. (2018). Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports*. 2018. 10.1038/s41598-018-22939-w.
- Lebreton, Laurent & Van der Zwet, Joost & Damsteeg, Jan-Willem & Slat, Boyan & Andrady, Anthony & Reisser, Julia. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications*. 8. 10.1038/ncomms15611.
- Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., et al. (2014). The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environmental Pollution*, 188, 177–181.
- Lee, Jongmyoung & Hong, Sunwook & Song, Young & Hong, Sang & Jang, Yong Chang & Jang, Mi & Heo, Nak & Han, Gi & Lee, Mi & Kang, Daeseok & Shim, Won. (2013). Relationships among the abundances of plastic debris in different size classes on beaches in South Korea. *Marine pollution bulletin*. 77. 10.1016/j.marpolbul.2013.08.013.
- Leslie, H.A., van Velzen, M.J.M., Vethaak, A.D., 2013. Microplastic Survey in the Dutch Environment. Novel Data Set of Microplastics in North Sea Sediments, Treated Wastewater Effluents and Marine Biota No. L476 (RvA). Amsterdam.
- Liebmann, B., 2015. Mikroplastik in der Umwelt. Vorkommen, Nachweis und Handlungsbedarf; Report/Umweltbundesamt REP-0550. Umweltbundesamt, Wien.
- Lin L, Zuo LZ, Peng JP, et al. Occurrence and distribution of microplastics in an urban river: A case study in the Pearl River along Guangzhou City, China. *Sci Total Environ*. 2018;644:375-381. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.06.327
- Löder, M.G., Gerdts, G., 2015. Methodology used for the detection and identification of microplastics—a critical appraisal. *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, pp. 201–227.

- Lusher, Amy & Burke, Ann & O'Connor, Ian & Officer, Rick. (2014). Microplastic pollution in the Northeast Atlantic Ocean: Validated and opportunistic sampling. *Marine Pollution Bulletin*. 88. 325-333. 10.1016/j.marpolbul.2014.08.023.
- 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, Kerstin, Norén, Frederik, 2014. Screening of Microplastic Particles in an Down-Stream a Wastewater Treatment Plant C 55. Stockholm.
- Meeker JD, Sathyanarayana S, Swan SH (2009) Phthalates and other additives in plastics: human exposure and associated health outcomes. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 364: 2097-2113.
- McNeill IC, Leiper HA (1985) Degradation studies of some polyesters and polycarbonates—2. Polylactide: degradation under isothermal conditions, thermal degradation mechanism and photolysis of the polymer. *Polym Degrad Stab* 11(4):309–326. doi:10.1016/0141-3910(85)90035-7
- Mintenig, S., Int-Veen, I., Löder, M.G., Primpke, S., Gerds, G., 2017. Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane arraybased micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Res.* 108, 365–372.
- Mintenig, S.M., Int-Veen, I., Löder, M.G.J., Gerds, G., 2014. Mikroplastik in ausgewählten Kläranlagen des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) in Niedersachsen. Probenanalyse mittels Mikro-FTIR Spektroskopie, Helgoland.
- Mitchell, M.B., 1993. Fundamentals and applications of diffuse reflectance infrared Fourier transform (DRIFT) spectroscopy. *Structure-Property Relations in Polymers*. American Chemical Society, pp. 351–375.
- Mohamed Nor, H., & Obbard, J. P. (2014). Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 79, 278–283.

- Moore, C. J., Moore, S. L., Weisberg, S. B., Lattin, G. L., & Zellers, A. F. (2002). A comparison of neustonic plastic and zooplankton abundance in southern California's coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, 44(10), 1035–1038.
- Moore, C.J., Moore, S.L., Leecaster, M.K., Weisberg, S.B., 2001. A comparison of plastic and plankton in the North Pacific central gyre. *Mar. Pollut. Bull.* 42 (12), 1297–1300. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00114-X](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00114-X).
- Moore, Charles & Lattin, Gwendolyn & Zellers, A.F.. (2011). Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*. 11. 65-73. 10.5894/rgci194.
- Moore, Charles. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environmental research*. 108. 131-9. 10.1016/j.envres.2008.07.025.
- Morét-Ferguson, S., Law, K.L., Proskurowski, G., Murphy, E.K., Peacock, E.E., Reddy, C.M., 2010. The size, mass, and composition of plastic debris in the western North Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 60, 1873–1878.
- Morris, R. J. (1980). Plastic debris in the surface waters of the South Atlantic. *Marine Pollution Bulletin*, 11(6), 164–166.
- Morritt, D., Stefanoudis, P. V., Pearce, D., Crimmen, O. A., & Clark, P. F. (2014). Plastic in the Thames: A river runs through it. *Marine Pollution Bulletin*, 78(1), 196–200.
- Napper IE, Bakir A, Rowland SJ, Thompson RC (2015) Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. *Mar Pollut Bull.* doi:10.1016/j.marpolbul.2015.07.029
- 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.
- NFWF [National Fish and Wildlife Foundation]. (2014). Fish for energy factsheet. Retrieved August 15, 2014, from

http://www.nfwf.org/fishingforenergy/Documents/FFE__Fact%20Sheet_2014_revised.pdf.

- Ng, K & Obbard, Jeff. (2006). Prevalence of microplastics in Singapore's coastal marine environment. *Marine pollution bulletin*. 52. 761-7. 10.1016/j.marpolbul.2005.11.017.
- Nizzetto, L., Futter, M., Langaas, S., 2016c. Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin? *Environ. Sci. Technol.* 50, 10777–10779 Online.
- 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
- Norén, Fredrik & Naustvoll, Lars. (2010). Survey of microscopic anthropogenic particles in skagerrak. *TA*. 2779. 1-20.
- Obbard, R. W., Sadri, S., Wong, Y. Q., Khitun, A. A., Baker, I. & Thompson, R. C. (2014). Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice. *Earth's Future*, 2, 315–320.
- O'Connor, D., Pan, S., Shen, Z., Song, Y., Jin, Y., Wu, W.-M., Hou, D., 2019. Microplastics undergo accelerated vertical migration in sand soil due to small size and wet-dry cycles. *Environmental Pollution* (Barking, Essex: 1987) 249, 527–534. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.092>.
- Ogata, Yuko & Takada, Hideshige & Mizukawa, Kaoruko & Hirai, Hisashi & Iwasa, Satoru & Endo, Satoshi & Mato, Yukie & Saha, Mahua & Okuda, Keiji & Nakashima, Arisa & Murakami, Michio & Zurcher, Nico & Booyatumanondo, Ruchaya & Zakaria, Mohamad & Le Quang, Dung & Gordon, Miriam & Miguez, Carlos & Suzuki, Satoru & Moore, Charles & Thompson, Richard. (2009). *International Pellet Watch: Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal Waters*. 1. Initial phase

- data on PCBs, DDTs, and HCHs. *Marine pollution bulletin*. 58. 1437-46. 10.1016/j.marpolbul.2009.06.014.
- Ogunola, Oluniyi & Palanisami, Thavamani. (2016). Microplastics in the Marine Environment: Current Status, Assessment Methodologies, Impacts and Solutions. *Journal of Pollution Effects & Control*. 04. 10.4172/2375-4397.1000161.
- Otake, Y., Kobayashi, T., Asabe, H., Murakami, N., Ono, K., 1995. Biodegradation of lowdensity polyethylene, polystyrene, polyvinyl chloride, and urea formaldehyde resin buried under soil for over 32 years. *J. Appl. Polym. Sci.* 56 (13), 1789–1796. <https://doi.org/10.1002/app.1995.070561309>.
- PlasticsEurope, 2018. *Plastics—The Facts 2018: an Analysis of European Plastics*. PLoS ONE, 8(11), e80466.
- Prata, Joana & Da Costa, Joao & Duarte, Armando & Rocha-Santos, Teresa. (2018). Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 110. 10.1016/j.trac.2018.10.029.
- Pruter AT (1987) Sources, quantities and distribution of persistent plastics in the marine environment. *Mar Pollut Bull* 18:305–310
- Quinn, Brian & Murphy, Fionn & Ewins, Ciaran. (2016). Validation of density separation for the rapid recovery of microplastics from sediment. *Anal. Methods*. 9. 10.1039/C6AY02542K.
- Rech, S., Macaya-Caquilpán, V., Pantoja, J. F., Rivadeneira, M. M., Jofre Madariaga, D., & Thiel, M. (2014). Rivers as a source of marine litter—A study from the SE Pacific. *Marine Pollution Bulletin*, 82, 66–75.
- Reddy MS, Basha S, Adimurthy S, Ramachandraiah G (2006) Description of the small plastics fragments in marine sediments along the Alang-Sosiya ship-breaking yard, India. *Estuar Coast Shelf Sci* 68(3–4):656–660. doi:10.1016/j.ecss.2006.03.018
- Reisser, J., Shaw, J., Wilcox, C., Hardesty, B. D., Proietti, M., Thums, M., et al. (2013). Marine plastic pollution in waters around Australia: Characteristics, concentrations, and pathways. PLoS ONE, 8(11), e80466.

- Rillig, Matthias & Bonkowski, Michael. (2018). Microplastic and soil protists: A call for research. *Environmental Pollution*. 241. 10.1016/j.envpol.2018.04.147.
- Rocha-Santos T, Duarte AC (2015) A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. *TrAC* 65:47–53
- Rochman CM, Browne MA, Halpern BS, Hentschel BT, Hoh E, et al. (2013) Policy: Classify plastic waste as hazardous. *Nature* 494: 169-171.
- Ruiz-Orejón, Luis & Sardá, Rafael & Ramis-Pujol, Juan. (2016). Floating plastic debris in the Central and Western Mediterranean Sea. *Marine Environmental Research*. 120. 10.1016/j.marenvres.2016.08.001.
- Ryan PG, Moore CJ, van Franeker JA, Moloney CL (2009) Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philos Trans RSoc Lond B* 364:1999–2012
- Ryan, P. G. (1988). The characteristics and distribution of plastic particles at the sea-surface off the southwestern Cape Province, South Africa. *Marine Environmental Research*, 25(4), 249–273.
- S Kornilios, PG Drakopoulos, and C* Dounas, Pelagic tar, dissolved/dispersed petroleum hydrocarbons and plastic distribution in the Cretan Sea, Greece: *Marine Pollution Bulletin* [Mar. Pollut. Bull.], vol. 36, no. 12, pp. 989-993, Dec 1998.
- Sadri, Saeed & Thompson, Richard. (2014). On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England. *Marine Pollution Bulletin*. 81. 10.1016/j.marpolbul.2014.02.020.
- 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.
- Sebille, Erik & Wilcox, Chris & Lebreton, Laurent & Maximenko, Nikolai & Hardesty, Britta & Van Franeker, Jan & Eriksen, Marcus & Siegel, David & Galgani, François & Law, Kara. (2015). A global inventory of small floating plastic debris. *Environmental Research Letters*. 10. 124006. 10.1088/1748-9326/10/12/124006.

- Slootmaekers, Bart & Catarci Carteny, Camilla & Belpaire, Claude & Saverwyns, Steven & Fremout, Wim & Blust, Ronny & Bervoets, Lieven. (2018). Microplastic contamination in gudgeons (*Gobio gobio*) from Flemish rivers (Belgium). *Environmental Pollution*. 244. 10.1016/j.envpol.2018.09.136.
- Song, Young-Kyoung & Hong, Sang & Kang, Jung-Hoon & Kwon, Oh-Youn & Jang, Mi & Han, Gi & Shim, Won. (2014). Large Accumulation of Micro-Sized Synthetic Polymer Particles in the Sea Surface Microlayer.. *Environmental science & technology*. 48. 10.1021/es501757s.
- Sruthy, Shini & Ramasamy, E.V. (2016). Microplastic pollution in Vembanad Lake, Kerala, India: The first report of microplastics in lake and estuarine sediments in India. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*. 222. 10.1016/j.envpol.2016.12.038.
- 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.
- Su L, Xue Y, Li L, Yang D, Kolandhasamy P, Li D, Shi H (2016) Microplastics in Taihu Lake, China. *Environ Pollut* 216:711–719. doi:10.1016/j.envpol.2016.06.036
- Sudhakar M, Trishul A, Doble M, Suresh Kumar K, Syed Jahan S, Inba- kandan D et al (2007) Biofouling and biodegradation of polyolefins in ocean waters. *Polymer Degrad Stabil* 92:1743–1752
- Sundt P, Schulze P-E, Syversen F (2014) Sources of microplastic-pollution to the marine environment. Report no M-321/2015. Asker: Mepex Consult Sweden, N-Research.
- Talsness CE, Andrade AJM, Kuriyama SN, Taylor JA, vom Saal FS (2009) Components of plastic: experimental studies in animals and relevance for human health. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 364: 2079-2096.
- Tang, L. P. and J. W. Eaton (1995). 'Inflammatory responses to biomaterials'. *American Journal of Clinical Pathology*,103(4): 466-471.

- T. Mani, A. Haulk, U. Walter, P. Burkhardt-Holm, Microplastics profile along the Rhine river, *Sci. Rep.* 5 (2015) 17988. <http://doi.org/10.1038/srep17988>.
- The Scottish Government. (2013). Marine litter strategy/national litter strategy: Strategic environmental assessment environmental report. Retrieved August 15, 2014, from <http://www.scotland.gov.uk/Publications/2013/07/9297>.
- Thompson, Richard & Olsen, Ylva & Mitchell, Richard & Davis, Anthony & Rowland, Steven & John, Anthony & Mcgonigle, D.F. & Russell, Andrea. (2004). Lost at Sea: Where Is All the Plastic?. *Science* (New York, N.Y.). 304. 838. 10.1126/science.1094559.
- UNEP. (2005). *Marine litter: An analytical overview*. Nairobi: UNEP.
- UNEP. (2009). *Marine litter: A global challenge*. Nairobi: UNEP
- Urbanek, Aneta & Rymowicz, Waldemar & Mirończuk, Aleksandra. (2018). Degradation of plastics and plastic-degrading bacteria in cold marine habitats. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 102. 10.1007/s00253-018-9195-y.
- Van Cauwenberghe L, Claessens M, Vandegehuchte MB, Janssen CR (2015) Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural habitats. *Environ Pollut* 199:10–17
- 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.
- van Sebille, E., England, M. H., & Froyland, G. (2012). Origin, dynamics and evolution of ocean garbage patches from observed surface drifters. *Environmental Research Letters*, 7, 044040
- Vermaire J.C., C. Pomeroy, S.M. Herczegh, O. Haggart, M. Murphy, Microplastic abundance and distribution in the open water and sediment of the Ottawa River, Canada, and its tributaries, *Facets* 2 (2017) 301e314. <https://doi.org/10.1139/facets-2016-0070>..

- Vogelsang, Christian & Lusher, Amy & Dadkhah, Mona & Sundvor, Ingrid & Umar, Muhammad & Ranneklev, Sissel & Pettersen Eidsvoll, David & Meland, Sondre. (2018). Microplastics in road dust - characteristics, pathways and measures.
- Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., et al. (2014). Microplastics in freshwater ecosystems: What we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe*, 26, 12
<http://www.enveurope.com/content/26/1/12>.
- Wenfeng, Wang & Yuan, Wenke & Chen, Yuling & Wang, Jun. (2018). Microplastics in surface waters of Dongting Lake and Hong Lake, China. *The Science of the total environment*. 633. 539-545. 10.1016/j.scitotenv.2018.03.211.
- Wilber, R. J. (1987). Plastic in the North Atlantic. *Oceanus*, 30(3), 61–68.
- 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.
- Ye, S., & Andrady, A. L. (1991). Fouling of floating plastic debris under Biscayne Bay exposure conditions. *Marine Pollution Bulletin*, 22, 608–613.
- Yonkos LT, Friedel EA, Perez-Reyes AC, Ghosal S, Arthur CD (2014) Microplastics in four estuarine rivers in the Chesapeake Bay, U.S.A. *Environ Sci Technol* 48(24):14195–14202. doi:10.1021/es5036317
- Yuan W, Liu X, Wang W, Di M, Wang J. Microplastic abundance, distribution and composition in water, sediments, and wild fish from Poyang Lake, China. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2019;170:180-187. doi:10.1016/j.ecoenv.2018.11.126
- Zarfl C, Fleet D, Fries E, Galgani F, Gerdt G, Hanke G et al (2011) Microplastics in oceans. *Mar Pollut Bull* 62:1589–1591
- Zarfl, C., & Matthies, M. (2010). Are marine plastic particles transport vectors for organic pollutants to the Arctic? *Marine Pollution Bulletin*, 60(10), 1810–1814.

- Zbyszewski, M., Corcoran, P.L. Distribution and Degradation of Fresh Water Plastic Particles Along the Beaches of Lake Huron, Canada. *Water Air Soil Pollut* 220, 365–372 (2011). <https://doi.org/10.1007/s11270-011-0760-6>
- Zettler ER, Mincer TJ, Amaral-Zettler LA (2013) Life in the ‘plastisphere’: microbial communities on plastic marine debris. *Environ Sci Technol* 47:7137–7146
- Zhang K, Gong W, Lv J, Xiong X, Wu C (2015) Accumulation of floating microplastics behind the three Gorges Dam. *Environ Pollut* 204:117–123. doi:10.1016/j.envpol.2015.04.023
- Zhang K, Su J, Xiong X, Wu X, Wu C, Liu J (2016) Microplastic pollution of lakeshore sediments from remote lakes in Tibet plateau, China. *Environ Pollut* 219:450–455
- Zhao, Shiye & Zhu, Lixin & Wang, Teng & Li, Daoji. (2014). Suspended microplastics in the surface water of the Yangtze Estuary System, China: First observations on occurrence, distribution. *Marine Pollution Bulletin*. 86. 10.1016/j.marpolbul.2014.06.032.
- Zubris, K. A. V., & Richards, B. K. (2005). Synthetic fibers as an indicator of land application of sludge. *Environmental Pollution*, 138, 201–211.