



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ Τ.Ε.**

---



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Ταξινόμηση και ποσοτικοποίηση μικροπλαστικών στο παράκτιο θαλάσσιο περιβάλλον αμμώδους παραλίας στην πόλη των Χανίων»**

**Νικόλαος Δάνης**

*Επιβλέπουσα καθηγήτρια*  
**Αναπλ. Καθ. Ελευθερία Κατσιβελα**

**ΧΑΝΙΑ 2023**

*Σε αυτούς που δεν μου στέρησαν ποτέ τίποτα,  
ξέρουν αυτοί*

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής, φτάνει στο τέλος της η ακαδημαϊκή μου πορεία ως προπτυχιακός φοιτητής στο Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος ΤΕ του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου, στο Παράρτημα Χανίων, που βρίσκεται στην περιοχή της Χαλέπας. Η προπτυχιακή φοίτηση μου στο τμήμα διήρκεσε 5 χρόνια, μέσα από τα οποία ωρίμασα σαν άνθρωπος, αντιμετωπίζοντας πολλά εμπόδια και μαθαίνοντας μέσα από αυτά. Η πορεία μου αυτή δεν περιορίστηκε μόνο στην απόκτηση γνώσεων, αλλά μου πρόσφερε ακόμα χαρές, δυσκολίες, γέλια, εξορμήσεις, καραντίνες, ατελείωτες βόλτες και ξενύχτια, αλλά το κυριότερο μου πρόσφερε την δυνατότητα νέων γνωριμιών με ανθρώπους που έγιναν αδερφικοί μου φίλοι.

Σε αυτό το σημείο, με μεγάλη μου χαρά θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην επιβλέπουσα καθηγήτρια μου, του Τμήματος, Ελευθερία Κατσιβέλα. Όντας καθηγήτρια μου από τα πρώτα κιάλας έτη της φοίτησης μου, ήταν αδύνατον να μην προσέξω το ενδιαφέρον της για όλους τους φοιτητές και την επιθυμία της να βοηθήσει τον καθένα να εξελιχθεί στον τομέα του. Έτσι, επιλέγοντάς την ως επιβλέπουσα καθηγήτρια της πτυχιακής μου εργασίας, με καθοδήγησε μεθοδικά και με εμπιστοσύνη, βοηθώντας με στο μέγιστο με την εργασία μου, παρέχοντάς μου τόσο από τις γνώσεις της όσο και από τον προσωπικό της χρόνο για τη διόρθωση της εκτεταμένης εργασίας μου, έχοντας πάρα πολύ υπομονή. Εξίσου θα ήθελα να ευχαριστήσω το σύνολο όλων των διδασκόντων του τμήματος για τις πολύτιμες γνώσεις τους που αποκόμισα από αυτούς. Τέλος, ευχαριστώ όλο το Τμήμα για την παραχώρηση του εργαστηριακού χώρου και εξοπλισμού ώστε να καταφέρω να πραγματοποιήσω το πειραματικό σκέλος της εργασίας μου.

Εκτός από το Τμήμα μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους τους συνεργάτες μου στο Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Νερών και Λυμάτων της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων Χανίων για την εξαιρετική συνεργασία κατά τη διάρκεια της πρακτικής μου άσκησης. Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες προς την επιβλέπουσα μου κ. Δέσποινα Καλησπέρη, που μου μετέφερε γνώσεις, εμπειρία και συμβουλές σε ένα ευχάριστο και φιλικό πάντα περιβάλλον, καθιστώντας την περίοδο της πρακτικής μου άσκησης το πιο εποικοδομητικό, όμορφο και ευχάριστο εξάμηνο της φοιτητικής μου ζωής.

Εκτός αυτού, θα ήθελα να ευχαριστήσω, κυρίως για την υπομονή τους, όλους τους στενούς μου φίλους και κολλητούς, που με ανέχθηκαν όλα αυτά τα χρόνια περνώντας μαζί τη φοιτητική μας ζωή, ζώντας άπειρες όμορφες και κακές στιγμές.

Τέλος και, πιο σημαντικό, θα ήθελα να δώσω την αγάπη μου στους δικούς μου ανθρώπους, την οικογένεια μου. Από τότε που με θυμάμαι, με στηρίζουν σε κάθε μου βήμα, μαθαίνοντας μου ταυτόχρονα να βασίζομαι και να εμπιστεύομαι τον εαυτό μου, χωρίς να μου στερήσουν ποτέ τίποτα και να μην μου πουν ποτέ «όχι». Ξέρουν αυτοί.

## **ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

Εισηγήτρια: Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ελευθερία Κατσιβέλα (*Επιβλέπουσα καθηγήτρια*)

2. Μέλος: Αναπληρωτής Καθηγητής Δημήτριος Καλδέρης

3. Μέλος: Καθηγητής Γεώργιος Σταυρουλάκης

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της ρύπανσης με μικροπλαστικά διαμέτρου 0,1 έως 0,5 εκατοστών του παράκτιου θαλάσσιου περιβάλλοντος μιας αμμώδους παραλίας στην περιοχή «Νέα Χώρα» στα Χανιά της Κρήτης. Οι συνολικά 16 δειγματοληψίες μικροπλαστικών διήρκεσαν 6 μήνες. Η πειραματική διαδικασία περιελάμβανε τη συλλογή άμμου, την έκπλυση, το διαχωρισμό των μικροπλαστικών από την άμμο, την ξήρανση, ζύγιση και ταξινόμηση αυτών με βάση το σχήμα, το χρώμα και το μέγεθος. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία απομονώθηκε μια μέση συγκέντρωση  $43,31 \pm 17,21$   $\mu\text{g}$  μικροπλαστικών ανά g ξηρής άμμου (ή  $0,06 \pm 0,02$  g μικροπλαστικών ανά L ξηρής άμμου) κατά το διάστημα των μετρήσεων. Η μέση αριθμητική συγκέντρωση αυτών ήταν 1,03 #/kg ξηρής άμμου, ενώ κατά μέσο όρο μόλις το 17% ήταν πλαστικόσφαιρες σε σχέση με τα υπόλοιπα μικροπλαστικά θραύσματα που αντιστοιχούσαν στο 83% αυτών. Το 61% των συλλεχθέντων μικροπλαστικών ήταν χωρίς χρώμα (άσπρα ή διάφανα), ενώ το υπόλοιπο ποσοστό είχε μπλε, καφέ, κόκκινο, πράσινο και κίτρινο χρώμα. Τα μικροπλαστικά με διάμετρο από 0,3 έως 0,5 εκατοστά ήταν περισσότερα αριθμητικά σε σχέση με αυτά, των οποίων η διάμετρος κυμαινόταν από 0,1 έως 0,3 εκατοστά, στις 15 από τις συνολικά 16 ημερομηνίες δειγματοληψίας. Η μέση ποσοστιαία αναλογία της αριθμητικής συγκέντρωσης τους ήταν 62% προς 38 % αντίστοιχα. Τέλος στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας αλιεύθηκε ιχθύς, από το στομάχι του οποίου απομονώθηκε μικροπλαστικό σωματίδιο διαμέτρου 5 χιλιοστών.

*Λέξεις κλειδιά: Μικροπλαστικά, ταξινόμηση και ποσοτικοποίηση μικροπλαστικών, παράκτιο αμμώδες περιβάλλον, , πλαστικόσφαιρες*

**ABSTRACT**

The subject of the present study was the examination of pollution with microplastics ranging from 0.1 to 0.5 centimeters in diameter in the coastal marine environment of a sandy beach in the area of "Nea Chora" in Chania city, Crete. A total of 16 microplastic samplings were conducted over a period of 6 months. The experimental procedure included the collection of sand, washing, separation of microplastics from the sand, drying, weighing, and classification based on shape, color, and size. In this undergraduate diploma thesis, an average concentration of  $43.31 \pm 17.21$   $\mu\text{g}$  of microplastics per gram of dry sand (or  $0.06 \pm 0.02$  g of microplastics per liter of dry sand) was isolated during the measurement period. The average numerical concentration was 1.03 particles per kilogram of dry sand, with only 17% being microplastic spheres compared to the remaining 83% represented by other microplastic fragments. 61% of the collected microplastics were colorless (white or transparent), while the remaining percentage were blue, brown, red, green, and yellow. Microplastics with a diameter of 0.3 to 0.5 centimeters were numerically more abundant than those with a diameter ranging from 0.1 to 0.3 centimeters on the 15 out of the total 16 sampling dates. The average proportional ratio of their numerical concentration was 62% to 38%, respectively. Finally, within the framework of the present diploma thesis, a fish was caught, from the stomach of which a microplastic particle with a diameter of 5 millimeters was isolated.

*Keywords: Microplastics, classification and quantification of microplastics, coastal sandy environment, microplastic spheres (microbeads)*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΠΡΟΛΟΓΟΣ

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- 1.1 Εισαγωγή στο πλαστικό
- 1.2 Τι είναι πλαστικό
- 1.3 Πολυμερισμός
- 1.4 Σύντομη αναδρομή στον κύκλο ζωής του πλαστικού
- 1.5 Μια μικρή ιστορία για το λόγο δημιουργίας του
- 1.6 Σκοπός της εργασίας

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ

- 2.1 Από ακατέργαστο πετρέλαιο σε πλαστικά
- 2.2 Μια πιο αναλυτική εξέταση της διαδικασίας παραγωγής
- 2.3 Κατηγορίες πλαστικών, χαρακτηριστικά και εφαρμογές τους
- 2.4 Παγκόσμια παραγωγή πλαστικού
  - 2.4.1 Παγκόσμια παραγωγή πλαστικού κατά την διάρκεια του Covid-19
  - 2.4.2 Συνεισφορά των διαγνωστικών COVID-Test στην ρύπανση του περιβάλλοντος

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΣΕ ΩΚΕΑΝΟΥΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΙΕΣ

- 3.1 Πλαστικά απόβλητα και κύκλος ζωής του
  - 3.1.1 Πλαστικά προϊόντα με "βιώσιμο σχεδιασμό"
- 3.2 Τοξικότητα πλαστικών αποβλήτων
- 3.3 Πλαστικά απόβλητα σε ωκεανούς
  - 3.3.1 Αίτια πλαστικών απορριμμάτων στους ωκεανούς
  - 3.3.2 Επιπτώσεις πλαστικών απορριμμάτων στους ωκεανούς

3.3.3 Στρατηγικές αντιμετώπισης της πλαστικής  
ρύπανσης στους ωκεανούς

3.4 Πλαστικά απόβλητα σε παραλίες περιοχές

3.4.1 Επιπτώσεις πλαστικών απορριμμάτων  
στις παράκτιες περιοχές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

4.1 Μέθοδοι και πρακτικές

4.2 Επαναχρησιμοποίηση

4.3 Ανακύκλωση

4.3.1 Μηχανική ανακύκλωση

- i. Ανακύκλωση ανοιχτού βρόγχου
- ii. Ανακύκλωση κλειστού βρόγχου

4.3.2 Χημική ανακύκλωση

4.4 Χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)

4.5 Αποτέφρωση

4.6 Βιοαποικοδόμηση – Βιοπλαστικά - Κομποστοποίηση

4.6.1 Είναι όμως τελικά τα βιοπλαστικά καλά για το περιβάλλον

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΑ

5.1 Ορισμός – χαρακτηριστικά μικροπλαστικών

5.1.1 Κατηγορίες μικροπλαστικών

5.2 Ανασκόπηση πηγών δημιουργίας μικροπλαστικών

5.2.1 Αποικοδόμηση πλαστικών σε μικροπλαστικά

5.2.2 Κατακερματισμός πλαστικών σε μικροπλαστικά

5.3 Τύποι μικροπλαστικών βάσει της μορφολογικής τους περιγραφής

5.3.1 Πλαστικόσφαιρες – πλαστικές σφαίρες –

<<δάκρυα γοργόνας>>

5.3.2 Ακανόνιστα θραύσματα

5.3.2 Ίνες και νήματα

5.4 Μικροπλαστικά στις διάφορες σφαίρες του περιβάλλοντος



5.4.1 Παρουσία και μεταφορά μικροπλαστικών σε υδάτινα οικοσυστήματα, περιλαμβανομένων θαλασσών και ποτάμιων

5.4.1.1 Τι γίνεται με τις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων (ΜΕΛ) και τα μικροπλαστικά

5.4.2 Παρουσία και μεταφορά μικροπλαστικών σε χερσαία οικοσυστήματα

5.5 Επιπτώσεις μικροπλαστικών

5.5.1 Επιδράσεις στην θαλάσσια και υδρόβια ζωή

5.5.1.1 Τροφική πρόσληψη και επιπτώσεις σε οργανισμούς

5.5.1.2 Τοξικές ιδιότητες και πρόσληψη

5.5.2 Επιδράσεις στα χερσαία οικοσυστήματα

5.5.3 Ύπαρξη μικροπλαστικών στον άνθρωπο

5.5.3.1 Πρόσληψη μικροπλαστικών από τον άνθρωπο

5.5.3.2 Πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του

5.6 Τρόποι απομόνωσης και χαρακτηρισμού μικροπλαστικών

5.6.1 Μέθοδοι δειγματοληψίας

5.6.2 Αναλυτικές μέθοδοι ταυτοποίησης μικροπλαστικών

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

6.1 Σκοπός του πειράματος

6.2 Περιοχή δειγματοληψίας

6.3 Υλικά και εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία

6.4 Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν κατά το πειραματικό μέρος

6.5 Πειραματική διαδικασία συλλογής, καθαρισμού και ξήρανσης της άμμου

6.6 Πειραματική διαδικασία δειγματοληψίας, ξήρανσης και προσδιορισμού μάζας μικροπλαστικών

6.6.1 Σημείο δειγματοληψίας μικροπλαστικών

- 6.6.2 Αναλυτική πειραματική διαδικασία δειγματοληψίας, ξήρανσης και προσδιορισμού μάζας μικροπλαστικών
- 6.6.3 Σύνοψη παραμέτρων προσδιορισμού και χαρακτηρισμού συλλεχθέντων μικροπλαστικών

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

- 7.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων ξήρανσης άμμου
- 7.2 Προσδιορισμός συγκέντρωσης μάζας μικροπλαστικών σε υγρή και ξηρή άμμο
- 7.3 Αριθμητική συγκέντρωση μικροπλαστικών και τύποι βάση της σχηματικής μορφολογίας τους
- 7.4 Ταξινόμηση των μικροπλαστικών με βάση το σχήμα τους
- 7.5 Χρωματική διαφοροποίηση των μικροπλαστικών
- 7.7 Διαφοροποίηση μικροπλαστικών με βάση τις διαστάσεις τους
- 7.7 Περιπτώσεις μελέτης – Οπτικοποίηση δεδομένων
  - 7.7.1 Κατανόηση της φυσικής σημασίας της υπολογισθείσας συγκέντρωσης μικροπλαστικών στην ξηρή άμμο
  - 7.7.2 Οπτικοποίηση πρόσληψης μικροπλαστικών από θαλάσσιους οργανισμούς - Προσωπικά βιώματα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώθηκε σε ένα εξαιρετικά σημαντικό και επίκαιρο περιβαλλοντικό ζήτημα, την παρουσία των μικροπλαστικών στο θαλάσσιο και παράκτιο περιβάλλον. Στα πλαίσια της θεωρητικής ανάλυσης του θέματος εξετάστηκε ο κύκλος ζωής του πλαστικού γενικά, προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος, με τον οποίο τα μικροπλαστικά καταλήγουν στο περιβάλλον, και όχι μόνο στο τέλος του κύκλου ζωής των πλαστικών. Επιπλέον, μέσω πειραματικής διαδικασίας στην παράκτια ζώνη της δυτικής μεριάς της αμμώδους παραλίας της "Νέας Χώρας" στην πόλη των Χανίων της Κρήτης, ερευνήθηκε η πραγματική κατάσταση σχετικά με την ύπαρξη, την ταξινόμηση και την ποσοτικοποίηση των μικροπλαστικών σε αυτό το παράκτιο περιβάλλον, χρησιμοποιώντας απλές μεθόδους συλλογής και ταξινόμησης.

Σκοπός της εργασίας ήταν να ερευνηθεί η παρουσία των μικροπλαστικών, ο τρόπος δημιουργίας τους, οι πηγές τους και οι επιπτώσεις αυτών στο περιβάλλον. Αρχικά εξετάστηκε και βελτιστοποιήθηκε ο τρόπος συλλογής, διαχωρισμού και καταμέτρησης μικροπλαστικών σε αμμώδες παράκτιο θαλάσσιο περιβάλλον χρησιμοποιώντας απλές μεθόδους συλλογής και έκπλυσης. Στη συνέχεια μελετήθηκε η συσσώρευση των μικροπλαστικών στο παράκτιο περιβάλλον, καταμετρήθηκε ο αριθμός τους, πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση τους με βάση το σχήμα, το χρώμα και τη διάμετρό τους σύμφωνα με τα πρότυπα της βιβλιογραφίας, και τέλος υπολογίστηκε η συγκέντρωσή τους σε γραμμάρια πλαστικού ανά λίτρο υγρής ή γραμμάρια ξηρής άμμου καθώς και η αριθμητική τους συγκέντρωση στο δυτικό τμήμα της παράκτιας ζώνης στην παραλία της Νέας Χώρας στα Χανιά της Κρήτης. Τέλος, μέσω της αλίευσης και φωτογραφικού υλικού αναδείχθηκε η παρουσία μικροπλαστικών στο θαλάσσιο περιβάλλον, ακόμα και σε ζωντανούς οργανισμούς, γεγονός το οποίο μπόρεσε να υλοποιηθεί λόγω της αγάπης για τη θάλασσα και της εμπειρίας του συγγραφέα στο υποβρύχιο ψάρεμα.

Η πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Τεχνολογιών και Εφαρμογών του Τμήματος Ηλεκτρονικών Μηχανικών, επισπεύδον Τμήμα του πρώην Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Τ.Ε., της Σχολής Μηχανικών του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου (ΕΛΜΕΠΑ) κατά την διάρκεια του

ακαδημαϊκού έτους 2022-2023 υπό την επίβλεψη της αναπληρώτριας καθηγήτριας Ελευθερίας Κατσιβελα.

Τα κεφάλαια της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι **8**, όπου σε αυτά συμπεριλαμβάνονται η πειραματική διαδικασία, τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα. Πιο αναλυτικά στο **Κεφάλαιο 1** γίνεται μια εισαγωγή για το τι είναι πλαστικό, μια σύντομη αναδρομή στο κύκλο ζωής του, πως ξεκίνησε η όλη ανάγκη παραγωγής του και ταυτόχρονα ο σκοπός της πτυχιακής. Το **κεφάλαιο 2** εμβαθύνει περισσότερο στο πλαστικό και τον τρόπο παραγωγής του από ακατέργαστο πετρέλαιο. Επίσης αναλύονται οι κατηγορίες πλαστικών και οι χρήσεις τους. Τέλος αναγράφονται σημαντικές πληροφορίες για την παραγωγή πλαστικού παγκοσμίως αλλά και η κατανάλωση του κατά την διάρκεια της πανδημίας Covid-19, διενεργώντας και ένα σύντομο πείραμα. Στο **κεφάλαιο 3** διατυπώνεται το πρόβλημα της ρύπανσης και οι επιπτώσεις που προκαλεί το πλαστικό στους ωκεανούς και στις παραλίες, το οποίο αποτελεί και το κύριο αντικείμενο μελέτης της εργασίας. Επίσης παράλληλα εξετάζεται ο κύκλος ζωής ενός πλαστικού αποβλήτου σε συνδυασμό με την τοξικότητα του. Το **κεφάλαιο 4** ασχολείται με τη διαχείριση των πλαστικών αποβλήτων, τις μεθόδους και τις πρακτικές τους. Αναπτύσσονται η επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση ανοιχτού και κλειστού βρόγχου, η χημική ανακύκλωση, η τελική διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, η αποτέφρωση και τέλος η χρήση βιοπλαστικών και τα βιοδιασπώμενων πλαστικών. Το **κεφάλαιο 5** ασχολείται με το κυρίως θέμα της πτυχιακής εργασίας αναπτύσσοντας τον ορισμό των μικροπλαστικών και τις κατηγορίες αυτών. Αναφέρεται στους τρόπους δημιουργίας τους και ιδιαίτερα μέσω διάσπασης σε πολλά μικρά θραύσματα. Στη συνέχεια αναλύονται οι τύποι των μικροπλαστικών με βάση τη μορφολογία τους. Εξετάζεται η παρουσία των μικροπλαστικών σε διάφορα οικοσυστήματα του περιβάλλοντος, υδάτινα όπως ποτάμια και θάλασσες, αλλά και χερσαία, καθώς και ο τρόπος μεταφοράς αυτών από το ένα οικοσύστημα στο άλλο. Επίσης αναφέρεται σε ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά θέματα, τις επιπτώσεις των μικροπλαστικών στην θαλάσσια και στην υδροβία ζωή, στα χερσαία οικοσυστήματα αλλά και στις επιπτώσεις που θα μπορούσε να προκαλέσει στον άνθρωπο. Τέλος αναφέρονται οι τρόποι απομόνωσης μικροπλαστικών και χαρακτηρισμού αλλά και οι μέθοδοι δειγματοληψίας καθώς και οι αναλυτικές μέθοδοι ταυτοποίησης. Το **κεφάλαιο 6** περιλαμβάνει το πειραματικό μέρος της πτυχιακής εργασίας, την περιγραφή της τοποθεσίας μελέτης και τον τρόπο που πραγματοποιήθηκαν τα

πειράματα συνοδευόμενα από αναλυτικές φωτογραφίες και περιγραφές. Στο **κεφάλαιο 7** παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα των πειραμάτων που διενεργήθηκαν. Τέλος στο **κεφάλαιο 8** συνοψίζονται τα συμπεράσματα και η συζήτηση των αποτελεσμάτων.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

### Ελληνικές Συντομογραφίες

*E.E – Ευρωπαϊκή Ένωση*

*M.E.Λ – Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων*

*M.Π – Μικροπλαστικά*

*M.Δ – Μετεωρολογικά δεδομένα*

*Ξ.Α – Ξηρή Άμμος*

*Υ.Α – Υγρή Άμμος*

*ΧΥΤΑ – Χώροι υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων*

*ΧΥΤΥ – Χώρος υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων*

### Αγγλικές Συντομογραφίες

*ABS - Acrylonitrile butadiene styrene, Ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρένιο*

*BFA - Bioplastic feedstock alliance, Συμμαχία βιοπλαστικών πρώτων υλών*

*BPA - Bisphenol A, Δισφαινόλη Α*

*CO<sub>2</sub> - Carbon Dioxide, Διοξείδιο του άνθρακα*

*DEHP - Di(2-ethylhexyl) phthalate, Φθαλικός δι-(2-αιθυλεξυλ) εστέρας*

*FTIR – Fourier transformed infrared spectroscopy*

*Gr/L - Grams/Liter, Γραμμάρια / Λίτρο*

*HDPE - High-density polyethylene, Μεγάλης πυκνότητας πολυαιθυλένιο*

*Kg – Kilograms, Κιλά*

*LDPE - Low-density polyethylene, Μικρής πυκνότητας πολυαιθυλένιο*

*Mt – Megaton, Μεγατόνος (1 Mt = 1.000.000.000 Kg)*

*N<sub>2</sub>O - Nitrous oxide, Υποξείδιο του αζώτου*

*NIR – Near infrared spectroscopy*

*NMT – Nuclear magnetic resonance*

*PBDE - Polybrominated Diphenyl Ethers, Πολυβρωμιούχοι Διφαινυλ-αιθέρες*

*PC – Polycarbonic, Πολυκαρβονυλικό*

*PE – Polyethylene, Πολυαιθυλένιο*

*PET – Polyethylene terephthalate , Τερεφθαλικό Πολυαιθυλένιο*

*PHA – Polyhydroxyalkanoate, Πολύ-υδροξυ-αλκανοειδές*

*PLA - Polylactic acid, Πολύ-λακτικό οξύ*

*POP - Persistent Organic Pollutants, Έμμονοι οργανικοί ρύποι*

*PP – Polypropylene, Πολυπροπυλένιο*

*PS – Polystyrene, Πολυστυρένιο*

*PU – Polyurethane, Πολυουρεθάνη*

*PVC – Polyvinylchloride, Χλωριούχο πολυβινύλιο ή Πολυβινυλοχλωρίδιο*

*SEM-EDS – Scanning electron microscopy and energy dispersive X – ray spectroscopy*

*TBBPA - Tetrabromobisphenol A, Τετραβρωμοδισφαινόλη Α*

*VOCs – Volatile Organic Compounds, Πτητικές οργανικές ενώσεις*

*WtE – Waste to Energy, Απόβλητα για ενέργεια ή ανάκτηση ενέργειας*

*WWF - World Wide Fund for Nature*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### 1.1 Εισαγωγή στο πλαστικό

Το πλαστικό έχει ενσωματωθεί στην καθημερινή ζωή μας, αποτελώντας αναπόσπαστο μέρος της σύγχρονης κοινωνίας. Η ανάπτυξη της πλαστικής βιομηχανίας έχει επιτρέψει τη δημιουργία ποικίλων προϊόντων που καλύπτουν τις ανάγκες μας σε καθημερινό επίπεδο. Τα πλαστικά χρησιμοποιούνται στις συσκευασίες τροφίμων, στην ιατρική, στην αυτοκίνηση, στα ηλεκτρικά είδη, στα ρούχα, και σε πολλές άλλες εφαρμογές.

Η πλαστική βιομηχανία έχει επίσης συμβάλλει στην ευκολία, στην ανθεκτικότητα και στην οικονομικότητα των προϊόντων που παράγονται. Τα πλαστικά υλικά έχουν αντικαταστήσει παραδοσιακά υλικά, όπως το ξύλο και το μέταλλο, σε πολλές εφαρμογές λόγω της ευκολίας τους στην επεξεργασία και της καλής τους αναλογίας αντοχής προς βάρος [58].

Ωστόσο, η ένταση της εξάρτησής μας από το πλαστικό δημιουργεί μια σειρά περιβαλλοντικών προβλημάτων. Η υψηλή παραγωγή πλαστικών οδηγεί στην περιττή χρήση αποθεματικών πετρελαίου, προκαλώντας απερίσκεπτη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων. Επιπλέον, το πλαστικό αποτελεί μεγάλο πρόβλημα στη διάσπαση των αποβλήτων, καθώς η αντοχή του διαρκεί εκατοντάδες χρόνια πριν αποσυντεθεί.

Η ανάγκη για βιώσιμη διαχείριση των πλαστικών και των μικροπλαστικών είναι επιτακτική. Στρατηγικές όπως η ενίσχυση της ανακύκλωσης, η προώθηση της βιοδιασπασιμότητας των πλαστικών, η μείωση της χρήσης μικροπλαστικών σε προϊόντα κατανάλωσης και η προαγωγή της κυκλικής οικονομίας μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση της περιβαλλοντικής επίπτωσης και στην προστασία του πλανήτη μας. Η εξάρτηση των ανθρώπων από το πλαστικό έχει οδηγήσει τον ίδιο να αντιμετωπίζει καθημερινά περιβαλλοντικά προβλήματα [12].



## **1.2 Τι είναι πλαστικό**

Τα πλαστικά ορίζονται ως συνθετικά υλικά που παράγονται από πολυμερή, τα οποία αποτελούνται από μεγάλες μονάδες μορίων. Αυτές οι μονάδες, γνωστές ως μονομερή, επαναλαμβάνονται για να δημιουργηθούν τα πλαστικά. Πρόκειται για ευέλικτα υλικά που μπορούν να λάβουν διάφορες μορφές, ανάλογα με τον σκοπό χρήσης τους. Τα πλαστικά υλικά έχουν ευρεία γκάμα εφαρμογών και χρησιμότητες, καθώς μπορούν να πάρουν το επιθυμητό σχήμα, χρώμα και μορφή, καθώς και να προσαρμοστούν στις απαιτήσεις της χρήσης τους [58].

Τα πλαστικά συνήθως προέρχονται από πετροχημικά, όπως το αργό πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και τον άνθρακα, μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται πολυμερισμός. Τα τελευταία χρόνια, λόγω της μείωσης των ορυκτών πόρων, οι επιστήμονες αναγκάστηκαν να αναζητήσουν νέους τρόπους παραγωγής πλαστικού ή μείωσης της χρήσης πετροχημικών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την χρήση περισσότερων βιοκαυσίμων, τα οποία αποτελούν εναλλακτικές πηγές καυσίμων και προέρχονται από τη βιομάζα φυτών, όπως το καλαμπόκι, το βαμβάκι, η ελαιοκράμβη, ο ηλίανθος και άλλα [12, 15, 58].

## **1.3 Πολυμερισμός**

Πολυμερισμός είναι η διαδικασία κατά την οποία πολλά μονομερή, τα οποία είναι μόρια με πολλές δραστικές λειτουργικές ομάδες, αντιδρούν μεταξύ τους και ενώνονται χημικά δημιουργώντας ομοιοπολικούς δεσμούς δημιουργώντας μια μακριά αλυσίδα που ονομάζεται πολυμερές. Ο πολυμερισμός μπορεί να γίνει μέσω διαφόρων μηχανισμών, ανάλογα με τον τύπο της αντίδρασης και τις συνθήκες που επικρατούν. Δυο από τους κύριους τύπους πολυμερισμού είναι ο πολυμερισμός προσθήκης και ο πολυμερισμός συμπύκνωσης [3].

#### **1.4 Σύντομη εισαγωγή στο κύκλο ζωής του πλαστικού**

Τα πλαστικά έχουν φέρει την επανάσταση στη βιομηχανία λόγω των πλεονεκτημάτων τους. Είναι ελαφριά, ανθεκτικά στον χρόνο και στην υγρασία, έχουν σχετικά χαμηλό κόστος παραγωγής και μπορούν να παραχθούν μαζικά και σε μικρό χρονικό διάστημα σε μεγάλες ποσότητες. Μπορεί το πλαστικό να «έλυσε» τα χέρια του ανθρώπινου είδους και να είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής μας χρήσης, αλλά τα τελευταία χρόνια η χρήση των πλαστικών έχει οδηγήσει σε πολλές περιβαλλοντικές ανησυχίες. Κάποιες από αυτές είναι τα πλαστικά απόβλητα και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Η σωστή διαχείριση των πλαστικών απορριμμάτων, η ανακύκλωση, η ανάπτυξη εναλλακτικών λύσεων παραγωγής πλαστικού ακόμα και η ολική αντικατάσταση του είναι πλέον απαραίτητη για την μείωση της περιβαλλοντικής βλάβης που μπορεί να προκαλέσει και την προώθηση μιας πιο κυκλικής οικονομίας [5].

Το πλαστικό είναι ένα προϊόν παραγωγής που δεν μένει αμετάβλητο στην πάροδο του χρόνου. Μπορεί να είναι ένα ανθεκτικό στο χρόνο υλικό, αλλά οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι σαφώς πιο ισχυρές, με αποτέλεσμα να ακολουθήσει την φυσική τροπή των πραγμάτων και με την σειρά του να αποικοδομηθεί. Το αποτέλεσμα αυτής της αποικοδόμησης αφήνει ελεύθερα στο περιβάλλον μικρότερα τεμάχια, εν μέρει μικροπλαστικά, και χημικές ενώσεις, οι οποίες μελετώνται σχετικά με την τοξικότητά τους. Τα μικροπλαστικά, στα οποία επικεντρώνεται η παρούσα εργασία, αναπτύσσονται και μελετώνται στα επόμενα κεφάλαια 5 έως 8 [5, 58].

#### **1.5 Μια μικρή ιστορία για το λόγο δημιουργίας του πλαστικού**

Κάπου στα μέσα του 19ου αιώνα και στα τέλη της βιομηχανικής επανάστασης, ο άνθρωπος σαν είδος είχε την ανάγκη του εκσυγχρονισμού της ζωής του και της διευκόλυνσής της. Με αποτέλεσμα το πλαστικό να πάρει με τη σειρά του τη σκυτάλη και να «λύσει» τα χέρια των ανθρώπων της τότε εποχής [1, 2].

Πίσω στο μακρινό 1863, ένας διάσημος παίκτης μπιλιάρδου εν ονόματι Μάικλ Φέλαν (Michael Phelan), εκφράζοντας τις ανησυχίες του για το αγαπημένο του άθλημα που τον

έκανε πλούσιο, οδήγησε σε μια ακολουθία ανακάλυψης του πλαστικού και της μαζικής παραγωγής του. Ο Φέλαν λοιπόν ανησυχούσε για τη βιωσιμότητα των αγαπημένων του «μαγικών σφαιριδίων», αφού εκείνη τη χρονική περίοδο οι μπάλες του μπιλιάρδου κατασκευάζονταν σκαλισμένες στο χέρι κατευθείαν από χαυλιόδοντες ελεφάντων, γνωστό και ως ελεφαντόδοντο.

Παρόλο που το ελεφαντόδοντο ήταν ένα από τα πιο σκληρά υλικά που μπορούσε να προσφέρει η φύση εκείνη την εποχή, δεν έπαυε να είναι ένα υλικό με μεγάλο κόστος, και οι κακοφτιαγμένες μπάλες δεν μπορούσαν να αντέξουν τα επαναλαμβανόμενα χτυπήματα χωρίς να επέλθει θραύση. Λόγω αυτού, ο Φέλαν οδηγήθηκε στην ιδέα να προσφέρει 10.000 δολάρια σε όποιον κατάφερνε να κατασκευάσει μια μπάλα από άλλο υλικό που να αντέχει σε χτυπήματα, να είναι σκληρή, αλλά και χαμηλού κόστους [1, 2].

Έτσι, ένας άνδρας με το όνομα Τζον Γουέσλι Χάιατ (John Wesley Hyatt) απάντησε στο κάλεσμα και ασχολήθηκε με κάποιες αρχικές συνταγές που δεν τον οδήγησαν σε κάποιο αποτέλεσμα, ανακατεύοντας και δημιουργώντας έναν πυρήνα από ίνες ξύλου, καλυμμένο από γομαλάκα (ρητίνη που εκκρίνεται από το έντομο *Lac* του είδους *Kerria lacca*). Αυτό όμως δεν είχε τη σκληρότητα του ίδιου του ελεφαντόδοντου, με αποτέλεσμα οι παίκτες του παιχνιδιού να το απορρίπτουν [1, 2].

Στη συνέχεια, ο Χάιατ άρχισε να πειραματίζεται με τη νιτροκυτταρίνη, η οποία είναι βαμβάκι επεξεργασμένο με νιτρικό και θειικό οξύ. Αυτό όμως ήταν επικίνδυνο και εξαιρετικά εύφλεκτο. Διαλύοντας όμως νιτρική κυτταρίνη σε αλκοόλη και αιθέρα, μπορούσε να δημιουργηθεί μια ένωση που ονομάζεται κολλίδιο. Ο Χάιατ έπειτα ανακάτεψε το κολλίδιο με καμφορά και δημιούργησε μια ένωση, η οποία ονομάστηκε κελουλοΐτη. Αυτή η ένωση ήταν ισχυρή και εύπλαστη, αλλά ταυτόχρονα είχε κάποιες ατέλειες. Έχοντας ανακατευτεί με νιτρική κυτταρίνη, καθιστούσε την ένωση αρκετά ευμετάβλητη. Αυτό σήμαινε, όπως και ο ίδιος ο δημιουργός της παραδέχτηκε, ότι μια βίαιη πρόσκρουση με άλλες μπάλες και ένα αναμμένο πούρο ίσως προκαλούσε μια μικρή έκρηξη μικρής κλίμακας.

*\*Το ελεφαντόδοντο, γνωστό και ως φιλντίσι, είναι ένα υλικό που παράγεται από χαυλιόδοντες ή δόντια του ελέφαντα και άλλων ζώων που φέρουν στο σώμα τους μεγάλα δόντια ή κέρατα, όπως για παράδειγμα ο*

*ρινόκερος. Αποτελείται από οδοντίνη και είναι παρόμοιο με το φυσικό οστικό ιστό. Πρόκειται για ένα πολύτιμο υλικό της αρχαιότητας.*

Αυτό όμως δεν είχε καμία σημασία, καθώς οι μπάλες από κελουλοΐτη συμπεριφερόντουσαν αρκετά σαν ελεφαντόδοντο, και οι παίκτες του παιχνιδιού το ονόμασαν «Μικτή ευλογία» [1, 2].

Ωστόσο, παρότι ο κελουλοΐτης θεωρείται πλαστικό, ήταν σε ένα μεγάλο ποσοστό φτιαγμένος από φυσικά υλικά. Με αυτό τον τρόπο ο Χάιατ είχε καταφέρει να δημιουργήσει το πρώτο πλαστικό μαζικής παραγωγής, όπου με την κατάλληλη θερμοκρασία και πίεση μπορούσε να διαμορφωθεί σε κάθε είδους σχήμα και να έχει διαφορετική χρησιμότητα πέρα από μια απλή σφαίρα. Αυτό οδήγησε τους επιστήμονες της τότε εποχής σε μια ακολουθία ερευνών για δημιουργία, αφήνοντας τη φαντασία τους να δημιουργήσει ό,τι αυτή θέλει [1, 2].

Παράλληλα, βέβαια, εκείνη την εποχή, ο Alexander Parkes παρασκεύασε το πρώτο, ουσιαστικά, πλαστικό πολυμερές, το 1855. Το πολυμερές αυτό ονομάστηκε Parkesine και είχε ως βάση την κυτταρίνη. Ο Χάιατ, ουσιαστικά, κατάφερε να εμπορευματοποιήσει και να εξελίξει τεχνικά το πρώτο χρονικά πλαστικό που παρασκευάστηκε, δηλαδή κάτι που δεν κατάφερε ποτέ ο Parkes να κάνει.

Οι επιστήμονες, το 1907, μετά από αυτήν την ανακάλυψη, κατάφεραν να δημιουργήσουν το πρώτο συνθετικό πλαστικό, τον Βακελίτη, ένα θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές της ρητίνης φαινόλης-φορμαλδεΰδης. Χημικά αυτό προκύπτει μετά από αντίδραση της φαινόλης με τη φορμαλδεΰδη κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Η ανακάλυψη του συνθετικού πλαστικού ήταν απαραίτητη, αφού η στροφή της ανθρωπότητας στην ηλεκτρική ενέργεια οδήγησε τις κατασκευάστρες εταιρίες σε μαζική παραγωγή καλωδίων και μονωτήρων. Αυτό σήμαινε ότι πλαστικά, τα οποία φτιάχνονταν από φυσικά υλικά που προέρχονταν από έντομα, σιγά σιγά θα έρχονταν σε έλλειψη, λόγω της μεγάλης ποσότητας φυσικού υλικού που θα ήταν απαραίτητο. Έτσι, οι επιστήμονες, γνωρίζοντας πώς να δημιουργήσουν συνθετικά πλαστικά, την ώρα που η βιομηχανία πετρελαίου άνθιζε, μπορούσαν να αντικαταστήσουν τα φυσικά υλικά με συνθετικά ένα προς ένα. Επίσης, ο ρυθμός παραγωγής πλαστικού και αντικατάστασης των φυσικών υλικών αυξήθηκε κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου πολέμου, όπου το συνθετικό

νάιλον αντικατέστησε το βαμβάκι και το καθαρό καουτσούκ πήρε τη θέση του συνθετικού [1, 2].

Συμπερασματικά καταλήγουμε ότι η εξέλιξη του ανθρώπινου είδους οδήγησε στην δημιουργία νέων υλικών, τόσο για την διευκόλυνση της ζωής του όσο και για την τεχνολογική ανάπτυξη. Από την ανάγκη της ανακάλυψης νέου τρόπου παραγωγής μιας μπάλας μπιλιάρδου, για ένα πιο βιώσιμο τρόπο προς το περιβάλλον αλλά και για μαζική παραγωγή, οδήγησε αυτή η αρχική ανακάλυψη στην εξέλιξη της βιομηχανίας πλαστικών της σημερινής εποχής. Από τα δοχεία αναψυκτικών, τους υπολογιστές, τις σακούλες μεταφοράς, τα ρούχα, τα καλλυντικά μέχρι και τα ιατρικά είδη όλα είναι φτιαγμένα από το ίδιο υλικό και αυτό είναι το πλαστικό. Το πλαστικό παρόλο που «έλυσε» τα χέρια της ανθρωπότητας, την έχει βάλει σε ένα φαύλο κύκλο μείωσης της χρήσης του για περιβαλλοντικούς λόγους. Τόσο η ανακύκλωση των πλαστικών όσο και η πλήρης αντικατάστασή τους έχει οδηγήσει τους επιστήμονες σε νέες ανακαλύψεις και τρόπους παραγωγής τους. Τα βιοδιασπώμενα πλαστικά έχουν κάνει την εμφάνισή τους χωρίς βέβαια ακόμα να γνωρίζουμε αν όντως είναι φιλικά προς το περιβάλλον, δημιουργώντας νέες μελέτες. Κάθε μια δημιουργία πάνω στην Γη δεν παύει να έχει και μια περιβαλλοντική επίπτωση, αυτό όμως δεν σημαίνει ότι ο άνθρωπος θα σταματήσει να ανακαλύπτει. Από μια μπάλα του μπιλιάρδου σε ένα πλέον «πλαστικό πλανήτη» [1, 2].

## **1.6 Σκοπός της εργασίας**

Η παρούσα πτυχιακή εργασία που διεξήχθη, μελέτησε ένα σημαντικό και πολύ επίκαιρο περιβαλλοντικό ζήτημα, την παρουσία των μικροπλαστικών στο παράκτιο θαλάσσιο περιβάλλον. Μέσω της θεωρητικής ανάλυσης που παρουσιάζεται στα πρώτα πέντε κεφάλαια της εργασίας, γίνεται κατανοητός ο κύκλος ζωής του πλαστικού γενικότερα, αλλά και ειδικότερα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Επίσης μέσω της πειραματικής διαδικασίας στην παράκτια ζώνη της παραλίας της «Νέας Χώρας» στην πόλη Χανιά της Κρήτης, αναδεικνύεται η πραγματική εικόνα της ύπαρξης, διασποράς, ταξινόμησης και ποσοτικοποίησης μικροπλαστικών στο συγκεκριμένο παράκτιο περιβάλλον μέσω απλών μεθόδων συλλογής και χαρακτηρισμού αυτών.

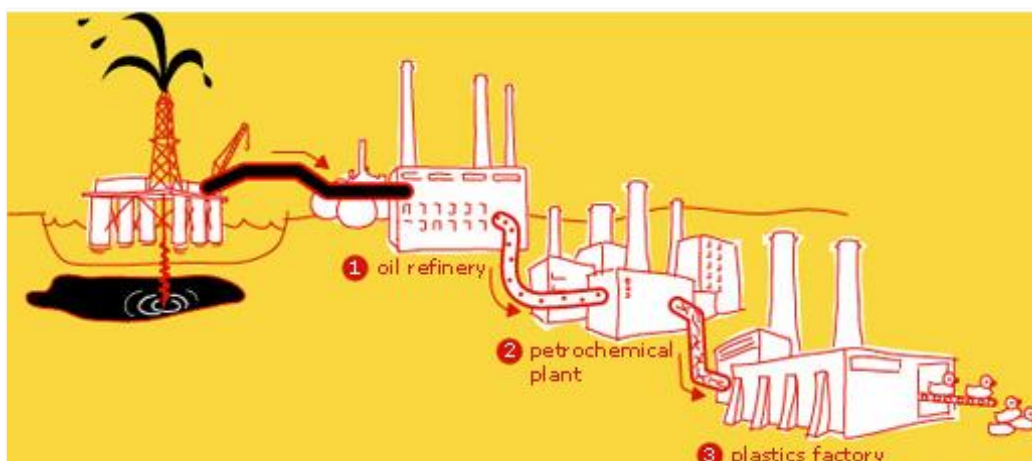
Σκοπός της εργασίας, λοιπόν, είναι η διερεύνηση της ύπαρξης μικροπλαστικών, πως δημιουργούνται, από που προέρχονται και τι επιπτώσεις δημιουργούν στο περιβάλλον. Επίσης, έχει μελετηθεί η συσσώρευση και καταμέτρηση μικροπλαστικών, η ταξινόμηση τους με βάση τη βιβλιογραφία και η συγκέντρωσή τους σε γραμμάρια πλαστικού ανά λίτρο υγρής ή γραμμάρια ξηρής άμμου στο δυτικό κομμάτι της παράκτιας ζώνης στην παραλία «Νέα Χώρα» στα Χανιά της Κρήτης. Τέλος, μέσω της αλίευσης ιχθύων αναδείχθηκε η παρουσία μικροπλαστικών σε ζωντανούς θαλάσσιους οργανισμούς, γεγονός το οποίο μπόρεσε να υλοποιηθεί λόγω της αγάπης για τη θάλασσα και της εμπειρίας μου στο υποβρύχιο ψάρεμα και στην ανατομία ιχθύων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ

### 2.1 Από ακατέργαστο πετρέλαιο σε πλαστικά

Τα πλαστικά παράγονται από οργανικές πηγές. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πλαστικού προέρχονται από φυσικούς πόρους, όπως η κυτταρίνη, ο άνθρακας, το φυσικό αέριο, το αλάτι και το ακατέργαστο πετρέλαιο [58].

Το ακατέργαστο πετρέλαιο είναι ένα σύνθετο μείγμα πολλών διαφορετικών ενώσεων, και για να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή πλαστικών, πρέπει να υποστεί μια σειρά επεξεργασιών. Η διαδικασία ξεκινά με την απόσταξη του ακατέργαστου πετρελαίου σε εργοστάσια διύλισης πετρελαίου. Κατά την απόσταξη, το ακατέργαστο πετρέλαιο διαχωρίζεται σε διάφορα κλάσματα πετρελαίου. Κάθε κλάσμα αποτελείται από ένα μείγμα υδρογονανθράκων που διαφέρουν σε χημική σύσταση. Ένα από τα κλάσματα, γνωστό και ως νάφθα, είναι απαραίτητο για την παραγωγή πλαστικών. Η διαδικασία που ακολουθείται για την παραγωγή πλαστικών ονομάζεται πολυμερισμός, κατά τη διάρκεια του οποίου μονομερή όπως το προπυλένιο και το αιθυλένιο, ενώνονται μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς και δημιουργούν μεγάλες αλυσίδες πολυμερών. Κάθε πολυμερές έχει τις δικές του ιδιότητες, δομή και μέγεθος, ανάλογα με τα διάφορα είδη μονομερών που χρησιμοποιούνται [3].



Εικόνα 2.1: Διαδικασία παραγωγής πλαστικού από το σημείο εξόρυξης μέχρι και το εργοστάσιο παραγωγής [5].

1. Oil refinery: Διυλιστήριο πετρελαίου
2. Petrochemical plant: Πετροχημικό εργοστάσιο
3. Plastics factory: Εργοστάσιο παραγωγής πλαστικών

Παρά το γεγονός ότι τα πλαστικά έχουν υπάρξει για περίπου 100 χρόνια, θεωρούνται προϊόντα της σύγχρονης εποχής σε σύγκριση με τα παραδοσιακά υλικά όπως ξύλο, το μέταλλο, το χαρτί και άλλα. Κατά την τελευταία δεκαετία η παραγωγή του πλαστικού έχει σημειώσει πολύ σημαντικές τεχνολογικές προόδους με την εισαγωγή νέων σχεδιαστικών λύσεων, περιβαλλοντικών μέτρων, προστασίας και μείωσης του κόστους παραγωγής [5].

## **2.2 Μια πιο αναλυτική εξέταση της διαδικασίας παραγωγής**

Η διαδικασία παραγωγής πλαστικού περιλαμβάνει μια σειρά από πολλά στάδια. Αν και συχνά αναφερόμαστε στο προϊόν που ονομάζουμε πλαστικό ως ένα απλό υλικό, η διαδικασία παραγωγής και μορφοποίησής του, έτσι ώστε να το εκμεταλλευτεί ο άνθρωπος, είναι σύνθετη και περιλαμβάνει πολλά στάδια. Από την πρώτη ύλη, η οποία από τα παλιά χρόνια μέχρι και σήμερα αλλάζει συνεχώς λόγω των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, της εξέλιξης της παραγωγής και της αναζήτησης νέων και αειφόρων πρώτων υλών, μέχρι και το στάδιο παραγωγής του τελικού προϊόντος και τη μορφοποίησή του [54].

Η αναλυτική διαδικασία παραγωγής πλαστικού περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια [54]:

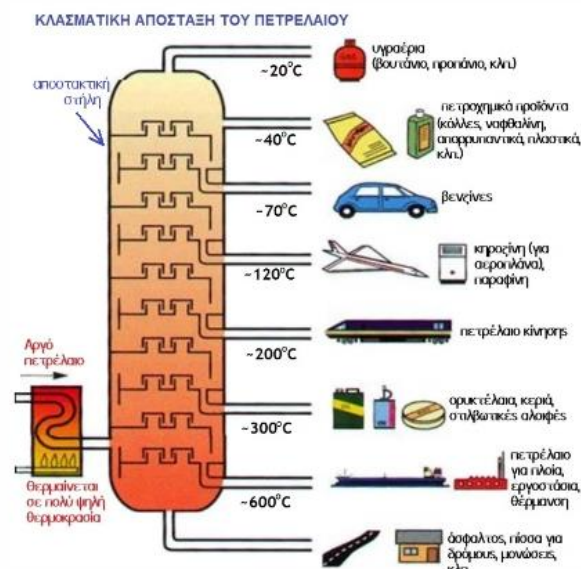
- Εκχύλιση Πρώτων Υλών (Raw Material Extraction): Η παραγωγή πλαστικού ξεκινάει από την εξόρυξη ή τη σύνθεση των πρώτων υλών. Η πιο κοινή σε όλους μας πλέον πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή πλαστικών είναι ένα πολύπλοκο μείγμα υδρογονανθράκων που ονομάζεται αργό πετρέλαιο. Το αργό πετρέλαιο εξάγεται από υπόγεια αποθέματα, κοιτάσματα πετρελαίου, μέσω της διαδικασίας της γεώτρησης (εικόνα 2.1).
- Διύλιση και πυρόλυση (Refining and Cracking): Το αργό πετρέλαιο υφίσταται μία διαδικασία διύλισης κατά την οποία αφαιρούνται ακαθαρσίες και ανεπιθύμητα συστατικά. Κάποιες από αυτές τις ακαθαρσίες και τα ανεπιθύμητα συστατικά είναι :
  - Νερό



- Ακαθαρσίες και στερεά σωματίδια
- Θείο
- Αέρια

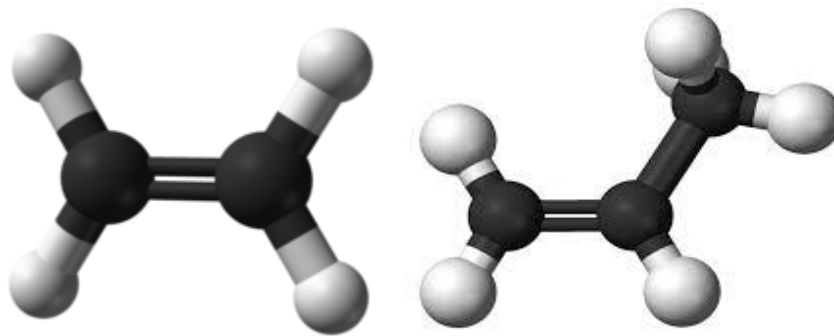
Οι ακαθαρσίες που αφαιρούνται κατά την διαδικασία της διύλισης, επεξεργάζονται ή διατίθενται ανάλογα με την σύσταση τους και τον τύπου του για άλλες χρησιμότητες. Για παράδειγμα το νερό και τα στερεά σωματίδια πριν την τελική τους αποβολή στο περιβάλλον, υποβάλλονται σε διαδικασίες καθαρισμού. Το θείο χρησιμοποιείται σε άλλες βιομηχανικές διαδικασίες και τα αέρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες εφαρμογές για παράδειγμα στην παραγωγή ενέργειας ή χρήση σε χημικές διεργασίες.

Συνεχίζοντας η διαδικασία της διύλισης και της πυρόλυσης περιλαμβάνει την θέρμανση και τον διαχωρισμό του αργού πετρελαίου σε διάφορα κλάσματα με βάση τα σημεία βρασμού τους. Ένα από αυτά τα κλάσματα, το ονομαζόμενο νάφθα, είναι ένα κρίσιμο συστατικό για την παραγωγή πλαστικών. Στην εικόνα 2.2. απεικονίζεται η κλασματική απόσταση του αργού πετρελαίου και κάποιες από τις χρήσεις του κάθε κλάσματος.



Εικόνα 2.2 : Κλασματικός διαχωρισμός του αργού πετρελαίου με απόσταση και χρήσεις κλασμάτων [65].

- Παραγωγή μονομερών (monomer production): Η νάφθα επεξεργάζεται περαιτέρω μέσω μιας τεχνικής που ονομάζεται πυρόλυση. Αυτή η διαδικασία διασπά τα πολύπλοκα μόρια των υδρογονανθράκων στην νάφθα σε απλούστερα μόρια που ονομάζονται μονομερή. Όπως προαναφέρθηκε, κάποια από τα μονομερή που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη ποσότητα για την παραγωγή πλαστικών περιέχουν αιθυλένιο και προπυλένιο (Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3: Χημική δομή αριστερά του αιθυλενίου ή αλλιώς αιθενίου και δεξιά του προπυλενίου ή αλλιώς προπενίου. Οι μαύρες σφαίρες απεικονίζουν τα άτομα άνθρακα ( C), ενώ οι ανοιχτόχρωμες τα άτομα υδρογόνου ( H ). Επίσης απεικονίζεται και ο διπλός δεσμός μεταξύ των ατόμων C.

- Πολυμερισμός ( Polymerization): Τα μονομερή που λαμβάνονται από την πυρόλυση που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, υποβάλλονται στην διαδικασία πολυμερισμού (Βλέπε παράγραφο 2.1). Ο πολυμερισμός μπορεί να ξεκινήσει με πολλές διαφορετικές μεθόδους, όπως για παράδειγμα με τη βοήθεια της θερμότητας, της πίεσης ή με την χρήση καταλυτών [3].
- Επεξεργασία πολυμερών ( Polymer Processing ) : Μόλις σχηματιστούν τα πολυμερή, μπορούν να υποβληθούν σε περαιτέρω επεξεργασία για να επιτευχθεί το επιθυμητό σχήμα και οι ιδιότητες. Οι μέθοδοι επεξεργασίας πολυμερών περιλαμβάνουν εξώθηση, χύτευση με έγχυση, χύτευση με εμφύσηση και άλλες. Αυτές οι τεχνικές

περιλαμβάνουν τη θέρμανση του πολυμερούς και τη διαμόρφωση του χρησιμοποιώντας καλούπια ή μήτρες.

- Πρόσθετα και βελτιώσεις (Additives and enhancements): Κατά τη διαδικασία παραγωγής του πλαστικού μπορούν να προστεθούν πρόσθετα, τα οποία ενισχύουν τις ιδιότητες του, όπως για παράδειγμα τη σκληρότητα, την ευελιξία, τη σταθερότητα, την εμφάνιση ή ακόμα και την αντίσταση στη φωτιά και την ανθεκτικότητα σε χημικές ενώσεις. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη πλαστικοποιητών, σταθεροποιητών, χρωστικών ουσιών και επιβραδυντικών φλόγας.
- Ποιοτικός έλεγχος και δοκιμή (Quality control and testing): Καθ' όλη την διαδικασία παραγωγής του πλαστικού εφαρμόζονται μέτρα ποιοτικού ελέγχου για να διασφαλιστεί ότι το πλαστικό πληροί τις προϋποθέσεις και τα απαιτούμενα πρότυπα. Αυτό περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τη δοκιμή των φυσικών μηχανικών ιδιοτήτων του πλαστικού για να διασφαλιστεί ότι πληροί τις επιθυμητές προδιαγραφές.
- Σχηματισμός του τελικού προϊόντος (Final product formation): Όταν το πλαστικό έχει υποστεί όλες τις επεξεργασίες, διαμορφώνεται στην τελική του μορφή, η οποία μπορεί να είναι φύλλα, ίνες ή χυτευμένα μέρη. Αυτά τα τελικά προϊόντα μπορεί να χρησιμοποιηθούν από πολλές διαφορετικές βιομηχανίες ανάλογα την χρήση που προορίζονται. Κάποιες από αυτές μπορεί να είναι βιομηχανίες κατασκευής συσκευασιών, γενικών κατασκευών, αυτοκινητοβιομηχανίες, ηλεκτρονικών ειδών και πολλές άλλες.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η χρήσεις που αναφέρονται παραπάνω, και ο τρόπος παραγωγής αντιστοιχεί σε γενικά παραδείγματα και ότι οι πλαστικές εφαρμογές μπορεί να διαφέρουν πολύ μεταξύ των βιομηχανιών και ανάλογα των απαιτήσεων του κάθε προϊόντος [7].

### **2.3 Κατηγορίες πλαστικών , χαρακτηριστικά και εφαρμογές τους**

Όπως προαναφέρθηκε, τα πλαστικά έχουν εφαρμογές σε πολλές βιομηχανίες γιατί προσφέρουν εξαιρετική ευελιξία, οικονομική απόδοση και ανθεκτικότητα σε σύγκριση με άλλους τύπους υλικών. Παρακάτω στο κείμενο αναφέρονται κάποιες από τις βασικές κατηγορίες πλαστικών, όπως το πολυαιθυλένιο (PE), το πολυπροπυλένιο (PP), το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), το πολυστυρένιο (PS), το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET), η πολυουρεθάνη (PU), το πολυανθρακικό (PC) και το ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρόλιο (ABS). Κάθε κατηγορία πλαστικού εξετάζεται λεπτομερώς στη συνέχεια, δίνοντας έμφαση στα μοναδικά χαρακτηριστικά της, όπως η ευκαμψία, η αντοχή, η διαφάνεια και η αντοχή σε χημικές ενώσεις. Επίσης, η ανασκόπηση που ακολουθεί, δίνει έμφαση στις ποικίλες εφαρμογές αυτών των πλαστικών, που καλύπτουν βιομηχανίες όπως οι κατασκευαστικές, η αυτοκινητοβιομηχανία, τα ηλεκτρονικά, τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, οι συσκευασίες και άλλες. Οι ερευνητές, οι επαγγελματίες και οι ενδιαφερόμενοι, μελετώντας την πληθώρα διαφορετικών εφαρμογών που μπορεί να έχει κάθε κατηγορία πλαστικού, μπορούν να λάβουν τεκμηριωμένες αποφάσεις για την επιλογή υλικού και να αξιοποιήσουν το τεράστιο δυναμικό των πλαστικών στους αντίστοιχους τομείς τους [6, 7]. Ακολουθούν κάποιες από τις σημαντικότερες και πιο ευρέως διαδεδομένες κατηγορίες πλαστικών [12, 58]:

- Πολυαιθυλένιο (PE - Polyethylene): Το πολυαιθυλένιο είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο πλαστικό γνωστό για την ευελιξία του. Είναι ελαφρύ, εύκαμπτο και έχει εξαιρετική χημική αντοχή. Υπάρχουν διάφοροι τύποι πολυαιθυλενίου, συμπεριλαμβανομένου του πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (HDPE – προσθήκη αγγλικής ορολογίας) και του πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE – προσθήκη αγγλικής ορολογίας). Το HDPE είναι άκαμπτο και ισχυρό, καθιστώντας το κατάλληλο για εφαρμογές όπως σωλήνες, μπουκάλια και δοχεία μεταφοράς. Επίσης, έχει εξαιρετικά μεγάλη χημική αντοχή, το οποίο σημαίνει ότι δεν επηρεάζεται από ισχυρά οξέα και είναι ανθεκτικό σε ήπια οξειδωση. Το LDPE, από την άλλη πλευρά, είναι πιο ευέλικτο και χρησιμοποιείται συχνά για υλικά συσκευασίας, πλαστικές σακούλες και μεμβράνες. Το υλικό αυτό είναι ένας πολύ κοινός τύπος πλαστικού, είναι εξαιρετικά οικονομικό και επίσης πολύ καλός ηλεκτρικός μονωτής.

- Πολυπροπυλένιο (PP - Polypropylene) (Εικόνα 2.5): Το πολυπροπυλένιο είναι ένα θερμοπλαστικό πολυμερές που παρουσιάζει εξαιρετική σκληρότητα, ακαμψία και αντοχή στη θερμότητα. Έχει υψηλό σημείο τήξης, που το καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Κάποιες από συχνότερες εφαρμογές του είναι σε πλαστικές συσκευασίες αποθήκευσης τροφίμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη θερμότητα ενός οικιακού φούρνου ή φούρνου μικροκυμάτων, χωρίς να αλλοιωθούν. Επίσης, το PP είναι εξαιρετικά ελαφρύ, έχει καλή χημική αντοχή και είναι ανθεκτικό στα χτυπήματα και στην κόπωση. Χρησιμοποιείται συνήθως σε συσκευασίες, ανταλλακτικά αυτοκινήτων, υφάσματα, ιατρικές συσκευές, οικιακά είδη και διάφορες άλλες βιομηχανικές εφαρμογές. Επίσης χρησιμοποιείται και σε εργαστηριακό εξοπλισμό χάρη στη θερμοανθεκτικότητά του και στη χημική του αντοχή (παράδειγμα: ογκομετρικοί σωλήνες) [12].
  
- Χλωριούχο πολυβινύλιο ή Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC - Polyvinyl Chloride): Το Πολυβινυλοχλωρίδιο, γνωστό και ως PVC (Εικόνα 2.5), είναι ένα από τα πρώτα πλαστικά που παρασκευάστηκαν και είναι ευρέως γνωστό λόγω των ιδιοτήτων του. Αποτελεί ένα ευέλικτο πλαστικό που μπορεί να είναι άκαμπτο ή εύκαμπτο, ανάλογα με τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται κατά την παρασκευή του. Το PVC είναι γνωστό για την εξαιρετικά υψηλή χημική αντοχή, την αντοχή στη φλόγα και τις ιδιότητες ηλεκτρικής μόνωσης. Χρησιμοποιείται ευρέως στον κατασκευαστικό κλάδο για σωλήνες, ηλεκτρικά καλώδια, προφίλ παραθύρων και δάπεδα (Εικόνα 2.4). Το PVC χρησιμοποιείται επίσης στην παραγωγή δίσκων βινυλίου, υλικών συσκευασίας και διαφόρων καταναλωτικών αγαθών [12].

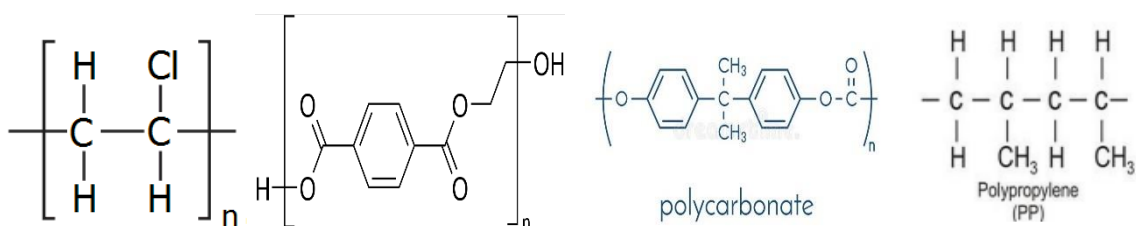


Εικόνα 2.4 : Απεικόνιση υλικών παραγωγής από PVC. Στην αριστερή εικόνα φαίνονται σωλήνες και στην δεξιά αντίστοιχα δοχεία μεταφοράς και αποθήκευσης υγρών και στερεών χημικών ουσιών.

- Πολυστυρένιο (PS - Polystyrene): Το πολυστυρένιο είναι ένα ελαφρύ και άκαμπτο πλαστικό που μπορεί να είναι διαφανές ή αδιαφανές. Έχει καλές μονωτικές ικανότητες και είναι ανθεκτικό στην υγρασία και στα χημικά υλικά. Χρησιμοποιείται σε υλικά συσκευασίας, δοχεία τροφίμων μιας χρήσης, μόνωση, προϊόντα αφρού (όπως το φελιζόλ) και καταναλωτικά αγαθά μιας χρήσης, όπως μαχαιροπήρουνα, θήκες CD και άλλα. Παράγεται από υγρό βενζόλιο ( $C_6H_6$ ) σε ανάμειξη με αέριο αιθυλένιο ( $C_2H_4$ ) για τη δημιουργία του μονομερούς στυρένιο. Έπειτα, με φυσικοχημικές αντιδράσεις, παράγεται το πολυμερές PS.
- Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET - Polyethylene terephthalate): Το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο, γνωστό και ως PET (Εικόνα 2.5), είναι ένα ισχυρό, διαφανές και ελαφρύ πλαστικό πολυμερές με εξαιρετικές ιδιότητες αντοχής σε αέρια και υγρασία. Χρησιμοποιείται συνήθως σε μπουκάλια ποτών, μεμβράνες συσκευασίας, ίνες πολυεστέρα (για υφάσματα) και μηχανολογικές εφαρμογές που απαιτούν αντοχή, διαύγεια και ανακυκλωσιμότητα.
- Πολυουρεθάνη (PU - Polyurethane): Η πολυουρεθάνη είναι ένα πολύ χρηστικό πλαστικό που μπορεί να διαμορφωθεί ανάλογα με τη χρήση που προορίζεται. Μπορεί να γίνει άκαμπτο ή εύκαμπτο ανάλογα με τις απαιτήσεις. Είναι γνωστό για την αντοχή του στην τριβή, στην ανθεκτικότητα και στην χημική

αντοχή. Χρησιμοποιείται σε έπιπλα, στρώματα, μονώσεις, κόλλες, υποδήματα, εξαρτήματα αυτοκινήτου και επιστρώσεις.

- Πολυανθρακικό (PC - Polycarbonate) (Εικόνα 2.5): Το PC είναι ένα διαφανές και ανθεκτικό πλαστικό με εξαιρετικές οπτικές ιδιότητες. Είναι γνωστό για την υψηλή αντοχή, την αντοχή στη θερμοκρασία και στην υγρασία, καθώς και στη σταθερότητα των διαστάσεών του. Χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές που απαιτούν διαφάνεια και αντοχή στις κρούσεις, όπως γυαλιά ασφαλείας, προστατευτικές ασπίδες, εξαρτήματα αυτοκινήτου, σκεπές σπιτιών, ηλεκτρικά εξαρτήματα και οπτικούς δίσκους.
- Ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρόλιο (ABS - Acrylonitrile Butadiene Styrene): Το ABS είναι ένα σκληρό και ανθεκτικό στην κρούση πλαστικό υλικό που συνδυάζει τις ιδιότητες του ακρυλονιτρίλιου, του βουταδιενίου και του στυρόλιου. Επίσης, έχει σταθερότητα στις διαστάσεις, αντοχή και αντίσταση σε χημικές ιδιότητες. Χρησιμοποιείται ευρέως στην αυτοκινητοβιομηχανία για εσωτερικά και εξωτερικά πλαστικά εξαρτήματα, σε ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης, συσκευές, παιχνίδια και εξαρτήματα σωλήνων.



Εικόνα 2.5 : Χημική απεικόνιση των ακόλουθων τύπων πλαστικών πολυμερών: 1. PVC : (πολυβινυλοχλωρίδιο), 2. PET : (Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο), 3. PC : ( Πολυανθρακικό), 4. PP : (Πολυπροπυλένιο) [28]

Συμπερασματικά, κατανοούμε ότι οι πολλές διαφορετικές κατηγορίες πλαστικών που αναφέρθηκαν, μας αποδεικνύουν την τεράστια ευελιξία και την επίδραση των υλικών αυτών στις βιομηχανίες παραγωγής καθημερινών προϊόντων. Κάθε κατηγορία πλαστικού

προσφέρει ξεχωριστά αποτελέσματα βάσει των χαρακτηριστικών της. Από τη θερμική αντοχή του πολυπροπυλενίου, την ευελιξία του πολυαιθυλενίου και την χημική αντοχή του PVC, οι βιομηχανίες έχουν καταφέρει να επαναστατήσουν στον κλάδο της παραγωγής, καθιστώντας ακόμα πιο εύκολη τη ζωή του ανθρώπου σε τομείς όπως η μεταφορά, η αποθήκευση και η παραγωγή ακόμα και μεγάλων αντικειμένων [12].

Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης πλαστικών, γίνεται ολοένα και πιο σημαντική η ανάπτυξη πιο βιώσιμων τρόπων παραγωγής και εναλλακτικών λύσεων. Οι πρωτοβουλίες ανακύκλωσης επίσης κερδίζουν συνεχώς έδαφος για την αντιμετώπιση του προβλήματος των πλαστικών αποβλήτων και των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον. Καθώς η τεχνολογία προχωρά, ανακαλύπτονται ολοένα και περισσότερες βιώσιμες μορφές πλαστικού, λαμβάνοντας υπόψη το περιβάλλον.

Σε αυτό βοηθούν οι συνεχείς μελέτες από ερευνητές και η συνεργασία των βιομηχανιών για ένα πιο βιώσιμο μέλλον, όπου τα οφέλη του πλαστικού μπορούν να αξιοποιηθούν, ελαχιστοποιώντας το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα [12].

#### **2.4 Παγκόσμια παραγωγή πλαστικού**

Τις τελευταίες δεκαετίες η παραγωγή πλαστικού έχει αυξηθεί σημαντικά. Σύμφωνα με στοιχεία, πηγές και εκθέσεις βιομηχανιών, η παγκόσμια παραγωγή πλαστικού έχει αυξηθεί από περίπου 1,5 εκατομμύριο μετρικούς τόνους την δεκαετία του 1950 σε πάνω από 360 εκατομμύρια μετρικούς τόνους το 2019. Αυτή η ευρεία χρήση των πλαστικών οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως προαναφέραμε, οι οποίοι είναι οι εφαρμογές του στις κατασκευές, στις συσκευασίες, στα ιατρικά είδη και στις αυτοκινητοβιομηχανίες. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και την ολοένα αύξηση του πληθυσμού του πλανήτη είναι απόλυτα λογικό μαζί με αυτό να αυξάνονται και οι ανάγκες για υλικά αγαθά, τα οποία είτε κατασκευάζονται από πλαστικό είτε το περιέχουν [2, 9].

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η παραγωγή πλαστικών ποικίλει ανάλογα με τις περιοχές και τις χώρες, καθώς παίζει ρόλο η βιομηχανία κάθε χώρας και, φυσικά, ο πληθυσμός της. Για παράδειγμα, η Κίνα είναι ο κορυφαίος παραγωγός πλαστικών σε όλο τον πλανήτη και, έπειτα, ακολουθούν η Ευρώπη και η Βόρεια Αμερική. Αυτό συμβαίνει διότι

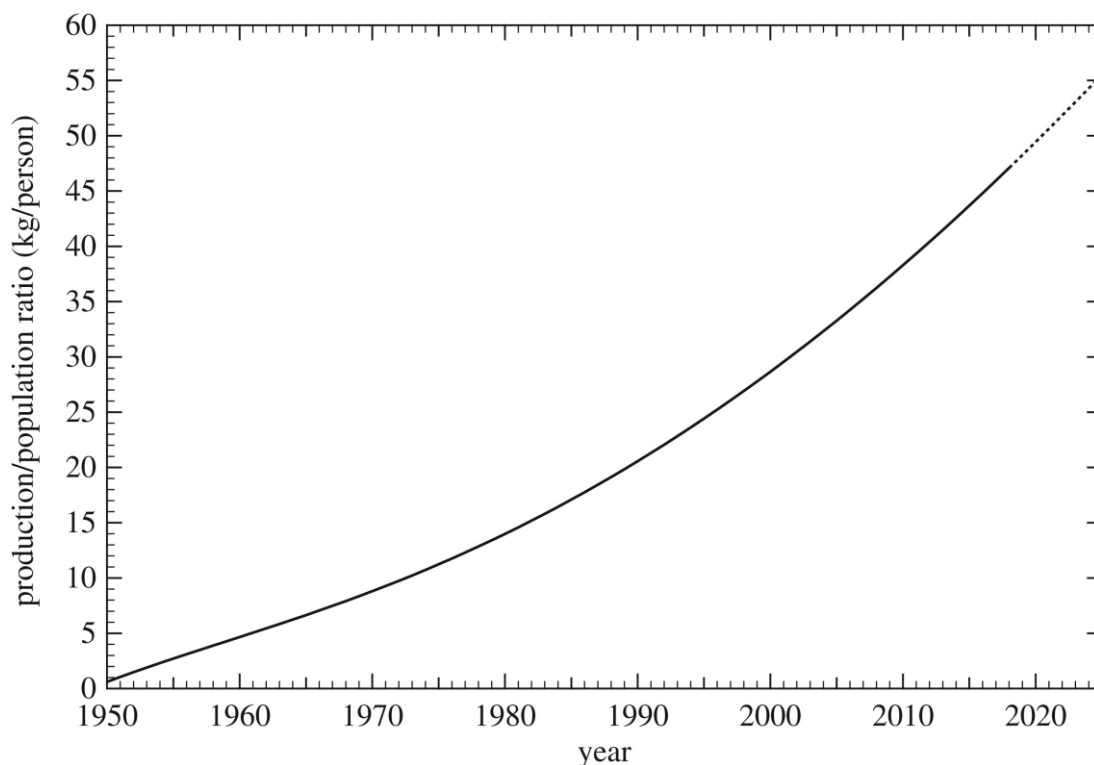


αυτές οι περιοχές έχουν δημιουργήσει εκτεταμένες παραγωγικές δυνατότητες για να ανταποκριθούν στις εγχώριες και διεθνείς απαιτήσεις.

Ένας μεγάλος λόγος αύξησης της παραγωγής του πλαστικού είναι και η ταυτόχρονη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. Από τα 2,5 δισεκατομμύρια που ήταν ο πληθυσμός το 1950, αυξήθηκε εκθετικά σε περισσότερα από 8 δισεκατομμύρια, σύμφωνα με τον πιο πρόσφατο υπολογισμό, μέχρι το Νοέμβριο του έτους 2022. Συγκριτικά, η μέση παγκόσμια παραγωγή πλαστικών ανά άτομο έχει σημειώσει μια εκπληκτική αύξηση περίπου κατά 50 φορές (Διάγραμμα 2.1). Η κατανάλωση πλαστικού όμως διαφέρει από χώρα σε χώρα λόγω της διαφοράς στην ανάπτυξη κάθε μιας χώρας, με αποτέλεσμα να υπάρχει διαφοροποίηση στην κατανάλωση πλαστικού ανά άτομο. Αν και ορισμένες χρήσεις του πλαστικού είναι καθαρά στην κρίση του κάθε ανθρώπου, όπως για παράδειγμα μια πλαστική σακούλα ή ένα καλαμάκι, ένας σημαντικός όγκος πλαστικού χρησιμοποιείται κάθε χρόνο για κοινωνικά οφέλη. Κάποια από αυτά τα παραδείγματα είναι το πλαστικό που χρησιμοποιείται για σωλήνες ύδρευσης, μονώσεις και γενικά στην κατασκευή υποδομών, καθώς επίσης και για υγειονομική προστασία [2, 50].

Ωστόσο, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής και κατανάλωσης πλαστικών. Οι υψηλοί όγκοι παραγωγής, σε συνδυασμό με τα ανεπαρκή συστήματα ανακύκλωσης και συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων διεθνώς, έχουν οδηγήσει σε σημαντικές και ίσως ανεπανόρθωτες περιβαλλοντικές προκλήσεις. Κάποιες από αυτές είναι η πλαστική ρύπανση και, πιο σωστά, η βιοσυσσώρευση πλαστικού στον πλανήτη και στους οργανισμούς, αλλά και η συσσώρευση πλαστικών απορριμμάτων σε χώρους υγειονομικής ταφής, ωκεανούς και παράκτιες ζώνες, κάτι που θα αναλυθεί περαιτέρω στην παρούσα εργασία τόσο στις επόμενες παραγράφους όσο και κεφάλαια.

Σίγουρα, πλέον, καταβάλλονται προσπάθειες παγκοσμίως για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων μέσω πρωτοβουλιών που προωθούν την ανακύκλωση, τις αρχές της κυκλικής οικονομίας και την ανάπτυξη βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων στα παραδοσιακά πλαστικά. Είναι πλέον αναγκαίο οι κυβερνήσεις, οι βιομηχανίες και οι οργανισμοί να αναγνωρίζουν όλο και περισσότερο την σημασία της μείωσης των πλαστικών απορριμμάτων και της μετάβασης προς τις πιο βιώσιμες πρακτικές [50, 58].



Διάγραμμα 2.1 : Παγκόσμια συνολική παραγωγή πλαστικών ανά άτομο σε συνάρτηση με το έτος. Η διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύει μια πολυωνυμική παρέκταση τόσο της παραγωγής όσο και του πληθυσμού [50].

#### **2.4.1 Παγκόσμια παραγωγή πλαστικού κατά την διάρκεια της πανδημίας Covid-19**

Αυτό το κεφάλαιο αποτελεί μια σύντομη διερεύνηση των επιπτώσεων της πανδημίας COVID-19 και των μέτρων περιορισμού κατά την παραγωγή και χρήση πλαστικών. Εστιάζει κυρίως στις βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις του πλαστικού στον πλανήτη λόγω της ξαφνικής και αναγκαίας ανόδου της παραγωγής του.

Όπως ήδη προαναφέρθηκε, το πλαστικό παίζει καθοριστικό ρόλο στην βιομηχανία της υγείας. Αποτελεί κύριο παράγοντα των ιατρικών υλικών όπως είναι για παράδειγμα οι σύριγγες, τα γάντια και οι μάσκες, αλλά και οι συσκευασίες που εξασφαλίζουν την στείρωση σε είδη υγιεινής και ιατρικά αναλώσιμα. Έτσι λοιπόν το ξέσπασμα της πανδημίας COVID-19 είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ζήτησης εξοπλισμού ατομικής προστασίας, παραδείγματος χάρη μάσκες, γάντια, ασπίδες προσώπου, με αποτέλεσμα την εκτόξευση

της χρήσης πλαστικού. Η χρήση πλαστικών κατά την περίοδο της πανδημίας έγινε δεδομένη λόγω της υγιεινής και των μέτρων ασφάλειας. Επίσης, η παγκόσμια στροφή προς τις ηλεκτρονικές αγορές λόγω της απαγόρευσης της κυκλοφορίας (lock down) οδήγησε σε ταυτόχρονη άνοδο του πλαστικού σε συσκευασίες με αποτέλεσμα την αύξηση απορριμμάτων πλαστικών συσκευασιών [10].

Ταυτόχρονα, το πλαστικό έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην πώληση και αγορά αγαθών. Αυτό οφειλόταν στο ότι που παρόλο που πολλές κυβερνήσεις ανά τον κόσμο είχαν απαγορεύσει την πώληση ή την χρησιμοποίηση πλαστικών σακουλών μιας χρήσης για μεταφορά αγαθών, η πανδημία Covid-19 εξαπλωνόταν και οι σακούλες πολλαπλών χρήσεων δεν μπορούσε να είναι πλέον επιλέξιμη λύση. Έτσι, λοιπόν, η συμπεριφορά των καταναλωτών άλλαξε με αποτέλεσμα οι εμπορικές αλυσίδες, τα σούπερ μάρκετ και οι βιομηχανίες να οδηγηθούν στην επαναχρησιμοποίηση του πλαστικού τόσο για χρήση ως αποστειρωμένη συσκευασία αγαθών αλλά και για τη μεταφορά των προϊόντων στο τόπο κατοικίας σε συσκευασίες μιας χρήσης [10].

Από τα σημαντικότερα παραδείγματα ευρείας χρήσης πλαστικού κατά την περίοδο της πανδημίας ήταν οι μάσκες προσώπου και οι χειρουργικές μάσκες, οι οποίες αποτελούσαν ένα αναπόσπαστο κομμάτι της καταπολέμησης της εξάπλωσης της πανδημίας. Κατασκευασμένες συνήθως από PP (πολυπροπυλένιο), ενώ το σύρμα της μύτης ήταν κατασκευασμένο από πολυαιθυλένιο (PE). Ένα άλλο παράδειγμα μαζικής παραγωγής πλαστικού κατά την πανδημία ήταν οι πλαστικές μάσκες κάλυψης προσώπου ή αλλιώς ασπίδες προσώπου. Ήταν κατασκευασμένες συχνά από τα πολυμερή πολυανθρακικό (PC), PVC, ή πολυαιθυλένιο τερεφθαλική γλυκόζη, όπως επίσης και οι ιμάντες όπου κρατούσαν στην θέση τους τις μάσκες που ήταν κατασκευασμένοι κυρίως από καουτσούκ. Υπολογίζεται ότι κατά την περίοδο της πανδημίας η Κίνα, η οποία αντιπροσώπευε το 50% της παγκόσμιας αγοράς σε παραγωγή μασκών, παρήγαγε περίπου 9 εκατομμύρια μάσκες προσώπου την ημέρα κατά τον Ιανουάριο του έτους 2020. Μετά όμως το ξέσπασμα της πανδημίας παγκόσμια τον Φεβρουάριο του 2020 αυξήθηκε η παραγωγή σε 110 εκατομμύρια μάσκες ημερησίως και περίπου 200 εκατομμύρια μέχρι το τέλος του Απριλίου 2020. Ταυτόχρονα θα πρέπει να επισημανθεί ότι ταυτόχρονα υπήρχε και παγκόσμια έλλειψη. Αν σημειωθεί ότι η γραμμή παραγωγής έμεινε σταθερή και η Κίνα κάλυπτε το 75% της παγκόσμιας αγοράς, αυτό σημαίνει ότι μόνο αυτή η χώρα κατάφερε να παράγει περίπου 126 δισεκατομμύρια μάσκες

κατά την περίοδο της πανδημίας. Επίσης, το PVC γενικά αντιπροσωπεύει περίπου το 25% του πλαστικού που χρησιμοποιείται σε ιατρικά πλαστικά υλικά. Εκτός από μάσκες προσώπου και χειρουργικά γάντια χρησιμοποιείται κυρίως και για ενδοφλέβιες σακούλες, φαρμακευτικά διαλύματα και για πολλά ιατρικά προϊόντα, τα όποια απαιτούν την χρήση σωληνώσεων [10].

Ακόμα ένα μείγμα PE, PP και πολυστυρενίου (PS) καλύπτει το 50% της ζήτησης των ιατρικών πλαστικών υλικών, όπως περιγράφεται στη συνέχεια [10]:

- Το PE χρησιμοποιείται συνήθως σε δοχεία και μεμβράνες συσκευασίας
- Το PP σε σύριγγες, ράμματα και ιατρικές ρόμπες
- Το PS χρησιμοποιείται για διαγνωστικά εργαλεία, εργαστηριακά είδη μιας χρήσης και σιφώνια εργαστηρίου

διαγνωστικό ελέγχου κορωνοϊού

Τέλος τα πολύ σημαντικά διαγνωστικά μέσα ελέγχου του κορωνοϊού της ασθένειας COVID-19 (rapid COVID-19 test) είναι κατασκευασμένα αποκλειστικά από πλαστικό και συγκεκριμένα PP. Μελέτες απέδειξαν ότι κατά την διάρκεια της πανδημίας περισσότερα από 2 δισεκατομμύρια Covid-19 test χρησιμοποιήθηκαν για εξακρίβωση του ιού και πάνω από 126 δισεκατομμύρια μάσκες χρησιμοποιήθηκαν [10].

#### 2.4.2. Συνεισφορά των διαγνωστικών COVID-19 Test στη ρύπανση περιβάλλοντος

Όπως φαίνεται στη εικόνα 2.6, ένα πλαστικό διαγνωστικό μέσο ελέγχου του κορωνοϊού της ασθένειας COVID--19 (COVID-19 test) ζυγίζει σε αναλυτικό ζυγό 3,5973 g (Εικόνα 2.6). Σύμφωνα με τα δεδομένα που προαναφέραμε στην ενότητα 2.4.1, δηλαδή ότι περισσότερα από 2 δισεκατομμύρια COVID-19 test χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια της πανδημίας μέχρι και τον Δεκέμβριο του 2022, υπολογίστηκε ότι χρησιμοποιήθηκαν περίπου  $7 \cdot 10^9$  g πλαστικού

(Μάζα test Covid-19)  $\times$  (αριθμός ολικών test που διενεργήθηκαν παγκοσμίως) =>  
 $3,5973 \times 2 \cdot 10^9 \approx 7 \cdot 10^9$  g πλαστικού καταναλώθηκαν

Όπου αυτό το αποτέλεσμα σημαίνει ότι  $7 \cdot 10^9 \text{ g} = 7 \cdot 10^6 \text{ kg} = 7 \cdot 10^3 \text{ tons}$  πλαστικών αποβλήτων COVID-19test χρησιμοποιήθηκαν για την εξακρίβωση της νόσησης μέχρι και τον Δεκέμβριο του 2022.



Εικόνα 2.6 : Εργαστηρικές μετρήσεις μάζας αριστερά ενός COVID -19 test και δεξιά μίας πλαστικής φιάλης όγκου 0,5L (με καπάκι και χωρίς ετικέτα) σε αναλυτικό ζυγό.

Για την καλύτερη κατανόηση της ποσότητας των παραχθέντων πλαστικών υπολογίστηκε ότι οι 7.000 τόνοι πλαστικών αποβλήτων αντιστοιχούν σε περίπου 590.040.514 εκατομμύρια τεμαχίων πλαστικών μπουκαλιών όγκου 0,5 L (με καπάκι και χωρίς ετικέτα). Αυτό προκύπτει από τη διαίρεση της ολικής μάζας των χρησιμοποιηθέντων COVID-19 test με τη μάζα ενός τεμαχίου μπουκαλιού του νερού με καπάκι, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.6. Υπολογίστηκε :

$$(Μάζα \text{ COVID-19 test}) / (μάζα \text{ τεμαχίου μπουκαλιού } \frac{1}{2} \text{ L}) \Rightarrow 7.000 \text{ Tons} / 12,1934 \text{ g} = 590.040.514 \text{ τεμάχια μπουκαλιών όγκου } 0,5 \text{ L.}$$

Υπολογίστηκε λοιπόν ότι χρησιμοποιήθηκε ποσότητα πλαστικού που αντιστοιχεί σε περίπου σε 590 εκατομμύρια μπουκάλια. Ο όγκος αυτών των πλαστικών αποβλήτων δεν μπορούσε να ανακυκλωθεί λόγω των υγειονομικών πρωτοκόλλων της πανδημίας. Άρα, θα

πρέπει να έχουν αποτεφρωθεί ή μεταφερθεί σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) ή ακόμα και μέρος αυτών να έχουν απορριφθεί και ελευθερωθεί στο περιβάλλον.

Συνολικά λοιπόν υπολογίστηκε ότι περίπου 7.000 τόνοι πλαστικού πολυπροπυλενίου (PP) χρησιμοποιήθηκαν για διάγνωση της ασθένειας του κορωνοϊού με COVID-19 -test κατά την διάρκεια της πανδημίας. Αν ληφθεί επιπλέον υπόψη ότι τα υπόλοιπα εξαρτήματα ενός κιτ τεστ, όπως οι αμπούλες υγρού, η μπατονέτα δειγματοληψίας, οι συσκευασίες τα χειρουργικά γάντια και οι μάσκες δεν έχουν συμπεριληφθεί στον προηγούμενο υπολογισμό, μπορεί να κατανοηθεί το μέγεθος του προβλήματος της πλαστικής ρύπανσης του πλανήτη. Η αυξημένη παραγωγή και υπερκατανάλωση πλαστικού για υγειονομικούς λόγους κατά τη διάρκεια της πανδημίας έχει επιβαρύνει περαιτέρω τα συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων. Η ακατάλληλη απόρριψη πλαστικών απορριμμάτων, συμπεριλαμβανομένων των масκών και άλλων μέσων ατομικής προστασίας, έχει συμβάλει επίσης στην πλαστική ρύπανση του περιβάλλοντος, ιδιαίτερα στους ωκεανούς και τις παράκτιες ζώνες. Επίσης θέτονται θέματα και προκλήσεις για την υποδομή και διαχείριση των απορριμμάτων, συμπεριλαμβανομένης της διάθεσης και επεξεργασίας των ιατρικών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων και των πλαστικών υλικών.

Επιπλέον, η πανδημία έχει επηρεάσει τις προσπάθειες ανακύκλωσης. Με διαταραχές στα προγράμματα ανακύκλωσης, αυξημένο φόρτο εργασίας και μειωμένο εργατικό δυναμικό στις εγκαταστάσεις ανακύκλωσης, τα ποσοστά ανακύκλωσης πλαστικών έχουν μειωθεί. Αυτή η κατάσταση έχει οδηγήσει στον περιορισμένο αριθμό πλαστικών που ανακυκλώνονται, με αποτέλεσμα τον αυξημένο αριθμό πλαστικών αποβλήτων που καταλήγουν σε αποτέφρωση, ΧΥΤΑ ή χωματερές. Αυτό, με τη σειρά του, έχει οδηγήσει σε αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και μακροπρόθεσμα περιβαλλοντικά προβλήματα στην ατμόσφαιρα [24] .

Είναι, λοιπόν, σημαντικό να γνωρίζουμε τις πιθανές μελλοντικές συνέπειες της αυξημένης παραγωγής πλαστικών και απορριμμάτων κατά τη διάρκεια της πανδημίας Covid-19. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί συλλογική προσπάθεια τόσο από τις κυβερνήσεις, τις βιομηχανίες, αλλά και από κάθε άτομο. Η εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών, η προώθηση της χρήσης επαναχρησιμοποιήσιμων εναλλακτικών λύσεων, η επένδυση σε υποδομές ανακύκλωσης και η ευαισθητοποίηση σχετικά με την υπεύθυνη κατανάλωση

*Ταξινόμηση και ποσοτικοποίηση μικροπλαστικών στο παράκτιο θαλάσσιο περιβάλλον αμμώδους παραλίας στην πόλη των Χανίων*  
Νικόλαος Δάνης

πλαστικού είναι ζωτικά βήματα για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τόσο πριν όσο και μετά την πανδημία [πρόσθεσε τη βιβλιογραφία].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΣΕ ΩΚΕΑΝΟΥΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΙΕΣ

#### 3.1 Πλαστικά απόβλητα και κύκλος ζωής τους

Μια από τις πιο ευρέως διαδεδομένες πηγές ρύπανσης σε αστικές και άλλες περιοχές είναι τα πλαστικά απόβλητα. Λόγω της ευρείας χρήσης τους, της εξαιρετικά ανεπτυγμένης βιομηχανικής παραγωγής τους, της ταυτόχρονης μεγάλης σταθερότητας του (δηλαδή μη εύκολης αποσύνθεσής τους), καθώς και των μεγάλων ποσοτήτων απόρριψής τους, τα πλαστικά απόβλητα αποτελούν σημαντική απειλή για το περιβάλλον. Η σωστή διαχείριση των μικτών πλαστικών απορριμμάτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους είναι πλέον μια παγκόσμια ανησυχία και πρόκληση, τόσο στις ανεπτυγμένες χώρες αλλά και στις μη ανεπτυγμένες, καθώς τα πλαστικά απόβλητα που παρουσιάζονται στο περιβάλλον ολοένα και περισσότερο αυξάνονται εκθετικά [58].

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην ενότητα 1.4, ο κύκλος ζωής ενός πλαστικού περιλαμβάνει το σύνολο των διαδικασιών, από την εξόρυξη της πρώτης ύλης (του πετρελαίου) έως και την απόρριψη ενός πλαστικού αντικειμένου σε κάδο απορριμμάτων, συμπεριλαμβανομένης και της περαιτέρω επεξεργασίας που θα δεχθεί, είτε για καταστροφή, είτε για ταφή, είτε για ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση, είτε για ανεξέλεγκτη απόρριψη στο περιβάλλον. Πιο αναλυτικά, όπως προαναφέρθηκαν στις ενότητες 2.1 και 2.2), μετά την εξόρυξη των πετροχημικών και την κλασματική τους απόσταξη, ακολουθεί η διαδικασία διάσπασης των μορίων του άνθρακα σε πρώτες ύλες και ο πολυμερισμός τους για την δημιουργία μεγάλων αλυσίδων πολυμερών. Ακολουθεί η μεταφορά των πλαστικών ρητίνων σε εγκαταστάσεις παραγωγής πλαστικού με τη μορφή σκόνης, κόκκων, λεπτών φύλλων και υγρών διαλυμάτων, όπου αναμιγνύονται με άλλες συμπληρωματικές ουσίες. Στη συνέχεια οι ρητίνες διαμορφώνονται σε διάφορα προϊόντα με διάφορες τεχνικές, όπως συμπίεση, χύτευση με έγχυση, χύτευση με εμφύσηση, εξώθηση και θερμοδιαμόρφωση. Προφανώς, η επιλογή της κατασκευής εξαρτάται από την χρησιμότητα του πλαστικού προϊόντος. Τέλος, πριν την έξοδό τους από τις βιομηχανίες προς τον καταναλωτικό κοινό, ακολουθούν διαδικασίες μηχανικής επεξεργασία, όπως κοπή, λείανση και ό,τι άλλο είναι εφικτό για τη διαμόρφωση του τελικού προϊόντος [11].



Τα πλαστικά προϊόντα που θα προκύψουν, αν και διαφέρουν σε ιδιότητες και μορφή, συνήθως κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες: τα θερμοπλαστικά και τα θερμοσκληρυνόμενα. Από εκεί και πέρα, ο κύκλος ζωής τους είναι διαφορετικός, διότι διαφέρουν σε ιδιότητες [52].

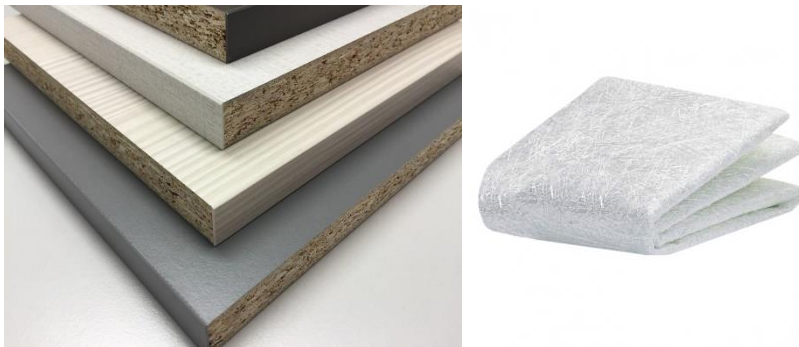
Τα θερμοπλαστικά είναι πολυμερή, τα οποία μπορούν να μετασχηματιστούν και να αλλάξουν το σχήμα τους υπό την επίδραση της θερμότητας. Η θέρμανση επιτρέπει σε αυτά τα πλαστικά να μαλακώνουν και να γίνονται ευέλικτα. Έτσι, μέσω τεχνικών όπως είναι η έγχυση ή η συμπίεση, παίρνουν νέα μορφή ή σχήμα. Κατά την ψύξη και τη στερέωσή τους σε αυτήν τη νέα μορφή, μπορούν πάλι να επανέλθουν στο αρχικό τους σχήμα ή να διαμορφωθούν εκ νέου σε άλλη μορφή με την ίδια ακριβώς διαδικασία. Αυτή η ιδιότητα τα καθιστά ευέλικτα για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, όπως είναι η παραγωγή πλαστικών αντικειμένων ή ελαστικών εξαρτημάτων (Εικόνα 3.1). Θεωρητικά, σε κάποιες περιπτώσεις, αυτή η διαδικασία επαναχρησιμοποίησης θα μπορούσε να επαναλαμβάνεται άπειρες φορές, αλλά στην πράξη, τα περισσότερα πλαστικά μπορούν να ανακυκλωθούν από 2 έως 3 φορές, διότι μετά χάνουν πολλές από τις ιδιοτήτές τους. Συνεπώς, ο κύκλος ζωής τους μπορεί να διαφέρει κάθε φορά που επαναχρησιμοποιείται και ανακυκλώνεται, μέχρι και την τελική τους απόθεση σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων ή Υπολειμμάτων (ΧΥΤΑ ή ΧΥΤΥ) (Εικόνα 3.3) [52].



Εικόνα 3.1: Θερμοπλαστικά προϊόντα καθημερινής χρήσης

Αντιθέτως τα θερμοσκληρυνόμενα πλαστικά είναι πολυμερή που σκληραίνουν μόνιμα μετά την επίδραση της θερμότητας και χάνουν τις ιδιότητες τους, αν θερμανθούν ξανά. Όταν θερμαίνονται, τα θερμοσκληρυνόμενα υλικά υπόκεινται σε χημικές αντιδράσεις που τα καθιστούν σκληρά, ανθεκτικά και ανεπηρέαστα από τη θερμότητα και άλλες εξωτερικές συνθήκες. Αυτή η ιδιότητα τους τα καθιστά κατάλληλα για εφαρμογές που απαιτούν αντοχή στον χρόνο και ανθεκτικότητα στις κρούσεις και τη θερμότητα. Για αυτό

χρησιμοποιούνται ευρέως σε κατασκευαστικές εταιρίες αεροσκαφών και αυτοκινήτων, επιστημονικών συσκευών αλλά και ως υλικά επικάλυψης, όπως είναι για παράδειγμα υλικά σε στέγες κατοικιών, μελαμίνες επίπλων και άλλα (Εικόνα 3.2). Ο κύκλος ζωής αυτών των υλικών συνήθως τελειώνει είτε με επαναχρησιμοποίηση ως έχουν με άλλο τρόπο χρήσης ή με τελική απόρριψη σε ΧΥΤΑ ή με αποτέφρωση ή ακόμα και με ανεξέλεγκτη διάθεση στο φυσικό περιβάλλον [52].



Εικόνα 3.2: Παραδείγματα θερμοσκληρυνόμενων πλαστικών, αριστερά απεικονίζονται μελαμίνες που αποτελούν την πλαστική επικάλυψη ξύλινων πλακών και δεξιά ύφασμα πολυεστέρα (PET).

Όταν τα πλαστικά παραχθούν και μορφοποιηθούν, χρησιμοποιούνται από τον καταναλωτή με διάφορους τρόπους. Η ανθεκτικότητα, η ευελιξία και το χαμηλό κόστος του πλαστικού έχουν συμβάλει στην εκτεταμένη χρήση τους από την σύγχρονη κοινωνία. Επίσης, τον κύκλο ζωής του κάθε πλαστικού τον επηρεάζει άμεσα από εδώ και πέρα το χέρι κάθε καταναλωτή δηλαδή ο χρόνος, κατά τον οποίο θα το χρησιμοποιεί ή ακόμα και το χρονικό διάστημα που θα μεσολαβήσει μέχρι το προϊόν να πουληθεί ή να καταναλωθεί [52].

Αν και ο κύκλος ζωής κάθε πλαστικού σκεύους διαφέρει, είναι συνήθως παρόμοια η τελική επεξεργασία και διάθεση. Ανάλογα με τις υποδομές ανακύκλωσης και τα συστήματα διαχείρισης των αποβλήτων που υπάρχουν σε κάθε περιοχή, τα πλαστικά συλλέγονται μέσω προγραμμάτων ανακύκλωσης, σε κέντρα ανακύκλωσης και εγκαταστάσεις διαλογής αποβλήτων και απορριμμάτων. Ο τελικός διαχωρισμός των πλαστικών μετά την χρησιμοποίησή τους, εκτός αυτών που επαναχρησιμοποιούνται ως έχουν, είναι η τελική τους απόθεση σε ΧΥΤΑ, η ανακύκλωση ή ακόμα και αποτέφρωση για παραγωγή ενέργειας [52].

Γενικότερα τα πλαστικά απόβλητα μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες, στα πλαστικά απόβλητα πριν τη διάθεση για κατανάλωση και στα απόβλητα μετά την κατανάλωση. Τα απόβλητα πριν την κατανάλωση αναφέρονται κυρίως σε απόβλητα που δημιουργούνται κατά την διάρκεια παραγωγής και μορφοποίησης των πλαστικών. Για παράδειγμα απορριπτόμενα πλαστικά ή προπλαστικά περιλαμβάνουν απόβλητα όπως υπολείμματα από 3D εκτυπωτές ή αποκόμματα από κιβώτια παραγωγής και άλλα. Αντιθέτως, τα απόβλητα που παράγονται μετά την κατανάλωση είναι αυτά που αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των αποβλήτων και είναι συνήθως πλαστικά μιας χρήσης, συσκευασίες προϊόντων, πλαστικά απόβλητα από ηλεκτρονικές συσκευές και άλλα [58].

Στην ανακύκλωση, το πλαστικό μετασχηματίζεται σε άλλα προϊόντα πλαστικού ή ακόμα και σε άλλα υλικά (βλέπε ενότητα 4.3). Κατά την αποτέφρωση και την ανάκτηση ενέργειας τα πλαστικά απορρίμματα καίγονται για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (βλέπε ενότητα 4.5). Ωστόσο, αυτή η μέθοδος δεν είναι τόσο φιλική προς το περιβάλλον καθώς απελευθερώνει αέριους και σωματιδιακούς ρύπους που ρυπάνουν την ατμόσφαιρά και συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυτή η μέθοδος θεωρείται ως η λιγότερο επιθυμητή στον κύκλο ζωής των πλαστικών [52].

Τέλος όπως προαναφέρθηκε, εάν δεν προηγηθούν όλες οι προηγούμενες ενέργειες ανακύκλωσης ή αποτέφρωσης, τα πλαστικά απόβλητα καταλήγουν συχνά σε χώρους υγειονομικής ταφής (βλέπε ενότητα 4.4) (ΧΥΤΑ) για διάθεση. Το πλαστικό χρειάζεται πάρα πολύ χρόνο να αποσυντεθεί στις χωματερές ή ΧΥΤΑ συμβάλλοντας στη ρύπανση του περιβάλλοντος. Ο χρόνος που απαιτείται για να αποσυντεθεί ένα πλαστικό υλικό είναι συνήθως εκατοντάδες χρόνια και αυτό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Κάποιοι από αυτούς είναι ο τύπος του πλαστικού δηλαδή από τι πολυμερές είναι κατασκευασμένο το κάθε υλικό. Οι συνθήκες περιβάλλοντος επίσης είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες αποσύνθεσης ενός πλαστικού. Η έκθεση στον ήλιο, η υγρασία και άλλα τέτοια παίζουν καθοριστικό ρόλο στον χρόνο αποσύνθεσης τους. Τέλος, η μέθοδος καθαρισμού και ο τρόπος ταφής παίζουν ρόλο στον χρόνο αποσύνθεσης των πλαστικών απορριμμάτων. Συνήθως ο χρόνος αποσύνθεσης των πλαστικών αποβλήτων είναι εκατοντάδες χρόνια, τα οποία επηρεάζονται από παράγοντες φυσικοχημικούς. Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι αυτές οι εκτιμήσεις αναφέρονται σε φυσικές συνθήκες, όπως έκθεση στον ήλιο και στην

ατμόσφαιρα, μη συμπεριλαμβανομένων πιθανών βιολογικών παραγόντων. Έχει διαπιστωθεί, ότι σε χωματερές ή σε υγρά περιβάλλοντα η διάσπαση των πλαστικών επηρεάζεται άμεσα είτε καθυστερώντας την αποσύνθεσή τους, είτε επιταχύνοντας αυτήν [11, 52].

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σχετίζονται άμεσα με όλα τα στάδια του κύκλου ζωής των πλαστικών (εξόρυξη πετρελαίου, παρασκευή ρητινών, κατασκευή πλαστικών, τελική απόρριψη σε ΧΥΤΑ ή ΧΥΤΥ (Εικόνα 3.3), ανακύκλωση, αποτέφρωση). Όλα τα στάδια έχουν κάποιο περιβαλλοντικό αντίκτυπο, το οποίο μπορεί να αφορά την κατανάλωση των πρωτογενών φυσικών πόρων, την κατανάλωση ενέργειας και την ακατάλληλη διάθεση τους, τη ρύπανση του εδάφους, των υδάτινων σωμάτων και του θαλάσσιου περιβάλλοντος, καθώς και τη ρύπανση του αέρα. Επίσης, η πλαστική ρύπανση έχει αρνητικές επιπτώσεις στην άγρια ζωή, στα θαλάσσια οικοσυστήματα και στην ανθρώπινη ζωή (βλέπε ενότητες 3.4.1 και 5.5) [52].



Εικόνα 3.3 : Χώρος υγειονομικής ταφής απορριμμάτων ΧΥΤΑ ή υπολειμμάτων ΧΥΤΥ

### 3.1.1 Πλαστικά προϊόντα με «βιώσιμο σχεδιασμό»

Τα προϊόντα με βιώσιμο σχεδιασμό ή αλλιώς ονομαζόμενα προϊόντα με κλειστό κύκλο ζωής δημιουργούνται με σχεδιασμό που έχει ως στόχο τη δημιουργία προϊόντων με χαμηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα και μεγαλύτερη αειφορία σε όλο τον κύκλο ζωής

τους. Να σημειωθεί ότι δε διαφέρουν πολύ με την κατηγορία της επαναχρησιμοποίησης των προϊόντων που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, άλλα έχουν κάποιες πολύ μικρές διαφορές. Η βασική διαφορά είναι, ότι όταν ένα προϊόν κατασκευάζεται με την αρχή του βιώσιμου σχεδιασμού, είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί και μετά το πέρας της ήδη υπάρχουσας χρησιμότητας του και σε κάποια τελείως διαφορετική χρήση. Συγκριτικά τα προϊόντα που απλά επαναχρησιμοποιούνται, δεν αλλάζουν χρήση. Για παράδειγμα μπορεί ένα απλό πλαστικό μπουκάλι νερού να επαναχρησιμοποιηθεί με τον ίδιο ακριβώς τρόπο ακόμα λίγες φορές. Επίσης μια άλλη βασική διαφορά είναι, ότι ο βιώσιμος σχεδιασμός λαμβάνει υπόψη του την επίδραση των προϊόντων στο περιβάλλον, την κοινωνία και την οικονομία ακολουθώντας κάποιες αρχές, οι οποίες αναφέρονται στη συνέχεια [26]:

- Μείωση της ποσότητας των υλικών και των ενεργειακών απαιτήσεων με σκοπό τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- Ανακύκλωση και κυρίως επαναχρησιμοποίηση των υλικών, προσφέροντας μια περισσότερο κυκλική οικονομία, επιτρέποντας τη δημιουργία ενός κλειστού κύκλου ζωής για τα προϊόντα
- Μεγάλη διάρκεια ζωής, με σκοπό τη δημιουργία προϊόντων με σωστή ποιότητα, ανθεκτικότητα και λειτουργικότητα, αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής τους και μειώνοντας την ανάγκη για συχνή αντικατάσταση, περιορίζοντας με αυτό τον τρόπο τα απόβλητα
- Κυκλική οικονομία, η οποία προωθεί προϊόντα, τα οποία μπορούν να ανακυκλωθούν ή ακόμα και να χρησιμοποιηθούν σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή νέων προϊόντων χωρίς αυτά να απορρίπτονται

Συμπερασματικά, ο βιώσιμος σχεδιασμός προωθεί ένα μοντέλο κλειστής κυκλικής οικονομίας, βασισμένο στο μηδενικό αποτύπωμα στο περιβάλλον. Ένα κίνημα ευρέως γνωστό πλέον στο πλανήτη και ως «Zero Waste» (μηδενικά απόβλητα) έχει ξεκινήσει, εφαρμόζοντας την αρχή του βιώσιμου σχεδιασμού και την επαναχρησιμοποίηση όλων σχεδόν των υλικών, ακόμα και τη μη χρήση τους εξ αρχής, εάν αυτή δεν είναι αναγκαία. Κάποια παραδείγματα από αυτά τα μηδενικά απόβλητα είναι οι σακούλες πολλαπλών χρήσεων, τα πλαστικά αντικείμενα μεταφοράς, όπου μετά το πέρας της χρησιμότητας τους

χρησιμοποιούνται με μια πληθώρα άλλων τρόπων, όπως για αποθήκευση ξανά, είτε με άλλους τρόπους όπως διακόσμηση με την μορφή γλάστρας ή ακόμα και για την οργάνωση του χώρου (Εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.4: Πλαστικά προϊόντα βιώσιμου σχεδιασμού, τα οποία μετά το πέρας της χρήσης τους βρήκαν νέα χρησιμότητα στον τομέα της διακόσμησης και της οργάνωσης του χώρου)

### **3.2 Τοξικότητα πλαστικών αποβλήτων**

Όπως προαναφέρθηκε, το πλαστικό μπορεί να είναι ανθεκτικό υλικό, το οποίο δύσκολα αποσυντίθεται. Ωστόσο, ταυτόχρονα εκκρίνει επιβλαβείς χημικές ουσίες στο έδαφος και στο νερό, θέτοντας σε κίνδυνο τα οικοσυστήματα και την ανθρώπινη υγεία. Η τοξικότητα του πλαστικού έχει γίνει μία σημαντική ανησυχία λόγω της παρουσίας χημικών ενώσεων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του, και της πιθανότητας ρύπανσης του περιβάλλοντος. Στην επόμενη παράγραφο θα παρουσιαστούν οι κυριότερες χημικές ενώσεις που σχετίζονται με τα πλαστικά προϊόντα, καθώς και οι επιπτώσεις τους στο οικοσύστημα και στην ανθρώπινη υγεία.

Τα πλαστικά απόβλητα, όταν δεν απορρίπτονται σωστά, συμβάλλουν στη ρύπανση και διοχετεύουν επιβλαβείς χημικές ενώσεις και ουσίες στο περιβάλλον. Είναι σημαντικό πλέον να κατανοήσουμε την τοξικότητα του πλαστικού, προκειμένου να εφαρμοστούν αποτελεσματικές στρατηγικές διαχείρισης των απορριμμάτων, να προωθηθούν εναλλακτικές λύσεις και να μειωθούν οι επιπτώσεις του στα οικοσυστήματα και στον άνθρωπο. Στη συνέχεια περιγράφονται και αναφέρονται κάποιες από τις σημαντικότερες πρόσθετες χημικές ενώσεις καθώς και η τοξικότητα αυτών [53]:

- Χημικά πρόσθετα (Chemical Additives): Τα περισσότερα πλαστικά πλέον περιέχουν συχνά διάφορα χημικά πρόσθετα για να ενισχύσουν τις ιδιότητες τους. Σε αυτά τα πρόσθετα μπορεί να περιλαμβάνονται πλαστικοποιητές, επιβραδυντικά φλόγας, όπως για παράδειγμα βρωμιούχα επιβραδυντικά φλόγας (BFR – Brominated Flame Retardants), τα οποία συχνά χρησιμοποιούνται σε υλικά μόνωσης και ηλεκτρονικές συσκευές, όπως επίσης και σταθεροποιητές και χρωστικές ουσίες. Κάποια από αυτά τα πρόσθετα μπορεί να είναι τοξικά από μόνα τους ή να έχουν τη δυνατότητα να απελευθερώσουν τοξικά υποπροϊόντα με την πάροδο του χρόνου και αναλόγως των περιβαλλοντικών συνθηκών [53, 58]. Κάποιες επιπλέον ενώσεις που χρησιμοποιούνται από την βιομηχανία ως πρόσθετα BFRS είναι
  - οι Πολυβρωμιούχοι Διφαινυλαιθέρες (PBDE - Polybrominated Diphenyl Ethers)
  - το Εξαβρωμοκυκλοδωδεκάνιο (HBCD – Hexabromocyclododecane) και
  - η Τετραβρωμοδισφαινόλη Α (TBBPA – Tetrabromobisphenol A)
- Δισφαινόλη Α (BPA – Bisphenol A): Η BPA είναι από τις πιο ευρέως διαδεδομένες χημικές ουσίες που εντάσσονται μέσα σε ορισμένα πλαστικά, ιδιαίτερα σε πολυανθρακικά και εποξειδικές ρητίνες. Επίσης είναι από τα περισσότερο παραγόμενα πλαστικά παγκοσμίως με ποσότητες που ξεπερνούν τους 3 εκατομμύρια τόνους τον χρόνο. Αποτελεί συνήθως το κύριο συστατικό της εσωτερικής επίστρωσης αλουμινένιων κουτιών συσκευασιών ποτών και φαγητών και αποτελεί τον κύριο παράγοντα έκθεσης αυτής της χημικής ουσίας στον άνθρωπο. Η BPA έχει μελετηθεί και θεωρείται υπεύθυνη για ενδοκρινικά προβλήματα, τα οποία επηρεάζουν τα ορμονικά συστήματα του ανθρώπου. Επίσης έχει συνδεθεί με διάφορα προβλήματα υγείας συμπεριλαμβανομένων των αναπαραγωγικών διαταραχών, των αναπτυξιακών προβλημάτων και του κινδύνου ορισμένων μορφών καρκίνου [4, 53, 58]
- Φθαλικές ενώσεις (Phthalates): Οι φθαλικές ενώσεις είναι μια ομάδα χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται ως πλαστικοποιητές για να αυξήσουν την ανθεκτικότητα των πλαστικών και την ευελιξία. Μπορούν να βρεθούν συνήθως σε προϊόντα βινυλίου ή

PVC κατά 10-60 % κατά βάρος. Οι φθαλικές ενώσεις επειδή δεν συνδέονται χημικά με το χημικό δεσμό του πολυμερούς και είναι πολύ εύκολο να διαρρεύσουν στο περιβάλλον κατά την χρήση τους ή τη διάθεση τους. Έρευνες δείχνουν πως ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις οι φθαλικές ενώσεις μπορούν να συμπεριφερθούν στους ενδοκρινικούς διαταράκτες. Ορισμένες επίσης φθαλικές ενώσεις, όπως ο δι (-2-αιθυλοεξυλο) φθαλικός εστέρας (DEHP - di(2-ethylhexyl phthalate) έχουν συνδεθεί με δυσμενείς ορμονικές δράσεις και επιπτώσεις στην αναπαραγωγική υγεία [53, 58].

- Έμμονοι οργανικοί ρύποι (POPs - Persistent Organic Pollutants): Το πλαστικό μπορεί να λειτουργήσει ως φορέας για έμμορους οργανικούς ρύπους, όπως είναι τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (Polychlorinated biphenyls – PCBs) και οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (Polycyclic aromatic hydrocarbons – PAHs). Αυτοί οι ρύποι μπορούν να προσκολληθούν στην επιφάνεια των πλαστικών σωματιδίων και να συσσωρευτούν στο περιβάλλον. Όταν καταποθούν από την άγρια ζωή ή τον άνθρωπο μπορεί να έχουν τοξικές επιδράσεις σε διάφορα συστήματα του σώματος και των οργάνων του, όπως για παράδειγμα διαταραχές του ήπατος, του νευρικού και του αναπαραγωγικού συστήματος [53].
- Εννεϋλοφαινόλες (NP - Nonylphenols): έχουν ευρεία χρήση σε ποικίλους βιομηχανικούς τομείς όπως και στην παραγωγή πλαστικού, την υφαντουργία, την παραγωγή εντομοκτόνων και ζιζανιοκτόνων. Χρησιμοποιούνται επίσης σε καθαριστικά προϊόντα και απορρυπαντικά. Είναι γνωστό ότι αυτές οι ενώσεις είναι πολύ ανθεκτικές στη διάσπαση, και συνεπώς παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα. Έχει βρεθεί επίσης πως διαρρέουν από το εσωτερικό των πλαστικών μπουκαλιών στο περιεχόμενο υγρό καθώς και από αγωγούς εργοστασίων επεξεργασίας λυμάτων. Οι εννεϋλοφαινόλες έχουν επιβεβαιωθεί ως παράγοντες που διαταράσσουν το ενδοκρινικό σύστημα και έχουν συνδεθεί με πιθανές επιπτώσεις στην ανάπτυξη του οργανισμού και την αναπαραγωγική υγεία. Ορισμένες χώρες και περιφέρειες έχουν θεσπίσει περιορισμούς και απαγορεύσεις στην χρήση τους, ειδικά σε προϊόντα που έρχονται σε άμεση επαφή με το νερό και το περιβάλλον [53].



Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι δεν είναι όλα τα πλαστικά εξίσου τοξικά και η τοξικότητα του καθενός μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το συγκεκριμένο τύπο πλαστικού και τα χημικά πρόσθετα που χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση των ιδιοτήτων τους. Τα ρυθμιστικά μέτρα και τα βιομηχανικά πρότυπα αποσκοπούν στη μείωση της χρήσης τους ή στην προώθηση ασφαλέστερων χημικών πρόσθετων ή και πιο φιλικών προς το περιβάλλον λύσεων.

### **3.3 Πλαστικά απόβλητα στους ωκεανούς**

Τα πλαστικά απόβλητα στους ωκεανούς έχουν φτάσει σε ανησυχητικά επίπεδα, αποτελώντας σοβαρή απειλή για τα θαλάσσια οικοσυστήματα, τη βιοποικιλότητα και την ανθρώπινη ευημερία. Η ανεύθυνη παραγωγή, κατανάλωση και απόρριψη πλαστικού παγκοσμίως έχει οδηγήσει στη συσσώρευση τεράστιων ποσοτήτων πλαστικού σε θαλάσσια περιβάλλοντα. Πιο συγκεκριμένα, έρευνες έχουν δείξει ότι περίπου 8 εκατομμύρια τόνοι πλαστικών αποβλήτων διοχετεύονται στους ωκεανούς κάθε χρόνο [17]. Μόνο στην Ελλάδα υπολογίζεται ότι 11.500 τόνοι πλαστικών καταλήγουν ετησίως στις θάλασσες. Προφανώς, το πλαστικό σχεδιάστηκε έτσι ώστε να συσσωρεύεται στον πλανήτη σε μορφή όλο και μικρότερων μονάδων, όπως τα μικροπλαστικά, και καταλήγει ακόμα και στον ίδιο μας τον οργανισμό. Ερευνητικές μελέτες δείχνουν ότι περισσότεροι από 150 εκατομμύρια τόνοι πλαστικού υπάρχουν σήμερα στους ωκεανούς, και υπολογίζεται ότι 4,8 έως 12,5 εκατομμύρια τόνοι πλαστικού καταλήγουν στους ωκεανούς κάθε χρόνο, με αυτό το ποσό να αυξάνεται συνεχώς λόγω της αύξησης του πληθυσμού και της αυξημένης παραγωγής.

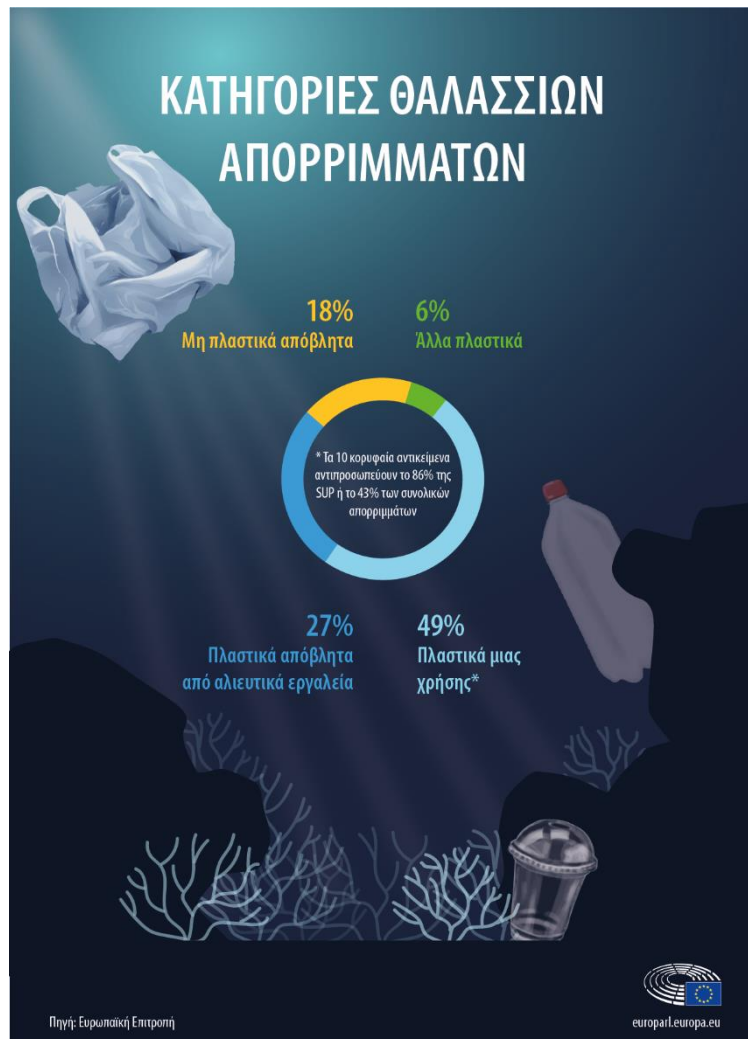
Βέβαια, όλα αυτά είναι μετρήσεις που μπορεί να είναι ενδεικτικές και να αλλάξουν ανάλογα με τους παράγοντες και την ισχύουσα νομοθεσία, από μέρα σε μέρα. Παρακάτω αναλύονται κάποια από τα αίτια της απόρριψης πλαστικών αποβλήτων στις θάλασσες και οι επιπτώσεις τους [13, 16].

### 3.3.1 Αίτια πλαστικών απορριμμάτων στους ωκεανούς

Οι επιπτώσεις της άποψης που επικρατεί μέχρι και σήμερα, ότι τα πλαστικά μετά την πρώτη τους χρήση να απορρίπτονται, είναι εμφανείς ιδιαίτερα στις θάλασσες και στους ωκεανούς. Τα πλαστικά απόβλητα που απορρίπτονται στους ωκεανούς αυξάνονται διαρκώς, και σύμφωνα με εκτιμήσεις, μέχρι το έτος 2050, οι θάλασσες θα περιέχουν περισσότερα πλαστικά απόβλητα από ψάρια. Αυτό σημαίνει ότι η ποσότητα των πλαστικών στα θαλάσσια οικοσυστήματα αυξάνεται συνεχώς.

Κάποια από τα αίτια που προκαλούν αυτή την καταστροφή είναι τα εξής. Η ανεπαρκής διαχείριση αποβλήτων λόγω κακών υποδομών και μη βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης αποβλήτων παρατηρείται ιδιαίτερα σε παράκτιες περιοχές και αναπτυσσόμενες χώρες. Επίσης, τα πλαστικά μίας χρήσης, όπως είναι οι σακούλες, τα πλαστικά ποτηράκια και μπουκάλια, καθώς και άλλα παρόμοια αντικείμενα, αποτελούν έναν από τους πιο καθοριστικούς παράγοντες αύξησης των πλαστικών και, στη συνέχεια, των μικροπλαστικών στα θαλάσσια οικοσυστήματα. Είναι δυσάρεστο το γεγονός ότι αυτά τα αντικείμενα σχεδιάστηκαν για μία μόνο χρήση, αλλά παραμένουν στο περιβάλλον για εκατοντάδες χρόνια [25].

Εξίσου σημαντικός παράγοντας αύξησης των πλαστικών στα θαλάσσια οικοσυστήματα είναι η απώλεια αλιευτικών εργαλείων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) ανέλαβε μέτρα μείωσης των πλαστικών αποβλήτων, τα οποία αφορούν τα 10 πιο διαδεδομένα πλαστικά προϊόντα (Εικόνα 3.6). Το 70% από αυτά αποτελούν τα πλαστικά μίας χρήσης και τα απολεσθέντα αλιευτικά εργαλεία (Εικόνα 3.5) [14, 13].



Εικόνα 3.5 : Κατηγορίες και ποσοστά θαλάσσιων απορριμμάτων [13].

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να επισημάνω ότι λόγω της προσωπικής μου ενασχόλησης και της αγάπης για την θάλασσα, από μικρό παιδί πάντα και σε όποια θάλασσα και να πήγαινα έβλεπα στους βυθούς τους αλιευτικά εργαλεία, τα οποία είτε είχαν χαθεί, είτε είχαν καταστραφεί και παρέμεναν στο βυθό της θάλασσας, είτε ακόμα οι ίδιοι ψαράδες μη θέλοντας να τα απορρίψουν σωστά τα πετούσαν μέσα στην θάλασσα. Κάποια από αυτά τα παραδείγματα είναι δίχτυα αλιείας, πετονιές και άλλα πλαστικά εξαρτήματα αλιείας, είτε εξαρτήματα του αλιευτικού σκάφους. Είναι τρομακτικό το μεγάλο ποσοστό συγκέντρωσης των αλιευτικών εργαλείων στα θαλάσσια οικοσυστήματα, το οποίο αντιστοιχεί στο 27 % του συνόλου των θαλάσσιων απορριμμάτων [13], ενώ θεωρητικά θα θεωρούσε κάποιος ότι είναι πολύ χαμηλότερο.

### 3.3.2 Επιπτώσεις πλαστικών απορριμμάτων στους ωκεανούς

Η θαλάσσια ζωή αποτελεί έναν από τους κύριους παράγοντες ανησυχίας για τους ερευνητές, όσον αφορά τις επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει το πλαστικό τόσο σε αυτήν, όσο και στο ανθρώπινο είδος. Εκτός από την αισθητική πτυχή που προκαλεί η πλαστική ρύπανση, δημιουργώντας χώρους με μεγάλη συσσώρευση πλαστικών, δίνοντας την εντύπωση μιας επιπλέουσας χωματερής πλαστικών απορριμμάτων, υπάρχουν και άλλες επιπτώσεις που είναι το λιγότερο ανησυχητικές [25].

Τα πλαστικά απόβλητα ενέχουν σημαντικούς κινδύνους για τα θαλάσσια οικοσυστήματα και τη θαλάσσια ζωή. Μία μελέτη του National Geographic υποστηρίζει ότι περίπου 700 είδη, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων που απειλούνται με εξαφάνιση, έχουν επηρεαστεί από την πλαστική ρύπανση. Τα θαλάσσια ζώα, όπως για παράδειγμα οι θαλάσσιες χελώνες, μπορούν να μπερδεύουν τα υπολείμματα πλαστικών, όχι μόνο ως τροφή (όπως μια σακούλα μίας χρήσης που μοιάζει με μέδουσα) ή ως έναν ζωντανό οργανισμό, με αποτέλεσμα την κατάποση, την ασφυξία, τους εσωτερικούς τραυματισμούς που οδηγούν στην καταστροφή των εσωτερικών οργάνων και ακόμα και στην ασιτία και τελικά στον θάνατο. Η εμπλοκή των πλαστικών απορριμμάτων σε θαλάσσια οικοσυστήματα μπορεί να προκαλέσει βλάβες στις κοινότητες ζώντων οργανισμών, τραυματισμούς, προσωρινή φυλάκιση τους, ασφυξία και να οδηγήσει σε θανατηφόρες συνέπειες [25].

Επιπλέον, η πλαστική ρύπανση επηρεάζει και διαταράσσει τα θαλάσσια οικοσυστήματα, μερικές φορές ακόμα και μόνο με την παρουσία της, καθώς προκαλεί ζημιές σε τομείς που εξαρτώνται από τη θάλασσα. Αυτό επηρεάζει τη βιοποικιλότητα, την οικολογική ισορροπία, τόσο σε αναπαραγωγικά θέματα όσο και σε θέματα μετανάστευσης των οργανισμών [15].

Παράλληλα, η ανθρώπινη υγεία επηρεάζεται άμεσα και οι ανησυχίες για τα πλαστικά απόβλητα αυξάνονται συνεχώς. Μέσω της κατάποσης ρυπασμένων θαλασσινών τροφίμων, οι άνθρωποι μπορούν να καταπιούν ακούσια μικροπλαστικά και τοξικές ουσίες που σχετίζονται με την πλαστική ρύπανση. Μελέτες έχουν δείξει ότι αν και δεν προκαλούν άμεσα προβλήματα στον άνθρωπο, μπορούν παρ' όλα αυτά να προκαλέσουν δυνητικά μακροπρόθεσμους κινδύνους για την υγεία [14, 15].



Εικόνα 3.6 : Οι δέκα πιο συχνά χρησιμοποιούμενες κατηγορίες πλαστικών που ανιχνεύονται σε θάλασσες [13]

### 3.3.3 Στρατηγικές αντιμετώπισης της πλαστικής ρύπανσης στους ωκεανούς

Οι στρατηγικές και τα μέτρα αντιμετώπισης της πλαστικής ρύπανσης είναι πλέον ένα από τους κύριους στόχους της Ε.Ε τα τελευταία χρόνια. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.6, το κυριότερο πρόβλημα πλαστικής ρύπανσης προερχόταν από τα πλαστικά μια χρήσης με αποτέλεσμα η Ε.Ε. να προβεί σε ολική απαγόρευση τους, καθώς τα πλαστικά αυτά είναι η μεγαλύτερη ομάδα απορριμμάτων στους ωκεανούς και στις ακτές. Προϊόντα όπως πλαστικά μαχαιροπίρουνα, πλαστικές σακούλες και καλαμάκια, δοχεία αποθήκευσης φαγητού και άλλα αποτελούν πλέον σχεδόν το 50% των στερεών αποβλήτων της θάλασσας (Εικόνα 3.5).

Αυτή η νομοθεσία ήταν σχετικά εύκολα υλοποιήσιμη, διότι αυτά τα πλαστικά προϊόντα αντικαταστάθηκαν πλήρως από άλλα υλικά, όπως ξύλινα μαχαιροπίρουνα και βιοδιασπώμενα χάρτινα καλαμάκια. Κάποια επιπλέον μέτρα που οι κυβερνήσεις θέσπισαν είναι τα εξής [13, 14, 24]:

- Περιορισμός της χρήσης πλαστικών δοχείων τοποθέτησης φαγητών και υγρών, με δυνατότητα χρήσης εναλλακτικών προϊόντων τοποθέτησης που επαναχρησιμοποιούνται στα σημεία πώλησης. Ταυτόχρονη εξασφάλιση μείωσης του κόστους αγοράς του προϊόντος με την χρήση εναλλακτικών προϊόντων τοποθέτησης, και αντιθέτως αύξηση του κόστους κατά την αγορά πλαστικών μίας χρήσης.
- Υποχρέωση των κρατών μελών να συλλέγουν το 90% των πλαστικών δοχείων τοποθέτησης ποτών από το 2025 μέσω συστημάτων επιστροφής.
- Υποχρέωση τυποποιημένης επισήμανσης που να αναγράφει τον ορθό τρόπο απόρριψης των σχετικών αποβλήτων, τις αρνητικές επιπτώσεις που προκαλούν στο περιβάλλον και την παρουσία πλαστικών υλών στο συγκεκριμένο προϊόν.
- Ενίσχυση της εκπαίδευσης των καταναλωτών για την ευαισθητοποίησή τους

Σχετικά με τα αλιευτικά εργαλεία, τα οποία αποτελούν το 27 % των απορριμμάτων που βρίσκονται στο θαλάσσιο περιβάλλον (Εικόνα 3.5), έχει προταθεί οι κατασκευαστές πλαστικών αλιευτικών εργαλείων να επιβαρύνονται με το κόστος για τη συλλογή των αποβλήτων από τις λιμενικές εγκαταστάσεις παραλαβής και τη μετέπειτα μεταφορά και επεξεργασία τους. Επιπλέον, τα κράτη μέλη μέχρι το έτος 2025 θα είναι υποχρεωμένα να συλλέγουν το 50% των απολεσθέντων αλιευτικών εργαλείων και να ανακυκλώνουν το 15% αυτών [13, 22, 23].

### **3.4 Πλαστικά απόβλητα σε παράκτιες περιοχές**

Η πλαστική ρύπανση στις παράκτιες περιοχές είναι πλέον ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα. Όπως προαναφέραμε στις προηγούμενες παραγράφους, η αύξηση των πλαστικών στους ωκεανούς έχει άμεσο αντίκτυπο και στις παράκτιες περιοχές.

Τα πλαστικά απόβλητα ανάλογα με τους κυματισμούς και τις μετεωρολογικές συνθήκες καταλήγουν σε παρακείμενες ή απομακρυσμένες παραλίες. Επειδή το πλαστικό είναι ένα υλικό που συνήθως επιπλέει στο νερό, είναι πολύ εύκολη η μεταφορά του στη θάλασσα με τη βοήθεια των ρευμάτων και των κυμάτων. Οι παραλίες που κάποτε ήταν καθαρές και υγιείς, τώρα κατακλύζονται από πλαστικά απορρίμματα και απόβλητα. Αυτό μπορεί να αποτελέσει σημαντική απειλή για τα παράκτια οικοσυστήματα, την άγρια ζωή και τις ανθρώπινες δραστηριότητες [25].

Τα πλαστικά απόβλητα από χερσαίες πηγές συσσωρεύονται κατά μήκος των ακτών, επηρεάζοντας έτσι παράκτιους βιότοπους, τον τουρισμό και τις τοπικές κοινωνίες. Έρευνες έχουν δείξει ότι υπάρχουν περισσότερα από 5,25 τρισεκατομμύρια κομμάτια πλαστικών απορριμμάτων στους ωκεανούς [24]. Περίπου 269.000 τόνοι εξ αυτών επιπλέουν, και 4 δισεκατομμύρια μικροσωματίδια ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο υπάρχουν κάτω από την επιφάνεια του νερού. Συγκεκριμένα, το 70% των απορριμμάτων βυθίζεται στον ωκεανό, το 15% επιπλέει και το 15% προσγειώνεται στις παραλίες [13, 15, 24].

Τα αίτια της πλαστικής ρύπανσης στις ακτές δεν διαφέρουν πολύ από αυτά που προαναφέραμε στην ενότητα 3.3.1, καθώς όλα αυτά τα απορρίμματα μεταφέρονται και συχνά καταλήγουν στις ακτές. Ωστόσο υπάρχουν και διαφορετικές περιπτώσεις παρουσίας πλαστικών απορριμμάτων στις ακτές. Η ανεύθυνη ανθρώπινη συμπεριφορά είναι ένας από τους πιο προφανείς και κύριους λόγους ύπαρξής τους. Πλαστικά αντικείμενα, όπως πλαστικές συσκευασίες τροφίμων, πλαστικά μπουκάλια, σακούλες μεταφοράς και άλλα, αφήνονται στις παραλίες, με αποτέλεσμα τη δημιουργία της πλαστικής ρύπανσης. Επίσης είναι εξίσου πιθανό να συμβεί μεταφορά πλαστικής ρύπανσης στη θάλασσα από παραλιακές περιοχές μέσω των παλιρροιακών ρευμάτων, του ανέμου και των κυματισμών. Επιπλέον, παραλίες που βρίσκονται κοντά σε εκβολές ποταμών είναι ιδιαίτερα ευάλωτες σε υψηλά επίπεδα πλαστικής ρύπανσης. Αυτό συμβαίνει γιατί τα πλαστικά απορρίμματα που απορρίπτονται στην ξηρά μπορούν να μεταφερθούν από τα ποτάμια και τα ρυάκια, καταλήγοντας τελικά στις ακτές. Παρόμοιο παράδειγμα μπορεί να αποτελέσει και η απορροή των ομβρίων υδάτων. Κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων, η απορροή των υδάτων που διασχίζουν την πόλη μπορεί να μεταφέρει πολλά από τα πλαστικά απορρίμματα, καταλήγοντας έτσι στις ακτές [15].

### 3.4.1 Επιπτώσεις πλαστικών απορριμμάτων στις παράκτιες περιοχές

Οι πλαστικοί ρύποι αποτελούν ένα από τα πιο επίπονα και σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι παράκτιες περιοχές. Η αυξανόμενη κατανάλωση πλαστικών προϊόντων σε παγκόσμιο επίπεδο έχει οδηγήσει στην άνευ προηγουμένου παρουσία πλαστικών απορριμμάτων στις παράκτιες περιοχές.

Η πλαστική ρύπανση επηρεάζει πολύ σοβαρά τη βιοποικιλότητα των οικοσυστημάτων και την ποιότητα του περιβάλλοντος στις παράκτιες περιοχές. Από τις πιο εμφανείς επιπτώσεις των πλαστικών απορριμμάτων στα θαλάσσια και παράκτια είδη είναι η κατάποση αυτών, η ασφυξία και ίσως η τελική θανάτωσή τους, όπως προαναφέρθηκε. Τα άγρια θαλάσσια ζώα, όπως για παράδειγμα οι φάλαινες, τα ψάρια, τα θαλασσοπούλια και οι χελώνες, συχνά μπερδεύουν τα πλαστικά απορρίμματα ως θήραμα. Τα περισσότερα από αυτά, έπειτα, πεθαίνουν από πείνα, καθώς το στομάχι τους γεμίζει με πλαστικά και τοξικές ουσίες. Επίσης, τα πλωτά πλαστικά βοηθούν στη μεταφορά χωροκατακτητικών θαλάσσιων ειδών, απειλώντας έτσι τη θαλάσσια βιοποικιλότητα και την τροφική αλυσίδα. Εκτός αυτού, τα πλαστικά απορρίμματα μπορούν να υποβαθμίσουν και να καταστρέψουν παράκτιους οικοτόπους, όπως υφάλους, θαλάσσια φυτά, αλλά και παράκτια φυτά, όπως αμμοθίνες, αλμυρίκια και άλλα [25].

Ένα παράδειγμα υποβάθμισης ενός θαλασσίου περιβάλλοντος φαίνεται στην εικόνα 3.8, όπου στα νερά του νησιού Sumbawa της Ινδονησίας ο εικονιζόμενος ιππόκαμπος προσκόλλησε σε μια πλαστική μπατονέτα. Οι ιππόκαμποι συγκρατούνται σε θαλάσσια φυτά ή άλλα θαλάσσια αντικείμενα για να μετακινούνται πιο εύκολα. Όπως ανέφερε και ο φωτογράφος που τράβηξε την φωτογραφία Justin Hofman, «αυτή είναι μια φωτογραφία που θα ήθελε να μην υπάρχει».

Εκτός όλων των προαναφερόμενων προβλημάτων, δεν μπορούν να παραληφθούν οι οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες. Ένας σωρός από πλαστικά απόβλητα δεν είναι αισθητικά όμορφος. Η πλαστική ρύπανση μπορεί να αποτρέψει τους τουρίστες, επηρεάζοντας αρνητικά τις τοπικές οικονομίες και δημιουργώντας παράλληλα αρνητικές αντιλήψεις για τους τουριστικούς προορισμούς.



Υλοποιώντας τις πρακτικές αντιμετώπισης της πλαστικής ρύπανσης που προαναφέρθηκαν στην ενότητα 3.3.3, είναι εφικτή, αν όχι η πλήρης αντιμετώπιση της πλαστικής ρύπανσης στις παράκτιες περιοχές, τουλάχιστον η μείωσή της. Οι καθαρισμοί των παραλιών από εθελοντές και μέλη μη κρατικών οργανισμών αλλά και από κράτος, η διαχείριση και ανακύκλωση απορριμμάτων πριν από την κατάληξή τους στις παραλίες, καθώς και η εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση των ατόμων σχετικά με τις επιπτώσεις της πλαστικής ρύπανσης, είναι κρίσιμοι παράγοντες για την αποφυγή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο μέλλον [15].



Εικόνα 3.7 : Παράδειγμα υποβάθμισης θαλάσσιου περιβάλλοντος, όπου ένας ιππόκαμπος προσκόλλησε σε μια πλαστική μπατονέτα στα νερά του νησιού Sumbawa της Ινδονησίας. Η φωτογραφία τραβήχτηκε από τον Justin Hofman [25].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

#### **4.1 Μέθοδοι και πρακτικές**

Όπως αναφέρθηκε, η διαχείριση των πλαστικών απορριμμάτων αποτελεί ένα σημαντικό και επείγον περιβαλλοντικό ζήτημα παγκοσμίως. Από τη συλλογή της πρώτης ύλης για την παρασκευή πολυμερών έως και την τελική απόρριψή του, το πλαστικό έχει αντίκτυπο στο περιβάλλον σε κάθε στάδιο. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στο κεφάλαιο 3, οι υψηλές ποσότητες πλαστικών που καταναλώνονται και απορρίπτονται κάθε έτος έχουν οδηγήσει στην αναγκαιότητα αναζήτησης βιώσιμων και αποτελεσματικών λύσεων για την αντιμετώπιση του προβλήματος [7].

Στο πλαίσιο αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι και πρακτικές διαχείρισης πλαστικών απορριμμάτων, που περιλαμβάνουν την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση, τους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων και υπολειμμάτων (ΧΥΤΑ και ΧΥΤΥ), την αποτέφρωση και τη βιοαποικοδόμηση των βιοπλαστικών. Κάθε μέθοδος προσφέρει τα δικά της πλεονεκτήματα και προκλήσεις, επιτρέποντας σε κάθε χώρα και κοινότητα να επιλέξει την κατάλληλη προσέγγιση για την αντιμετώπιση της πλαστικής ρύπανσης και την προστασία του περιβάλλοντος για τις επόμενες γενιές.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναλυθούν μέθοδοι και πρακτικές επεξεργασίας των πλαστικών απορριμμάτων. Κάποιες από αυτές τις μεθόδους τείνουν να απαγορευτούν λόγω του αποτυπώματός τους στο περιβάλλον, ενώ κάποιες άλλες συνεχώς βελτιώνονται και εξελίσσονται.

#### **4.2 Επαναχρησιμοποίηση**

Η επαναχρησιμοποίηση των πλαστικών αντικειμένων στο τέλος του κύκλου ζωής τους είναι μια ουσιαστική πτυχή της βιώσιμης διαχείρισης απορριμμάτων. Εναλλακτική λύση στην απόρριψη αποτελεί η εύρεση εναλλακτικών τρόπων επέκτασης της χρησιμότητας των πλαστικών αντικειμένων μετά το πέρας της κύριας χρήσης και ζωής τους. Η

επαναχρησιμοποίηση μπορεί να βοηθήσει στη μείωση πλαστικών απορριμμάτων, στη διατήρηση των φυσικών πόρων και στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3 (Ενότητες 3.1 και 3.1.1), η επαναχρησιμοποίηση των πλαστικών αντικειμένων βασίζεται σε ένα κλειστό μοντέλο κυκλικής οικονομίας με μηδενικό αποτύπωμα στο περιβάλλον μετά το πέρας της χρησιμότητας του αντικειμένου. Η επαναχρησιμοποίηση αντικειμένων μπορεί να περιλαμβάνει νέα λειτουργία διαφορετική από την αρχική τους χρήση. Μερικά παραδείγματα είναι η μετατροπή πλαστικών μπουκαλιών σε εναλλακτικά ανθοδοχεία καλλιέργειας, η χρήση παλαιών πλαστικών δοχείων για την οργάνωση μικρών αντικειμένων ή η μετατροπή πλαστικών σακουλών σε επαναχρησιμοποιημένες τσάντες και άλλα (Ενότητα 3.1.1, Εικόνα 3.4). Κάποιες άλλες εφαρμογές της επαναχρησιμοποίησης είναι η χρήση των πλαστικών αντικειμένων στην κατασκευή έργων τέχνης και χειροτεχνιών, η επισκευή ή η αποκατάσταση πλαστικών αντικειμένων (π.χ. παιχνίδια), η δωρεά επαναχρησιμοποιήσιμων πλαστικών αντικειμένων σε φιλανθρωπικές οργανώσεις, η ανταλλαγή παλαιών αντικειμένων ή ακόμα και ο δανεισμός τους [57, 24, 58].

#### **4.3 Ανακύκλωση**

Η ανακύκλωση αποτελεί ένα βασικό στάδιο της κυκλικής οικονομίας, μιας προοδευτικής προσέγγισης στην οικονομία που στοχεύει στην οικολογική αειφορία και στη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης. Σε αντίθεση με τον παραδοσιακό γραμμικό τρόπο που τα προϊόντα παραγωγής και κατανάλωσης καταλήγουν στα απορρίμματα, η ανακύκλωση προβαίνει σε επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση των υλικών με σκοπό τη δημιουργία νέων. Η ανακύκλωση διασφαλίζει την επέκταση του χρόνου ζωής των προϊόντων και των πόρων της φύσης. Τα υλικά που παλαιότερα κατέληγαν στα απορρίμματα, τώρα πλέον μέσω της ανακύκλωσης είναι ικανά να δημιουργήσουν νέα με τις ίδιες ή παρόμοιες ιδιότητες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της εξόρυξης φυσικών πόρων μειώνοντας με αυτό τον τρόπο τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και ελαχιστοποιώντας την ενεργειακή κατανάλωση. Στην Ε.Ε, ανακυκλώνεται μόλις το 30% των πλαστικών απορριμμάτων, ενώ το υπόλοιπο 60% προωθείται για υγειονομική ταφή και αποτέφρωση.

Η πληροφορία εάν ένα πλαστικό προϊόν είναι ανακυκλώσιμο ή όχι, φαίνεται στις ειδικές σημάνσεις που είναι χαραγμένες επάνω στα προϊόντα, πληροφορώντας τους καταναλωτές σχετικά με τους κωδικούς ανακύκλωσης και τον τύπο του πλαστικού. Οι κωδικοί ανακύκλωσης συνήθως παρουσιάζονται σε μορφή τριγώνου με βέλη και κάθε τύπος πλαστικού έχει τον δικό του μοναδικό αριθμό και σύμβολο. Αυτό διευκολύνει τους καταναλωτές και τους υπεύθυνους κατά τη διαλογή των απορριμμάτων να αναγνωρίζουν ποια πλαστικά μπορούν να ανακυκλωθούν και με ποιο τρόπο [24].

Κάποια παραδείγματα αυτών των σημάνσεων παρουσιάζονται στην εικόνα 4.1. Οι αριθμοί στις συγκεκριμένες σημάνσεις πληροφορούν επίσης σχετικά με την ασφάλεια των συσκευασιών για την αποθήκευση τροφίμων. Για παράδειγμα οι αριθμοί 1, 2, 4 και 5 είναι ασφαλείς για τρόφιμα, ενώ τα μπουκάλια νερού με τον αριθμό 1 δεν ενδείκνυνται για επαναχρησιμοποίηση [8].



Εικόνα 4.1 : Σημάνσεις των διαφορετικών ειδών πλαστικού, των συντομογραφιών τους, των κωδικών ανακύκλωσης και πληροφορίες για την χρησιμότητα αυτών [8].

#### 4.3.1 Μηχανική ανακύκλωση

Οι δυο κύριες μορφές μηχανικής ανακύκλωσης, είναι η ανακύκλωση ανοιχτού βρόγχου (Open loop recycling) και η ανακύκλωση κλειστού βρόγχου (Closed loop recycling), η οποία δεν είναι τόσο διαδεδομένη λόγω της μικρής της ευελιξίας στην ανακύκλωση των υλικών. Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν πιο αναλυτικά οι δύο αυτές μέθοδοι [18].

## I. Ανακύκλωση ανοιχτού βρόγχου

Η ανακύκλωση ανοιχτού βρόγχου είναι γνωστή και ως μηχανική ανακύκλωση, περιλαμβάνει τη μετατροπή πλαστικών απορριμμάτων σε νέα προϊόντα με μειωμένη ποιότητα και λειτουργικότητα υλικού σε σχέση με το αρχικό προϊόν. Η διαδικασία ξεκινάει με τη συλλογή και ταξινόμηση των αποβλήτων από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων και των απορριμμάτων μετά την κατανάλωση. Αυτά μπορεί να είναι μεταχειρισμένα πλαστικά προϊόντα, απορρίμματα παραγωγής και απορριπτόμενα πλαστικά. Τα πλαστικά συλλέγονται κατατάσσονται με βάση τον τύπο της ρητίνης που είναι κατασκευασμένα. Αυτή η διαδικασία είναι απαραίτητη γιατί τα περισσότερα πλαστικά έχουν διαφορετικές ιδιότητες και δεν μπορούν να αναμειχθούν κατά την ανακύκλωση. Στη συνέχεια αυτά τα διαχωρισμένα πλαστικά πλένονται και καθαρίζονται επιμελώς σε ειδικές συνθήκες, για να απομακρυνθούν από την επιφάνεια τους τυχόν ετικέτες, κόλλες και υπολείμματα τροφών ή ακόμα και ακαθαρσίες. Αφού στεγνώσουν, περνάνε στην προ επεξεργασία, όπου εκεί τεμαχίζονται σε μικρά κομμάτια ή νιφάδες, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την ωφέλιμη επιφάνεια επεξεργασίας τους. Ακολουθεί η τήξη και η εξώθηση, όπου το τεμαχισμένο πλαστικό τήκεται, χρησιμοποιώντας θερμότητα για να σχηματιστεί ένα λιωμένο πλαστικό υλικό. Η θερμοκρασία που χρησιμοποιείται για την τήξη των πλαστικών διαφέρει ανάλογα τον τύπο του πλαστικού και τον τρόπο ανακύκλωσης [18]. Στον πίνακα 4.1 αναγράφονται τρία είδη πλαστικών, οι συντομογραφίες του καθενός και οι θερμοκρασίες τήξης μετά τον τεμαχισμό του κάθε είδους πλαστικού [58].

Πίνακας 4.1: Είδη πλαστικών, συντομογραφίες αυτών και θερμοκρασία τήξης μετά τον τεμαχισμό [58].

Είδος πλαστικού	Συντομογραφία	Θερμοκρασία (°C)
Πολυαιθυλένιο– Polyethylene	PE	120-180

<b>Πολυπροπυλένιο- Polypropylene</b>	PP	160-230
<b>Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο – Terephthalate Polyethylene</b>	PET	260

Συνεχίζοντας τη διαδικασία ανακύκλωσης ανοιχτού βρόγχου σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να εισαχθεί πρόσθετο παρθένο πλαστικό ή πρόσθετες χημικές ενώσεις για την ενίσχυση των ιδιοτήτων του ανακυκλωμένου υλικού. Το λιωμένο πλαστικό στην συνέχεια εξωθείται μέσω μίας μήτρας σχηματοποίησης, ώστε να δημιουργηθούν λεπτοί κύλινδροι ή σφαιρίδια, τα οποία χρησιμεύουν σαν πρώτη ύλη για την κατασκευή νέων πλαστικών προϊόντων ή για πώληση σε άλλες κατασκευαστικές εταιρείες πλαστικών. Αυτά τα νέα πλαστικά προϊόντα ποικίλουν και μπορούν να περιλαμβάνουν από πλαστικά μπουκάλια, δοχεία συσκευασίας έως και άλλα πλαστικά προϊόντα ανάλογα με τον τύπο πλαστικού που χρησιμοποιείται και τη ζήτηση αγοράς.

Ωστόσο είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι το ανακυκλωμένο πλαστικό που λαμβάνεται από την ανακύκλωση ανοιχτού βρόγχου, είναι χαμηλότερης ποιότητας σε σύγκριση με το αρχικό παρθένο πλαστικό, λόγω της υποβάθμισης της ποιότητας του εξαιτίας της απώλειας της μοριακής του ακεραιότητας, η οποία συμβαίνει κατά την διαδικασία ανακύκλωσης.

Η ανακύκλωση ανοιχτού βρόγχου είναι μια ευρέως διαδεδομένη μορφή ανακύκλωσης και η πιο συχνά εφαρμοζόμενη, αφού αποτρέπει να απορριφθούν τα πλαστικά σε ΧΥΤΑ και μειώνει τη ζήτηση για παρθένα πλαστικά, μειώνοντας ταυτόχρονα και την αυξημένη ζήτηση για φυσικούς πόρους. Είναι μια αρκετά οικονομικά προσιτή ανακύκλωση και μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα πλαστικών τύπων, επιτρέποντας την ανακύκλωση διαφόρων πλαστικών προϊόντων. Βέβαια όπως προαναφέρθηκε, το πλαστικού που παράγεται από την ανακύκλωση ανοιχτού βρόγχου, είναι συχνά χαμηλότερης ποιότητας από αυτής του αρχικού προϊόντος, περιορίζοντας τις εφαρμογές. Αυτό σημαίνει ότι βιομηχανίες που απαιτούν υψηλής αντοχής πλαστικά, όπως είναι οι κατασκευαστικές εταιρείες, η αυτοκινητοβιομηχανία και άλλες, δεν μπορούν εύκολα να χρησιμοποιήσουν

τέτοιου είδους πλαστικά υλικά. Επίσης ορισμένοι τύποι πλαστικών όπως για παράδειγμα τα μικτά πλαστικά ή αυτά που έχουν αναμιχθεί με μη ανακυκλώσιμα υλικά, είναι δύσκολο να ανακυκλωθούν χρησιμοποιώντας αυτή τη διαδικασία. Η ανακύκλωση ανοιχτού βρόγχου επίσης μπορεί να μειώσει τις ιδιότητες του υλικού σε διαδοχικούς κύκλους ανακύκλωσης, με αποτέλεσμα την απώλεια της απόδοσης και της λειτουργικότητας των τελικών προϊόντων [18].

## II. Ανακύκλωση κλειστού βρόγχου.

Από την άλλη, η ανακύκλωση κλειστού βρόγχου ή προηγμένη ανακύκλωση είναι μια πιο αναπτυγμένη τεχνολογία εξελιγμένης διαδικασίας ανακύκλωσης. Περιλαμβάνει τη μετατροπή πλαστικών απορριμμάτων ξανά σε πλαστικά υψηλής ποιότητας, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ίδιων ή παρόμοιων προϊόντων με το αρχικό παρθένο πλαστικό.

Η διαδικασία συλλογής, καθαρισμού και στεγνώματος των απορριμμάτων είναι ίδια με αυτή του ανοιχτού βρόγχου. Η μετέπειτα διαδικασία ξεκινάει με τον αποπολυμερισμό ή την χημική διαλυτοποίηση (σολβόλυση). Ο αποπολυμερισμός είναι μια διαδικασία που διασπά τα πλαστικά απόβλητα στα μοριακά δομικά τους υλικά, όπως μονομερή ή μικρότερα θραύσματα πολυμερούς. Η σολβόλυση είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιεί έναν διαλύτη για την επίτευξη του ίδιου στόχου. Αυτές οι διαδικασίες επιτρέπουν το διαχωρισμό ακαθαρσιών και πρόσθετων χημικών ουσιών με αποτέλεσμα τα μονομερή και τα κομμάτια πολυμερών να είναι υψηλής ποιότητας. Στη συνέχεια, αυτά που λαμβάνονται από τον αποπολυμερισμό, υποβάλλονται σε καθαρισμό και εξευγενισμό από εναπομείνουσες ακαθαρσίες και ρυπαντές που μπορεί να είναι σκόνες, υπολείμματα πλαστικού, χημικά υπολείμματα και άλλα. Έπειτα ακολουθεί ο επαναπολυμερισμός, κατά τον οποίο παρασκευάζονται μονομερή και ενδιάμεσα πολυμερή σε καθαρή μορφή. Στη συνέχεια πολυμερίζονται με τον ίδιο τρόπο όπως και στην αρχική παραγωγή ενός παρθένου πλαστικού, δημιουργώντας έτσι νέα πλαστικά υψηλής αντοχής που δεν έχουν μεγάλη διαφορά από τα παρθένα πλαστικά. Το παραγόμενο προϊόν έχει τις ίδιες ή παρόμοιες



ιδιότητες με ένα απλό παρθένο πλαστικό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή των ίδιων ή παρόμοιων αντικειμένων και προϊόντων [18].

Στον πίνακα 4.2 συνοψίζονται κάποιες από τις κατηγορίες πολυμερών, η χρήση αυτών πριν την ανακύκλωση κλειστού βρόγχου και μετά αυτήν [50].

Πίνακας 4.2: Κατηγορίες πολυμερών και χρήση αυτών πριν την ανακύκλωση κλειστού βρόγχου και μετά αυτήν [50].

A/α	Πολυμερές	Συντομογραφία	Χρήση πριν την επεξεργασία	Χρήση μετά την επεξεργασία
1	Πολυεστέρας (Polyester)	PET	Φιάλες πόσιμου νερού, αναψυκτικών	Ανακυκλωμένες φιάλες, ίνες πολυεστέρα για υφάσματα
2	Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (Polyethylene high density )	HDPE	Φιάλες γάλακτος, σακούλες αγορών, συσκευασίες τροφίμων	Πλαστικές συσκευασίες, παιχνίδια
3	Πολυπροπυλένιο (Polypropene)	PP	Συσκευασίες τροφίμων και καλλυντικών, ιατρικά είδη, σκεύη	Καρέκλες , παράθυρα κ.ά.
4	Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (Polyethylene low density )	LDPE	Πλαστικά σακίδια, μεμβράνες, συσκευασίες τροφίμων	Νέες σακούλες, σωλήνες, καλύμματα

Η ανακύκλωση κλειστού βρόγχου γενικά προσφέρει τη δυνατότητα παραγωγής ανακυκλωμένων πλαστικών υψηλής αντοχής και παρόμοιας ποιότητας με αυτή των παρθένων πλαστικών. Όπως προαναφέρθηκε, αυτή η μέθοδος είναι ικανή να ανακυκλώσει ένα ευρύ φάσμα τύπων πλαστικών, στα οποία ανήκουν τα μικτά πλαστικά ακόμα και τα ρυπασμένα, τα οποία είναι δύσκολο να ανακυκλωθούν χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ανοιχτού βρόγχου.

Από την άλλη, η ανακύκλωση κλειστού βρόγχου είναι μια σχετικά νέα και τεχνολογικά προηγμένη διαδικασία, η οποία μπορεί να είναι αρκετά δαπανηρή και μπορεί να απαιτεί περαιτέρω ανάπτυξη και βελτιστοποίηση. Επίσης, οι υποδομές και οι εγκαταστάσεις κλειστού βρόγχου δεν είναι ακόμα τόσο διαδεδομένες, όσο οι εγκαταστάσεις ανακύκλωσης ανοιχτού βρόγχου.

Η διάκριση των πλαστικών ανοιχτού βρόγχου από αυτά του κλειστού είναι ιδιαίτερα περίπλοκη και αυτό διότι απαιτεί γνώση του ιστορικού της διαδρομής του πλαστικού. Ωστόσο υπάρχουν κάποιες κατευθυντήριες αρχές διάκρισης. Η πρώτη είναι ο τύπος πλαστικού. Κάποιοι τύποι πλαστικού, όπως το PET, το PE και το PP, είναι πιο πιθανόν λόγω του υλικού τους να έχουν ανακυκλωθεί με διαδικασίες ανοιχτού βρόγχου. Άλλη μία παράμετρος διάκρισης είναι η εφαρμογή του πλαστικού μετά την ανακύκλωση. Πλαστικά που χρησιμοποιούνται για μια μόνο χρήση, όπως σακούλες μια χρήσης και πλαστικά μαχαιροπίρουνα, είναι πιο πιθανό να έχουν ανακυκλωθεί με διαδικασίες ανοιχτού βρόγχου. Αντίθετα, πλαστικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αντικειμένων για παρατεταμένες χρήσεις (π.χ. φιάλες πλήρωσης, πλαστικά σκεύη) ενδέχεται να έχουν ανακυκλωθεί με διαδικασίες κλειστού βρόγχου, καθώς αυτά τα πλαστικά μπορούν να υποστούν ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση.

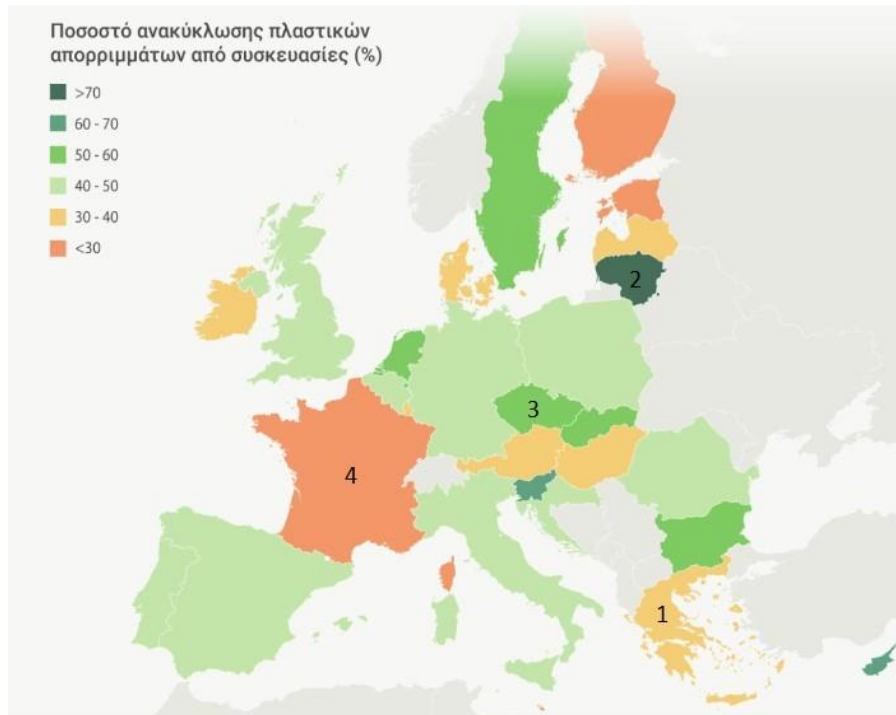
Συμπερασματικά, οι δύο αυτές μέθοδοι διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην εκστρατεία αντιμετώπισης των πλαστικών απορριμμάτων και την προώθηση της αειφορίας και της βιωσιμότητας. Η ανακύκλωση ανοιχτού βρόγχου είναι μια καθιερωμένη μέθοδος που μειώνει τα πλαστικά απόβλητα και εξοικονομεί πόρους. Από την άλλη, η ανακύκλωση κλειστού βρόγχου προσφέρει τη δυνατότητα παραγωγής ανακυκλωμένων πλαστικών υψηλής ποιότητας, αντίστοιχης ποιότητας των παρθένων πλαστικών. Ο συνδυασμός και των δύο και η περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας θα βοηθήσει να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά η πλαστική ρύπανση και να επιτευχθεί ένα βιώσιμο μέλλον.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η παραγωγή πλαστικού έχει αυξηθεί εκθετικά τα τελευταία χρόνια. Από το έτος 1950 μέχρι και το έτος 2018 παρήχθησαν παγκοσμίως περισσότερα από 350 εκατομμύρια τόνοι πλαστικά προϊόντα. Αυτή η ποσότητα αντιστοιχεί και στην παραγωγή πλαστικών αποβλήτων. Η Ευρώπη έχει λάβει σημαντικές αποφάσεις για την αντιμετώπιση της πλαστικής ρύπανσης μέσω της κυκλικής οικονομίας και της αύξησης της παραγωγής ανακυκλώσιμων προϊόντων. Παρόλα αυτά το ήμισυ των πλαστικών που συλλέγονται για ανακύκλωση, εξάγεται προς επεξεργασία σε χώρες εκτός της Ε.Ε. Ένα μεγάλο μέρος των πλαστικών αποβλήτων της Ε.Ε. εξάγονταν μέχρι προσφάτως στην Κίνα. Λόγω της επιβολής περιορισμών στην εισαγωγή πλαστικών αποβλήτων στην Κίνα αναμένεται ότι οι εξαγωγές πλαστικών αποβλήτων θα μειωθούν. Αυτό μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της υγειονομικής ταφής και της αποτέφρωσης πλαστικών αποβλήτων στην Ευρώπη, με προφανείς αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Ταυτόχρονα, όπως αναφέρθηκε, η Ε.Ε. προσπαθεί να βρει βιώσιμους και σύγχρονους τρόπους διαχείρισης των πλαστικών αποβλήτων μέσω της κυκλικής οικονομίας και των πράσινων πρακτικών. Η ανακύκλωση πλαστικών αντιμετωπίζει ταυτόχρονα πολλές προκλήσεις αλλά και προβλήματα. Τα κυριότερα προς εξέταση ζητήματα είναι η ποιότητα και η τιμή των ανακυκλωμένων προϊόντων, σε σύγκριση με τα προϊόντα που δεν ανακυκλώνονται. Παρόλα αυτά η ζήτηση ανακυκλωμένων πλαστικών αυξάνεται σταδιακά, αν και παραμένει ακόμη χαμηλή. Το έτος 2018, τα ανακυκλωμένα πλαστικά αντιπροσώπευαν μόνο το 6% της συνολικής ζήτησης πλαστικών στην Ευρώπη. Τέλος, το Νοέμβριο του 2022, η Ε.Ε. πρότεινε νέους κανόνες συσκευασίας, που σκοπεύουν στο βιώσιμο σχεδιασμό, στην προώθηση της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης των προϊόντων. Το 55% των απορριμμάτων πλαστικών συσκευασιών αναμένεται μέχρι το έτος 2030 να ανακυκλώνονται στα πλαίσια της Πράσινης Συμφωνίας [18, 24].

Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία και έρευνες, η Ελλάδα καταναλώνει περίπου 0,6 εκατομμύρια τόνους πλαστικών ετησίως, ενώ μόνο το 30% αυτών ανακυκλώνεται. Μια έρευνα που διεξήχθη σε 80 Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Απορριμμάτων στην Ελλάδα αποκάλυψε ότι το πιο συχνό υλικό στα απορρίμματα είναι τα πλαστικά (43-51%), ακολουθούμενα από το χαρτί (13-18%) και το αλουμίνιο (7-12%) [24].

Στην ακόλουθη εικόνα 4.2 απεικονίζεται το ποσοστό ανακύκλωσης των πλαστικών απορριμμάτων από συσκευασίες στις χώρες της Ευρώπης. Στην εικόνα εμφανίζονται με

αριθμούς 1 έως 4 παραδείγματα χωρών με διαφορετικό ποσοστό ανακύκλωσης πλαστικών συσκευασιών, οι οποίες είναι οι ακόλουθες [24]: 1. Ελλάδα > 30-40%, 2. Λιθουανία > 70%, 3. Τσεχία 50-60 %, 4. Γαλλία < 30%.



Εικόνα 4.2: Ποσοστό ανακύκλωσης πλαστικών απορριμμάτων από συσκευασίες στις χώρες της Ευρώπης [24].

#### 4.3.2 Χημική ανακύκλωση

Η χημική ανακύκλωση είναι μια προηγμένη διαδικασία που διασπά τα πλαστικά απόβλητα στα χημικά δομικά τους υλικά ή στην πρώτη ύλη. Ονομάζεται επίσης και ως ανακύκλωση πρώτης ύλης, είναι καινοτόμος τεχνολογικά μέθοδος και βασίζεται στην χρήση χημικών αντιδράσεων για τον αποπολυμερισμό των μορίων των πλαστικών, μετατρέποντας αυτά στα αρχικά τους δομικά υλικά, μονομερή ή σε άλλες πολύτιμες χημικές ενώσεις. Αυτή η χημική διαδικασία επιτρέπει την παραγωγή ανακυκλωμένων υλικών υψηλής ποιότητας

που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία νέων πλαστικών, καυσίμων ή άλλων πολύτιμων προϊόντων [50, 51].

Η διαδικασία ξεκινάει, όπως και στη μηχανική ανακύκλωση, με την συλλογή των πλαστικών απορριμμάτων μετά την κατανάλωση και των απορριπτόμενων βιομηχανικών πλαστικών απορριμμάτων πριν την κατανάλωση. Τα πλαστικά που συλλέγονται, κατηγοριοποιούνται με βάση τον τύπο της ρητίνης τους για να εξασφαλιστεί η κατάλληλη επεξεργασία. Ακολουθεί ο αποπολυμερισμός, μια διαδικασία κατά την οποία διασπώνται τα μακράς αλυσίδας πολυμερή μόρια του πλαστικού σε μικρότερα μόρια, όπως μονομερή ή ολιγομερή. Υπάρχουν πολλά είδη αποπολυμερισμού συμπεριλαμβανομένης της υδρόλυσης, της διαλυτόλυσης και της θερμικής πυρόλυσης, όπου η κάθε μία χρησιμοποιεί διαφορετικές χημικές αντιδράσεις και συνθήκες για την επίτευξη του αποπολυμερισμού. Μετά ακολουθεί ο καθαρισμός και διαχωρισμός, όπου διαχωρίζονται και να απομακρύνονται ακαθαρσίες και παραπροϊόντα από τα επιθυμητά μονομερή ή την πρώτη ύλη. Τέλος τα καθαρισμένα μονομερή ή η πρώτη ύλη μπορούν να πολυμεριστούν ξανά, δημιουργώντας νέα πλαστικά υψηλής αντοχής, τα οποία μπορούν να έχουν συγκρίσιμες ιδιότητες με αυτές των παρθένων πλαστικών. Εναλλακτικά, η καθαρισμένη πρώτη ύλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή χημικών ουσιών ή προϊόντων, όπως καύσιμα ή ειδικές χημικές ουσίες [19].

Η χημική ανακύκλωση γενικά παράγει πλαστικά υλικά υψηλής ποιότητας, συχνά με ιδιότητες παρόμοιες με αυτές των παρθένων πλαστικών, καθιστώντας τα κατάλληλα για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της είναι, ότι η χημική ανακύκλωση μπορεί να ανακυκλώσει ένα ευρύ φάσμα αποβλήτων και πλαστικών που είναι δύσκολο να ανακυκλωθούν μέσω μηχανικών μεθόδων ανακύκλωσης. Επίσης εξοικονομεί πολλούς πόρους, μειώνοντας τη ζήτηση σε παρθένα πλαστικά υψηλής αντοχής.

Ωστόσο, η τεχνολογική πολυπλοκότητα που έχει η χημική ανακύκλωση, την καθιστά συνεχώς αναπτυσσόμενη, ενώ ταυτόχρονα το κόστος εγκατάστασης της χημικής ανακύκλωσης, είναι προφανώς υψηλότερο σε σύγκριση με μία παραδοσιακή εγκατάσταση μηχανικής ανακύκλωσης [58].

Συμπερασματικά, η ανακύκλωση με την χρήση χημικών αντιδράσεων διάσπασης και αποπολυμερισμού είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για την αντιμετώπιση των πλαστικών απορριμμάτων συμβάλλοντας σε μια πιο βιώσιμη και αειφορική οικονομία.

Μετατρέποντας τα πλαστικά ξανά σε πολύτιμη χημική πρώτη ύλη ή ανακυκλωμένα πλαστικά υψηλής αντοχής, η χημική ανακύκλωση προσφέρει λύσεις στις προκλήσεις που θέτει η πλαστική ρύπανση και στις περιορισμένες ικανότητες ανακύκλωσης της παραδοσιακής μηχανικής ανακύκλωσης [50, 51].

#### **4.4 Χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)**

Η υγειονομική ταφή αποτελεί την πιο διαδεδομένη, εύκολη και παραδοσιακή μέθοδο τελικής απόθεσης πλαστικών απορριμμάτων και αποβλήτων. Υπολογίζεται ότι το 60% της παγκόσμιας παραγωγής πλαστικού μέχρι και σήμερα αποτίθεται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Ωστόσο λόγω των περιορισμένων ελεύθερων εκτάσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για υγειονομική ταφή, στις ανεπτυγμένες χώρες ήδη αναπτύσσονται νέες μέθοδοι εναλλακτικών συστημάτων διαχείρισης, ιδιαίτερα σε χώρες με μεγάλη πληθυσμιακή πυκνότητα. Παγκοσμίως, το πλαστικό αντιστοιχεί στο 20% του συνολικού όγκου των σκουπιδιών που καταλήγουν στις χωματερές [24].

Η υγειονομική ταφή είναι μια μέθοδος που περιλαμβάνει την ελεγχόμενη και σχεδιασμένη ταφή στερεών αποβλήτων σε καθορισμένους χώρους ταφής. Ο στόχος είναι η διαχείριση των απορριμμάτων με τρόπο που ελαχιστοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αποτρέπει τη ρύπανση και μετριάζει τους κινδύνους για την υγεία. Αυτό όμως δεν είναι πάντα εφικτό, διότι η υγειονομική ταφή έχει τόσο θετικές όσο και αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Οι χώροι της υγειονομικής ταφής έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να προλαμβάνουν τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Συνήθως αποτελούνται από πολλαπλά στρώματα, συμπεριλαμβανομένης μιας επένδυσης πυθμένα (συνήθως κατασκευασμένη από πηλό ή συνθετικά υλικά) για την αποφυγή διαρροής υγρών (στραγγισμάτων) στο έδαφος και στα υπόγεια ύδατα [55, 56].

Η εικόνα 4.3 απεικονίζει μια τομή ενός χώρου υγειονομικής ταφής, στον οποίο φαίνονται αριθμημένα τα ακόλουθα βασικά τμήματα [63]: 1. Κεντρικός συλλέκτης αερίων (Main gas collector), 2. Σωλήνες συλλογής στραγγιδιών (Leachate collection pipes), 3. Πίεση νερού (Water pressure), 4. Τελικό κάλυμμα ΧΥΤΑ με χώμα (Final Cover), 5. Προστατευτική επένδυση έκτακτης ανάγκης (Sub contingency liner).

Η βιολογική διεργασία που πραγματοποιείται σε ΧΥΤΑ είναι η ακόλουθη. Ζώντες μικροοργανισμοί (κυρίως βακτήρια και μύκητες) διασπούν τα οργανικά υλικά σε μικρότερα μόρια, όπως νερό και διοξείδιο του άνθρακα σε αναερόβιες συνθήκες. Αυτό οδηγεί στη μείωση του όγκου των απορριμμάτων και στην παραγωγή αερίων κατά την διάσπαση. Οι χώροι που πραγματοποιείται η βιολογική διαδικασία λέγονται βιολογικοί στραγγιστήρες ή βιοαποικοδομητές. Το βιολογικό υλικό το οποίο παράγεται, ονομάζεται κομπόστ και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό φυτόχωμα, γιατί είναι πλούσιο σε στοιχεία, όπως Άζωτο (N), Κάλιο (K), Φώσφορο (P), και σε οργανική ύλη, όπως υδατάνθρακες και πρωτεΐνες, τα οποία βοηθούν την ανάπτυξη των φυτών.

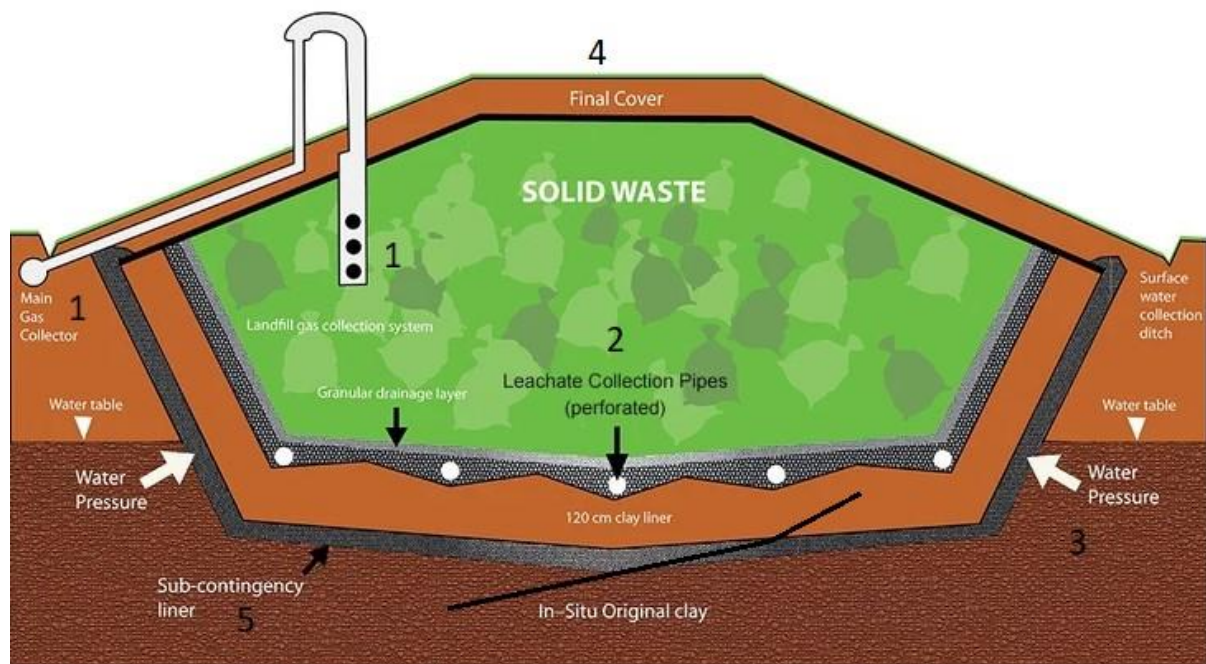
Επίσης ένα σύστημα με υπόγειους σωλήνες συλλέγει τα στραγγίσματα και τα κατευθύνει σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων για την πρόληψη της ρύπανσης. Τα στρώματα των απορριμμάτων συμπιέζονται και καλύπτονται με χώμα καθημερινά ή τακτικά για τον έλεγχο των οσμών, την αποθάρρυνση των παρασίτων και την ελαχιστοποίηση των σκουπιδιών που παρασέρνει ο αέρας. Εκτός από την συλλογή των υγρών αποβλήτων, υπάρχει και συλλογή αερίων εκπομπών που παράγονται στα ΧΥΤΑ. Σε αυτά τα αέρια συμπεριλαμβάνονται το μεθάνιο ( $CH_4$ ) και το διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ), καθώς στα ΧΥΤΑ, δεν αποτίθενται μόνο πλαστικά απόβλητα, αλλά και οργανικά υλικά, τα οποία αποσυντίθενται αναερόβια (χωρίς οξυγόνο) και παράγονται τα προαναφερόμενα αέρια. Για τη διαχείριση αυτών των αερίων εγκαθίστανται συστήματα συλλογής αερίων υγειονομικής ταφής, για τη δέσμευση και συλλογή του μεθανίου. Το μεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας ή να καεί για να μετατραπεί σε λιγότερο βλαβερές ουσίες ( $CO_2$ ) [15]

Οι ΧΥΤΑ είναι μια πολύ άμεση και διαδεδομένη λύση για την τελική απόθεση των πλαστικών απορριμμάτων, παρόλο που έχουν περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Παρά τις προφυλάξεις που λαμβάνονται στους χώρους υγειονομικής ταφής, τα στραγγίδια που προκύπτουν είναι εξαιρετικά τοξικά και μπορούν πολύ εύκολα να ρυπάνουν το έδαφος και τα υπόγεια ύδατα. Κάποια παραδείγματα τοξικών ενώσεων και στοιχείων που μπορούν να ρυπάνουν αν διαφύγουν, είναι τα βαρέα μέταλλα, όπως ο μόλυβδος (Pb) και το κάδμιο (Cd), οι οργανικές διοξίνες, τα προϊόντα πετρελαιοειδών και άλλα χημικά λύματα που μπορεί να προκύψουν από ενώσεις που δημιουργούνται εκείνη την στιγμή. Στις εγκαταστάσεις που αποσυντίθενται πλαστικά υλικά, απαιτείται να γίνει διαχωρισμός πριν την ταφή τους σε

διασπώμενα και μη-διασπώμενα πλαστικά, προκειμένου να διασφαλιστεί μια αποτελεσματικότερη διαχείριση. Οι ταχύτητες αποικοδόμησης των πλαστικών διαφέρουν και ακόμα και τα διασπώμενα μέρη μπορούν να παραμείνουν διαθέσιμα στο έδαφος για πολλά χρόνια. Τμήματα διασπώμενου πλαστικού έχουν βρεθεί σε εδάφη χώρων υγειονομικής ταφής ακόμα και 20 χρόνια μετά, καθιστώντας ανέφικτη την χρήση της γης για δραστηριότητες όπως η γεωργία. Επίσης, οι ΧΥΤΑ απαιτούν τεράστιες εκτάσεις γης, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε απώλεια πολύτιμης γης. Ταυτόχρονα βέβαια τα τελευταία χρόνια, όταν οι ΧΥΤΑ πληρωθούν πλήρως, μετά από εξυγίανση χρησιμοποιούνται ως χώροι αναψυχής ή ακόμα και ως χώροι για την εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ. για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών) [55, 56].

Συμπερασματικά πρόκειται για μια ευρέως εφαρμοζόμενη μέθοδο απόθεσης απορριμμάτων με συγκεκριμένες πρακτικές σχεδιασμού και μηχανικής. Παρόλο που παρέχει οφέλη στη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, δημιουργεί ταυτόχρονα άλλα περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως ρύπανση του υπεδάφους και της ατμόσφαιρας με αέρια του θερμοκηπίου. Αν και η υγειονομική ταφή είναι μια πολύ καλή μέθοδος τελικής απόθεσης βιοδιασπώμενων στερεών αποβλήτων, δεν μπορούν να διασπαστούν υλικά υψηλού ενδιαφέροντος, όπως γυαλί, μέταλλα και πλαστικά, για τα οποία δεν αποτελεί την καλύτερη μέθοδο επεξεργασίας.





Εικόνα 4.3 : Τομή ενός χώρου υγειονομικής ταφής [18].

Επεξηγήσεις:

1. Κεντρικός συλλέκτης αερίων (Main gas collector)
2. Σωλήνες συλλογής στραγγιδίων ( Leachate collection Pipes )
3. Πίεση νερού (Water pressure )
4. Τελικό κάλυμμα ΧΥΤΑ με χώμα (Final Cover )
5. Προστατευτική επένδυση έκτακτης ανάγκης (Sub contingency liner)

#### 4.5 Αποτέφρωση

Η αποτέφρωση πλαστικών, γνωστή και ως απόβλητα για ενέργεια ή για ανάκτηση ενέργειας (Waste to Energy – WtE), περιλαμβάνει την καύση πλαστικών απορριμμάτων σε υψηλές θερμοκρασίες για την παραγωγή θερμότητας. Το βασικό προτέρημα σε σύγκριση με την τελική απόθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής είναι η ανάκτηση ενέργειας από την καύση των πλαστικών και οποιωνδήποτε άλλων απορριμμάτων η οποία σε άλλη περίπτωση θα έμενε ανεκμετάλλευτη. Θεωρητικά, η αποτέφρωση θα μπορούσε να θεωρηθεί ως συμπληρωματική της ανακύκλωσης για όσα υλικά δεν ανακυκλώνονται για τεχνικούς λόγους. Αυτή η διαδικασία θεωρείται ως μια πιθανή μέθοδος για τη διαχείριση πλαστικών

απορριμμάτων κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή θερμότητας για διάφορες εφαρμογές. Η αποτέφρωση είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη σε χώρες όπως η Ιαπωνία, η Σιγκαπούρη και η Ολλανδία. Η Δανία και η Σουηδία επίσης ήταν πρωτοπόρες στην καύση απορριμμάτων για παραγωγή ενέργειας για περισσότερο από ένα αιώνα, υποστηρίζοντας τις εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας για την παραγωγή τηλεθέρμανσης. Μάλιστα, το 2005 η αποτέφρωση κάλυπτε το 4,8% της ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Δανία και το 13,7 % της ετήσιας οικιακής θέρμανσης [17, 19, 50].

Πιο αναλυτικά για την διαδικασία αποτέφρωσης και ανάκτησης ενέργειας, τα πλαστικά απορρίμματα καίγονται σε ελεγχόμενες εγκαταστάσεις αποτέφρωσης σε υψηλές θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 800 μέχρι 1.200 βαθμούς Κελσίου με παρουσία οξυγόνου. Η θερμότητα που παράγεται, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού, ο οποίος οδηγείται σε ατμοστροβίλους που συνδέονται με γεννήτριες για την παραγωγή θερμότητας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η θερμότητα που παράγεται, μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας για τηλεθέρμανση, για παροχή θερμού ατμού σε βιομηχανίες ή ακόμα και για θέρμανση κτηρίων. Η αποδοτικότητα της καύσης εξαρτάται από το σχεδιασμό της εγκατάστασης, τον τύπο των πλαστικών που καίγονται και τον έλεγχο των εκπομπών. Επίσης, οι αποτεφρωτήρες μειώνουν τη στερεή μάζα των αρχικών απορριμμάτων κατά 80-90%, ενώ ο όγκος τους έχει ήδη συμπιεστεί στα απορριμματοφόρα κατά 95-96 %, ανάλογα με την ποιότητα και τα υλικά των απορριμμάτων [50].

Η αποτέφρωση γενικά, μπορεί να αποδώσει μεγάλο ποσό θερμικής ενέργειας, τιμές δηλαδή που είναι απόλυτα συγκρίσιμες με τις αντίστοιχες τιμές των ορυκτών καυσίμων. Στον παρακάτω πίνακα αναγράφεται η παραγόμενη θερμική ενέργεια από την αποτέφρωση διαφόρων ειδών πλαστικών και ορυκτών καυσίμων. Όπως φαίνεται, η θερμική ενέργεια που παράγουν τα υλικά πλαστικής προέλευσης είναι παρόμοια με αυτή των ορυκτών καυσίμων [50].

Πίνακας 4.3: Παραγόμενη θερμική ενέργεια από την αποτέφρωση διαφόρων ειδών πλαστικών και ορυκτών καυσίμων [50].

α/α	Υλικό καύσης	Παραγόμενη θερμική ενέργεια (MJ/kg)
1	PE (Πολυαιθυλένιο)	42-45
2	PP (Πολυπροπυλένιο)	42-45
3	PS (Πολυστυρένιο)	40-43
4	PVC (Πολυβινυλοχλωρίδιο)	35-40
5	Πετρέλαιο	42-46
6	Κηροζίνη	42-47
7	Βενζίνη	42-45

Ωστόσο μπορεί η μέθοδος της αποτέφρωσης να θεωρείται μια αποδοτική μέθοδος αξιοποίησης απορριμμάτων για την παραγωγή ενέργειας, αλλά δεν θεωρείται γενικά η καλύτερη περιβαλλοντική λύση για τη διαχείριση των απορριμμάτων. Κατά την αποτέφρωση απορριμμάτων μπορούν να απελευθερωθούν επικίνδυνοι για την υγεία και το περιβάλλον ατμοσφαιρικοί ρύποι, όπως σωματίδια, πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile Organic Compounds – VOCs), διοξίνες, βαρέα μέταλλα και άλλα. Αυτές οι εκπομπές μπορεί να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα και στην ανθρώπινη υγεία. Επίσης, εκτός των προαναφερθέντων, σε αυτές τις εκπομπές περιέχονται αέρια του θερμοκηπίου. Τέλος, κατά την καύση παράγεται σαν στερεό υπόλειμμα τέφρα, η οποία μπορεί να περιέχει τοξικές ουσίες, βαρέα μέταλλα και άλλα σωματίδια [58].

Συμπερασματικά, η αποτέφρωση είναι μια μέθοδος ανάκτησης ενέργειας από τα απορρίμματα. Ταυτόχρονα μειώνει τον όγκο και τη μάζα των σκουπιδιών κατά πολύ και βοηθάει στη μείωση των πλαστικών αποβλήτων. Ωστόσο συνοδεύεται από επιπτώσεις περιβαλλοντικές, όπως ατμοσφαιρική ρύπανση, εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και υπολείμματα τέφρας. Για να γίνει πιο βιώσιμη η εφαρμογή της αποτέφρωσης, είναι απαραίτητο να ενσωματωθούν συστήματα ελέγχου των εκπομπών των παραγόμενων αερίων (αντιρρυπαντικές τεχνολογίες) για την ελαχιστοποίηση των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων [17, 19].

Μια εναλλακτική καινοτόμος μέθοδος διαχείρισης των πλαστικών απορριμμάτων είναι η αεριοποίηση, κατά την οποία δημιουργείται από την καύση της οργανικής ύλης ένα είδος αερίου καυσίμου, το οποίο ονομάζεται αέριο σύνθεσης. Το αέριο σύνθεσης είναι ένα αέριο μίγμα υδρογόνου και μονοξειδίου του άνθρακα. Το ενδιαφέρον είναι, ότι αυτή η διαδικασία μειώνει ταυτόχρονα τόσο τη ρύπανση από τα πλαστικά υλικά όσο και από τις αέριες εκπομπές λόγω της χημικής μετατροπής και διάσπασης αυτών σε μικρά μόρια, κάτι που δεν συμβαίνει με τις συμβατικές μεθόδους όπως η αποτέφρωση ή η απόρριψη των πλαστικών αποβλήτων. Η αεριοποίηση αποτελεί μια καινοτόμο επιλογή για τη βιώσιμη διαχείριση των πλαστικών αποβλήτων και την προστασία του περιβάλλοντος [58].

#### **4.6 Βιοαποικοδόμηση – Βιοπλαστικά - Κομποστοποίηση**

Τα πλαστικά βιολογικής προέλευσης (bioplastics / bio-based), γνωστά και ως βιοπλαστικά, είναι ένας τύπος πλαστικού που προέρχεται κυρίως από ανανεώσιμες πηγές βιομάζας, όπως φυτά από γεωργικές καλλιέργειες ή ακόμα και από ορισμένους τύπους βακτηρίων. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά πλαστικά που προέρχονται από ορυκτά καύσιμα, τα πλαστικά βιολογικής προέλευσης ή αλλιώς βιοπολυμερή προσφέρουν μία πιο βιώσιμη λύση, επειδή βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τα βιοπλαστικά είναι ακριβότερα από τα συμβατικά πλαστικά, ενώ τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί οι πωλήσεις τους. Τα βιοπλαστικά αυτή την στιγμή αντιστοιχούν σε λιγότερο από το 1% της συνολικής παραγωγής πλαστικού στο κόσμο. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των βιοπλαστικών σε σχέση με τα συμβατικά πλαστικά είναι ότι κάποια είναι βιοδιασπώμενα / βιοαποικοδομήσιμα (biodegradable), ικανά δηλαδή για κομποστοποίηση. Αυτό σημαίνει, ότι υπό κατάλληλες συνθήκες υγρασίας, φωτισμού και αερισμού μπορούν να αποδομηθούν σε απλούστερες ενώσεις που δεν είναι επιβλαβείς για το περιβάλλον. Επιπρόσθετα το προϊόν της κομποστοποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εδαφοβελτιωτικό. Αυτό συνήθως πραγματοποιείται σε ειδικές εγκαταστάσεις κομποστοποίησης για να ελέγχονται διαρκώς οι αερόβιες συνθήκες που επικρατούν. Οι συνθήκες που απαιτούνται για την κομποστοποίηση των βιοπλαστικών, είναι υγρασία (40-50%), θερμοκρασία (50-60 °C), οξυγόνο (5-10 %) και εύρος pH (6,5-8). Όταν ένα βιοδιασπώμενο πλαστικό απορριφθεί και δεν αποικοδομηθεί

αερόβια, μπορεί να βιοδιασπαστεί σε αναερόβιες συνθήκες όπως μια άλλη οργανική ένωση ή ένα συμβατικό πλαστικό. Για παράδειγμα εάν ένα βιοδιασπώμενο πλαστικό απορριφθεί σε μία χωματερή, όπου επικρατούν ανοξικές συνθήκες, μετά από αναερόβια ζύμωση μπορεί να ελευθερώσει, μεταξύ άλλων, μεθάνιο, το οποίο είναι αέριο του θερμοκηπίου, όπως οποιαδήποτε άλλη οργανική ένωση ή και ένα πλαστικό υλικό, όπως π.χ. το PET [31, 50, 51].

Η διαφορά των βιοπλαστικών με τα βιοπολυμερή είναι ότι τα βιοπολυμερή μπορεί να είναι κατασκευασμένα από βιομάζα ή από πετρέλαιο σαν πρώτη ύλη, και έπειτα να έχουν προστεθεί σε αυτά πιο φιλικές προς το περιβάλλον χημικές ενώσεις. Αυτό σημαίνει ότι ένα πλαστικό έχει παραχθεί από βιοπολυμερή, δεν είναι σίγουρο ότι μπορεί να κομποστοποιηθεί ή να βιοαποικοδομηθεί. Τα πλαστικά που μπορούν να διασπαστούν σε απλούστερες ενώσεις ονομάζονται βιοδιασπώμενα και ανήκουν στην ίδια κατηγορία των Βιοπλαστικών / Βιοπολυμερών [20].

Τα τρία πιο ευρέως διαδομένα πλαστικά βιολογικής προέλευσης είναι τα ακόλουθα:

1. Πολυγαλακτικό οξύ (PLA): Το PLA είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα πλαστικά βιολογικής προέλευσης. Παρασκευάζεται από ζυμωμένα φυτικά σάκχαρα, που συνήθως προέρχονται από καλαμπόκι ή ζαχαροκάλαμο. Τα φυσικά σάκχαρα μετατρέπονται σε γαλακτικό οξύ, το οποίο στην συνέχεια πολυμερίζεται για να παράγει το βιοπλαστικό PLA. Το PLA χρησιμοποιείται σε μαχαιροπίρουνα μιας χρήσης, σε καπάκια κυπέλων καφέ και σε πολλές άλλες συσκευασίες τροφίμων [51].
2. Πολύ-υδροξυ-αλκανοειδές (PHA) : Το PHA είναι μια ομάδα πλαστικών βιολογικής προέλευσης που παράγεται από ορισμένα βακτήρια κατά την διάρκεια της ζύμωσης των φυκιών. Τα βακτήρια καταναλώνουν ορισμένα οργανικά υλικά, όπως εκχυλίσματα φυκιών, και παράγουν PHA, το οποίο αποθηκεύουν στα κύτταρα τους σαν αποθεματικό υλικό. Το PHA είναι σαφώς ακριβότερο από το PLA διότι η ανάπτυξη φυκιών για καλλιέργεια είναι εξαιρετικά χρονοβόρα και θα χρειαστούν αρκετά χρόνια εξέλιξης ακόμα ώστε να γίνει οικονομικά συμφέρουσα. Το βιοπλαστικό αυτό βρίσκει εφαρμογές κυρίως σε πλαστικές συσκευασίες μια χρήσης, σε πλαστικά κύπελα και σε ιατρικό εξοπλισμό. Επίσης αντιστοιχεί στο 5% της παγκόσμιας παραγωγής βιοαποικοδομήσιμων πλαστικών [58].

3. Πλαστικά με βάση το άμυλο: Τα βιοπλαστικά με βάση το άμυλο κατασκευάζονται από γεωργικές καλλιέργειες με βάση το καλαμπόκι, το σιτάρι και τις πατάτες. Το άμυλο εξάγεται από αυτές τις καλλιέργειες και αναμιγνύεται με άλλα βιοαποδομήσιμα πολυμερή για τη δημιουργία βιοπλαστικών [58].

Οι εφαρμογές που τα βιοπλαστικά λαμβάνουν μέρος δεν διαφέρουν ιδιαίτερα από τις εφαρμογές των συμβατικών πλαστικών. Τα κύρια προϊόντα που παράγουν τα βιοπλαστικά είναι μεμβράνες, οι οποίες προορίζονται είτε για συσκευασίες ποτών και τροφίμων είτε για γεωργική χρήση. Παραδείγματα γεωργικής χρήσης είναι μεμβράνες επίστρωσης κατασκευασμένες από βιοαποδομήσιμα πλαστικά για την ενίσχυση της ανάπτυξης των καλλιεργειών και τη μείωση των απορριμμάτων [58].

Μια ακόμα εφαρμογή των βιοπλαστικών σε καλλιέργειες είναι η ανάπτυξη φυτών προς μεταφύτευση μέσα σε δοχεία-μεμβράνες κατασκευασμένα από βιοδιασπώμενο πλαστικό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το εκάστοτε φυτό να μεταφυτεύεται απευθείας στην γη μαζί με το βιοδιασπώμενο πλαστικό και με την πάροδο σύντομου χρόνου να βιοδιασπάται ταυτόχρονα, απελευθερώνοντας θρεπτικά συστατικά για το εκάστοτε φυτό [58].

Τα βιοπλαστικά χρησιμοποιούνται πλέον και σε ιατρικά προϊόντα, όπως για παράδειγμα σε βιοδιασπώμενα ιατρικά ράμματα και άλλα ιατρικά εμφυτεύματα που μπορούν να διασπαστούν στο ανθρώπινο σώμα χωρίς κίνδυνο. Τέλος τα βιοπλαστικά, όπως αναφέρθηκε ήδη, συναντώνται και σε προϊόντα μίας χρήσης, όπως μαχαιροπίρουνα, καλαμάκια και ποτήρια [20, 21].

#### **4.6.1 Είναι τελικά τα βιοπλαστικά πιο φιλικά για το περιβάλλον ;**

Το ερώτημα, αν τα βιοπλαστικά είναι πιο φιλικά για το περιβάλλον, είναι ένας προβληματισμός που έχει τεθεί τα τελευταία χρόνια και ερευνάται. Το βιοδιασπώμενο και κομποστοποιήσιμο πλαστικό γίνεται όλο και πιο συχνή επιλογή στα ράφια των καταστημάτων, ενώ η ζήτηση για πιο «πράσινα» προϊόντα αυξάνεται διαρκώς. Η έλλειψη επαρκούς εκπαίδευσης για τις νέες τεχνολογίες που αφορούν τα βιοπλαστικά, έχει οδηγήσει σε μια στρεβλή αντίληψη, σύμφωνα με την οποία τα βιοπλαστικά μπορούν να απορρίπτονται στο περιβάλλον χωρίς ανησυχία και διαχείριση. Τα βιοπλαστικά έχουν δημιουργηθεί στα πλαίσια μιας κυκλικής οικονομίας πλαστικών. Όπως αναφέρθηκε, δεν είναι το σύνολο των βιοπλαστικών βιοδιασπώμενα. Για αυτό τον λόγο δεν μπορούν να απορρίπτονται ελεύθερα στην φύση, εκτός κάποιων λίγων κατηγοριών που έχουν σχεδιαστεί για αυτή την χρήση. Όπως προαναφέρθηκε, η βιοαποδόμηση των βιοδιασπώμενων βιοπλαστικών μπορεί να συμβεί μόνο υπό συγκεκριμένες συνθήκες σε εγκαταστάσεις βιομηχανικής κομποστοποίησης, η οποία μπορεί να μην είναι αποτελεσματική σε όλα τα περιβάλλοντα. Όταν ένα βιοδιασπώμενο πλαστικό απορριφθεί στο περιβάλλον, μπορεί λόγω έλλειψης των κατάλληλων συνθηκών να συμπεριφερθεί σαν ένα συμβατικό πλαστικό. Όσον αφορά τη σχέση βιοδιασπώμενων πλαστικών και μικροπλαστικών είναι ακόμα υπό διερεύνηση. Ενώ η πρόθεση των βιοαποικοδομήσιμων πλαστικών είναι να αποικοδομούνται ταχύτερα από τα συμβατικά πλαστικά, η πλήρης διάσπαση τους δεν είναι πάντα εγγυημένη και μπορούν να κατακερματιστούν σε μικρότερα κομμάτια ευκολότερα λόγω της σύστασής τους, συμβάλλοντας στην μικροπλαστική ρύπανση, κάτι που θα αναλυθεί και περαιτέρω στο επόμενο κεφάλαιο 5 [20, 58].

Ένας ακόμα παράγοντας μελέτης είναι η επάρκεια βιομάζας για την παγωγή των βιοπλαστικών. Κάθε υλικό που παράγεται πάνω στην γη χρειάζεται και μια πρώτη ύλη, που συνήθως είτε προέρχεται από το περιβάλλον απευθείας είτε παράγεται χρησιμοποιώντας πρώτες ύλες που προέρχονται πάλι από το περιβάλλον. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η καλλιέργεια βιομάζας για την παρασκευή βιοπλαστικών μπορεί να οδηγήσει σε ανταγωνισμό με τους καλλιέργειες τροφίμων. Λαμβάνοντας υπόψη την εκθετική αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού της γης μπορεί η χρήση βιομάζας για την παραγωγή βιοπλαστικών να έχει ακόμα μεγαλύτερες επιπτώσεις στην έλλειψη πρώτων υλών ανθρώπινης

κατανάλωσης. Αυτό μπορεί να οδηγήσει επίσης σε αλλαγή της χρήσης γης με δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις [20].

Συμπερασματικά, δεν υπάρχει κάποιο προϊόν που παράγεται από τον άνθρωπο που να είναι φιλικό προς το περιβάλλον, εάν δεν δεχθεί τη σωστή διαχείριση. Ενώ τα πλαστικά βιολογικής προέλευσης προσφέρουν μια εναλλακτική στην χρήση συμβατικών πλαστικών, δεν συνεπάγεται αυτόματα ότι αν απορριφθούν στο περιβάλλον δεν έχουν αντίκτυπο σε αυτό. Η Συμμαχία βιοπλαστικών πρώτων υλών (Bioplastic feedstock alliance - BFA) υποστηρίζει ότι τίποτα στον κόσμο δεν πρέπει να παράγεται με γνώμονα ότι θα καταλήξει στο περιβάλλον, αλλά ότι θα προωθεί μία πιο εύκολη και κυκλική οικονομία [26].



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΑ

#### **5.1 Ορισμός – Χαρακτηριστικά μικροπλαστικών**

Τα πλαστικά αποτελούν μια από τους κύριες πηγές προέλευσης των μικροπλαστικών.

Ως μικροπλαστικά ορίζονται τα μικρά σωματίδια ή θραύσματα πλαστικού που έχουν συνήθως μέγεθος μικρότερο από 5 χιλιοστά (0,2 ίντσες), σε όποια διάσταση και εάν μετρηθούν. Μικρότερα από 5 χιλιοστά μπορεί να σημαίνει ότι μπορεί να μην διακρίνονται με γυμνό μάτι. Οι διαστάσεις τους μπορεί να φτάσουν και μερικά νανόμετρα, όπου ένα υγιές ανθρώπινο γυμνό μάτι μπορεί να δει μικροπλαστικά που μπορεί να έχουν διαστάσεις μέχρι και 40 μικρομέτρων (40.000 νανόμετρα). Υπενθυμίζεται ότι ένας απλός κόκκος θαλασσινού αλατιού μπορεί να έχει διάμετρο 100 μικρομέτρων, ενώ αερομεταφερόμενα αιωρούμενα σωματίδια που είναι μικρότερα από 10 μικρόμετρα μπορούν εύκολα να εισέλθουν στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου. Εδώ αντιλαμβάνεται κανείς πόσο μεγάλο ποσοστό μικροπλαστικών βρίσκονται ελεύθερα στο περιβάλλον, αλλά δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι [25, 27, 58].

Παρόλο που μέχρι στιγμής το μικρότερο μικροπλαστικό που έχει ανιχνευθεί στο περιβάλλον, έχει διάμετρο 1,9 μικρόμετρα, όταν κατά την παρασκευή πλαστικών χρησιμοποιείται πούδρα, τότε το μέγεθος ενός κόκκου έχει διάμετρο περίπου 700 νανόμετρα, δηλαδή είναι μικρότερο από 1 μικρόμετρο. Στο μικρόκοσμο των πλαστικών υπάρχει και ο όρος νανοπλαστικά, στον οποίο κατατάσσονται τα μικροπλαστικά με διάμετρο από 1 έως 100 νανόμετρα, σε όποια διάσταση και αν μετρηθούν [58].

Αρχικά οι επιστήμονες που ασχοληθήκαν με το θέμα, πιστεύαν ότι τα μικροπλαστικά είναι κομματάκια πλαστικού μικρότερα των 5 χιλιοστών, έως εκεί που τα αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι. Όσο όμως η τεχνολογία εξελισσόταν, ανακαλύφθηκε ότι υπάρχουν μικροπλαστικά που δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι και ταυτόχρονα ότι αυτά αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των μικροπλαστικών στο περιβάλλον. Τα μικροπλαστικά κατηγοριοποιούνται αναλόγως των διαφορετικών ιδιοτήτων τους, δηλαδή ανάλογα με το χρώμα, το σχήμα, την ευκαμψία και τη σκληρότητα. Τα μικροπλαστικά πλέον είναι παντού ανιχνεύσιμα, από τις κορυφές των βουνών μέχρι και τα πιο βαθιά σημεία των ωκεανών.

Επίσης έχει διαπιστωθεί ότι τα έμβια όντα (ζώα και άνθρωπος) καταναλώνουν πλαστικά μέσω της τροφής, του νερού και της εισπνοής, ενώ ακόμα οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία δεν είναι γνωστές [27].

Στον ακόλουθο πίνακα 5.1 αναφέρεται η ταξινόμηση των πλαστικών θραυσμάτων στο περιβάλλον με βάση το μέγεθος τους σύμφωνα με την ομάδα εμπειρογνομόνων για τη θαλάσσια περιβαλλοντική ρύπανση GESAMP (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Pollution, 2015) [34, 61].

Πίνακας 5.1 : Ταξινόμηση πλαστικών θραυσμάτων στο περιβάλλον με βάση το μέγεθος τους σύμφωνα με την ομάδα εμπειρογνομόνων για τη θαλάσσια περιβαλλοντική ρύπανση GESAMP (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Pollution, 2015) [34, 61].

Είδος	Απεικόνιση	Τεχνική μέτρησης	Εύρη μεγεθών κατά (MSFD CES) [62]
<b>Μακροπλαστικά</b>	Γυμνό μάτι	Οπτική καταμέτρηση	> 2,5 cm
<b>Μεσοπλαστικά</b>	Γυμνό μάτι ή οπτικό μικροσκόπιο	Δίχτυα Neuston * ή κοσκίνισμα	0,5 – 2,5 cm
<b>Μικροπλαστικά</b>	Γυμνό μάτι (όσον αφορά στα μεγάλα) ή οπτικό μικροσκόπιο	Μικροφίλτρα, διαχωρισμός < 1 μm	0,5 cm (5.000 μm) - 1μm
<b>Νανοπλαστικά</b>	Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο	Νανοφίλτρα	< 1 μm

*Δίχτυα Neuston\** : Τα δίχτυα Neuston είναι ειδικά πλέγματα που βοηθούν τους ερευνητές μέσω αυτών να συλλέξουν μικρούς οργανισμούς και θραύσματα που επιπλέουν στην επιφάνεια του νερού. Είναι μια μικρογραφία της κοινής σε όλους αλιευτικής τράτας και συνήθως χρησιμοποιούνται για τη συλλογή μικροπλαστικών από τους ερευνητές [58].

### 5.1.1 Κατηγορίες μικροπλαστικών

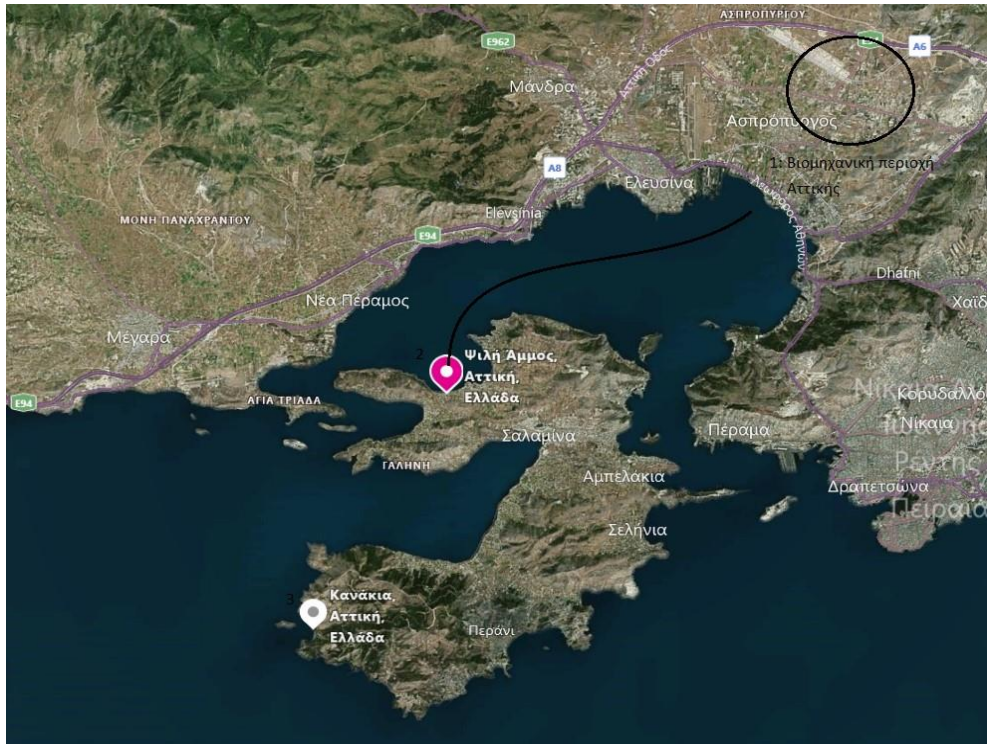
Λαμβάνοντας υπόψη τα τελευταία ερευνητικά δεδομένα τα μικροπλαστικά χωρίζονται σε 3 κατηγορίες με βάση την προέλευση τους [27, 28, 58]:

1. Τα πρωτογενή βιομηχανικά μικροπλαστικά
2. Τα πρωτογενή καταναλωτικά μικροπλαστικά και
3. Τα δευτερογενή μικροπλαστικά

1. Τα πρωτογενή βιομηχανικά μικροπλαστικά είναι εκείνα τα οποία κατασκευάζονται από εργοστάσια πετρελαίου, και αποτελούν την πρώτη ύλη για την παρασκευή άλλων πλαστικών. Συνήθως είναι σε μορφή πούδρας και πλαστικών κυλίνδρων (pellets). Οι πλαστικοί κύλινδροι μπορούν να είναι και σε μορφή σφαιριδιών ή δίσκων και έχουν μέγεθος 1 - 5 χιλιοστά. Τα χρώματα τους ποικίλουν ανάλογα με το τελικό προϊόν. Συνήθως είναι λευκά ή διάφανα, όπου μετά από αρκετή έκθεση στον ήλιο το χρώμα τους σταδιακά σκουραίνει και αποκτά ένα κιτρινωπό χρώμα. Η πούδρα συνήθως αποτελείται από κόκκους διαμέτρου 0,7 - 1 μικρομέτρων, οι οποίοι όταν συσσωματώνονται, μεγεθύνονται και αποκτούν μέγεθος κόκκων 2 - 5 μικρόμετρα. Η διαφυγή των πλαστικών κυλίνδρων στο περιβάλλον δεν πραγματοποιείται ούτε κατά την χρήση των πλαστικών υλικών ούτε λόγω εσφαλμένης απόρριψης των παραγόμενων πλαστικών. Οι πλαστικοί κύλινδροι συνήθως απελευθερώνονται στο περιβάλλον μέσω τυχαίων συμβάντων ή κατά το στάδιο της παραγωγής ή και της μεταφοράς τους. Κατά το στάδιο της παραγωγής των πλαστικών κυλίνδρων καταλήγουν στα ποτάμια και στις θάλασσες μέσω των αποχετεύσεων των αποβλήτων των εργοστασίων παραγωγής. Επίσης ένας σημαντικός παράγοντας απόρριψης τους στο περιβάλλον είναι κατά το στάδιο της μεταφοράς τους μέσω φορτηγών ή καραβιών. Οι πλαστικοί κύλινδροι μπορούν να απελευθερωθούν κατευθείαν στο περιβάλλον, είτε όταν στα λιμάνια καταστραφούν οι σακούλες μεταφοράς τους κατά την διαδικασία μεταφοράς τους από καράβια σε φορτηγά, είτε στην περίπτωση που τα κιβώτια μεταφοράς τους πέσουν

κατευθείαν στη θάλασσα. Τα περισσότερα πλαστικά πολυμερή έχουν πυκνότητα μικρότερη από το θαλασσινό νερό με αποτέλεσμα να επιπλέουν και να μεταφέρονται πολύ εύκολα στην ανοιχτή θάλασσα διασπείροντας με αυτό τον τρόπο την πλαστική ρύπανση. Επίσης υπάρχουν παραδείγματα βιομηχανιών που είτε απορρίπτουν πλαστικούς κυλίνδρους σε ποτάμια και θάλασσες, είτε λόγω ατυχημάτων δημιουργούν τεράστια διαρροή πλαστικού. Ένα από τα μεγαλύτερα ατυχήματα διαρροής πλαστικού που έχει συμβεί στο πλανήτη, ήταν αυτό της διαρροής περίπου 29.000 πλαστικών σε σχήμα πάπιας στον Ειρηνικό Ωκεανό το έτος 1992. Τα περισσότερα από αυτά τα πλαστικά τεμάχια (παπάκια) βρέθηκαν στις ακτές του Ειρηνικού Ωκεανού κατά τα επόμενα χρόνια, ενώ κάποια από αυτά εντοπίστηκαν τα έτη 2003 και 2007 σε ακτές της Μεγάλης Βρετανίας και της Γαλλίας, δείχνοντας σε πόσο μεγάλες αποστάσεις μπορεί να εξαπλωθεί η πλαστική ρύπανση. Τελικά έχει διαπιστωθεί, ότι το μεγαλύτερο μέρος της ρύπανσης από πρωτογενή βιομηχανικά μικροπλαστικά προέρχεται από καθημερινή λειτουργία των βιομηχανιών ή από ατυχήματα. Παρόλα αυτά μόνο ένα μικρό ποσοστό μικροπλαστικών προέρχεται απευθείας από τη βιομηχανία πλαστικών. Το μεγαλύτερο μέρος το 77% των μικροπλαστικών που ελευθερώνονται στο περιβάλλον προέρχεται από την καθημερινή χρήση πλαστικών υλικών και τα νοικοκυριά, ενώ το υπόλοιπο 23% οφείλεται στις βιομηχανίες, το εμπόριο και την αλιεία [28, 58].

Σημαντικό αναφοράς είναι ότι το 60% των μικροπλαστικών που βρέθηκε στην παραλία της Ψιλής Άμμου στην Σαλαμίνα ήταν πρωτογενή βιομηχανικά μικροπλαστικά (κύλινδροι)προερχόμενα από βιομηχανίες στην απέναντι μεριά, ενώ μόλις το 30% των μικροπλαστικών που βρέθηκαν στα Κανάκια της Σαλαμίνας, που είναι η παραλία στην άλλη πλευρά του νησιού, ήταν πρωτογενή βιομηχανικά μικροπλαστικά. Στην εικόνα 5.1 φαίνεται γεωγραφική θέση των δύο προαναφερόμενων παραλιών, όπως και η βιομηχανική περιοχή της Αττικής, έτσι ώστε να γίνει κατανοητό το πόσο πιο εύκολη είναι η πρόσβαση των πρωτογενών βιομηχανικών μικροπλαστικών στην παραλία που είναι σχεδόν απέναντι από την βιομηχανική περιοχή της Αττικής [58].



Εικόνα 5.1 : Γεωγραφική απεικόνιση των δύο παραλιών στο νησί Σαλαμίνα και της βιομηχανικής περιοχής της Αττικής (φωτογραφία από το google earth).

2. Τα πρωτογενή καταναλωτικά μικροπλαστικά είναι αυτά που παράγονται έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν από τους καταναλωτές ως έχουν, μέσα ή μαζί με άλλα προϊόντα. Συνήθως αυτά προστίθενται σε προϊόντα, όπως για παράδειγμα ως σταθεροποιητές, ως αστραφτερά σωματίδια (γκλίτερ) σε καλλυντικά, ή ως κοκκώδη υλικά σε γήπεδα αθλητισμού για καλύτερη πρόσφυση με τεχνητό χλοοτάπητα. Τα μικροπλαστικά που περιέχονται σκόπιμα στα είδη προσωπικής φροντίδας, ονομάζονται και μικροσφαιρίδια (microbeads). Αυτά τα μικροσφαιρίδια μοιάζουν με τους πλαστικούς κύλινδρους αλλά είναι μικρότερα από 1 χιλιοστό. Τα μικροσφαιρίδια χρησιμοποιούνται ευρέως σε προϊόντα απολέπισης, λεύκανσης δοντιών και δέρματος, σε προϊόντα κατά της γήρανσης και σε καλλυντικά ομορφιάς. Όλα αυτά όπως είναι προφανές, μετά την χρήση τους και πλένοντας το πρόσωπο και το σώμα καταλήγουν στις αποχετεύσεις αστικών λυμάτων, όπως είχαν εξ αρχής σχεδιαστεί. Η σχετική με τα πλαστικά μικροσφαιρίδια έρευνα ξεκίνησε από το έτος 2012 και έως το 2015 είχαν εντοπιστεί περισσότερα από 67 διαφορετικά είδη μικροπλαστικών εκτός των

μικροσφαιριδίων. Μέχρι και σήμερα οι έρευνες συνεχίζονται και υπολογίζεται πως υπάρχουν περισσότερα από 500 διαφορετικά μικροπλαστικά συστατικά μέσα σε καλλυντικά και είδη προσωπικής φροντίδας. Επίσης, τα γνωστά σε όλους αστραφτερά σωματίδια γκλίτερ αποτελούν άλλο ένα συστατικό που πωλείται και συνήθως κατασκευάζεται από πλαστικά πολυμερή υλικά, όπως πολυεστέρας ή ακρυλικό. Χρησιμοποιείται και αυτό ευρέως σε εφαρμογές όπως ρούχα, καλλυντικά, μέσα σε χαρτόνια, σε σπρέι για να προσφέρει γυαλάδα, μέχρι και σε δολώματα ψαρέματος. Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Χημικών διαπίστωσε σε μια πρόσφατη μελέτη, ότι εκτιμάται ότι περίπου 145.000 τόνοι μικροπλαστικών χρησιμοποιούνται σκόπιμα κάθε χρόνο [28, 29, 58].

Τέλος, τα πρωτογενή καταναλωτικά πλαστικά μπορούν να δημιουργηθούν και από φθορά πλαστικών υλικών κατά την χρήση τους, όπως δηλαδή από τριβή των ελαστικών στις ασφάλτους και από ίνες συνθετικών ρούχων που αποκολλούνται κατά την διάρκεια του πλυσίματος ή και της απλής χρήσης τους. Μια μελέτη έδειξε ότι ποσοστό υψηλότερο από το 63% των μικροπλαστικών που βρίσκονται στο θαλάσσιο οικοσύστημα, προέρχεται από το πλύσιμο συνθετικών ρούχων, όπως για παράδειγμα από φλις ζακέτες και ρούχα. Εκτός αυτού ένα μεγάλο ποσοστό προέρχεται από το ξεφλούδισμα χρωμάτων και επικαλύψεων από κατασκευές στις πόλεις και στην ύπαιθρο. Αυτό το είδος των μικροπλαστικών ονομάζεται επίσης και <<σκόνη των πόλεων>> (Βλέπε εικόνα 5.3) και αποτελεί το συνολικό όγκο των αερομεταφερόμενων μικροπλαστικών που παράγει μία πόλη καθημερινώς. Γενικότερα ότι είναι κατασκευασμένο από πλαστικό πολυμερές παράγει και μικροπλαστικά λόγω της φυσικής φθοράς του, ενώ επίσης μικροπλαστικά δημιουργούνται και λόγω αυτούσιας χρήσης. Εκτιμήσεις δείχνουν ότι περισσότερα από 3,2 εκατομμύρια πρωτογενών καταναλωτικών μικροπλαστικών απελευθερώνονται από νοικοκυριά και από εμπορικές δραστηριότητες κάθε χρόνο, εκ των οποίων το 50% καταλήγει στους ωκεανούς. Αυτή η ποσότητα αντιστοιχεί σε 400 κιλά πρωτογενών μικροπλαστικών ανά άτομο κάθε χρόνο, ποσότητα που αντιστοιχεί περίπου σε 80 πλαστικές σακούλες και που απελευθερώνεται στο περιβάλλον [28, 29, 58].

3. Τα δευτερογενή μικροπλαστικά είναι αποτέλεσμα της θραύσης και του κατακερματισμού μεγαλύτερων πλαστικών αντικειμένων όταν έχει τελειώσει ο κύκλος ζωής τους και εάν δεν έχουν απορριφθεί με τον περιβαλλοντικά ορθό τρόπο. Συνήθως προέρχονται από πλαστικά μπουκάλια, σακούλες και άλλα πλαστικά προϊόντα, όπως για παράδειγμα στο θαλάσσιο περιβάλλον δίχτυα αλιείας, έχοντας τις περισσότερες φορές ακανόνιστο σχήμα με αδρές ακμές και διαφοροποιημένα σε ποικίλα χρώματα [23]. Ο κατακερματισμός-τεμαχισμός τους προκύπτει συνήθως λόγω της έκθεσης τους στο ηλιακό φως, στην δράση των κυμάτων και της μηχανικής τους τριβής. Επίσης, τα δευτερογενή μικροπλαστικά μπορεί να αποτελούνται και από μικροπλαστικά, τα οποία προέρχονται από το πρωτογενή τομέα, όπως τα μικροσφαιρίδια από καλλυντικά ή προϊόντα περιποίησης, πλαστικοί κύλινδροι, ίνες ρούχων και άλλα. Εκτός αυτού, δευτερογενή πλαστικά μπορεί να θεωρηθούν και κάποια από τα παραδείγματα που αναφέρθηκαν στο πρωτογενή καταναλωτικό τομέα, όπως κατακερματισμός πλαστικών χρωμάτων από σπίτια ή βάρκες και η φθορά από τα λάστιχα των αυτοκινήτων στους δρόμους. Στις πηγές δευτογενών μικροπλαστικών ανήκει και η γεωργία διότι τα εδαφοβελτιωτικά και τα λιπάσματα περιέχουν μέσα οργανικά πλαστικά λιπάσματα με σκοπό να αυξήσουν την παραγωγή της καλλιέργειας. Επίσης, μεγάλη ποσότητα μικροπλαστικών συσσωρεύεται στην λυματολάσπη των μονάδων επεξεργασίας νερού και υγρών αποβλήτων, τα οποία προέρχονται από απορροές αποχετεύσεων, όμβρια ύδατα και άλλα. Όλα αυτά τα μικροπλαστικά μπορούν να μεταφερθούν με κάθε λογής τρόπο, όπως για παράδειγμα απορροές ποταμών, βροχές που ξεπλένουν τις πόλεις από σκόνες και σκουπίδια που αυτά καταλήγουν σε αποχετεύσεις, επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, ποτάμια και θάλασσες. Επίσης μπορούν να μεταφερθούν κατά μήκος της ξηράς με τον άνεμο έχοντας πάλι ως τελικό αποδέκτη κάποιο από τα προαναφερόμενα [29, 58].

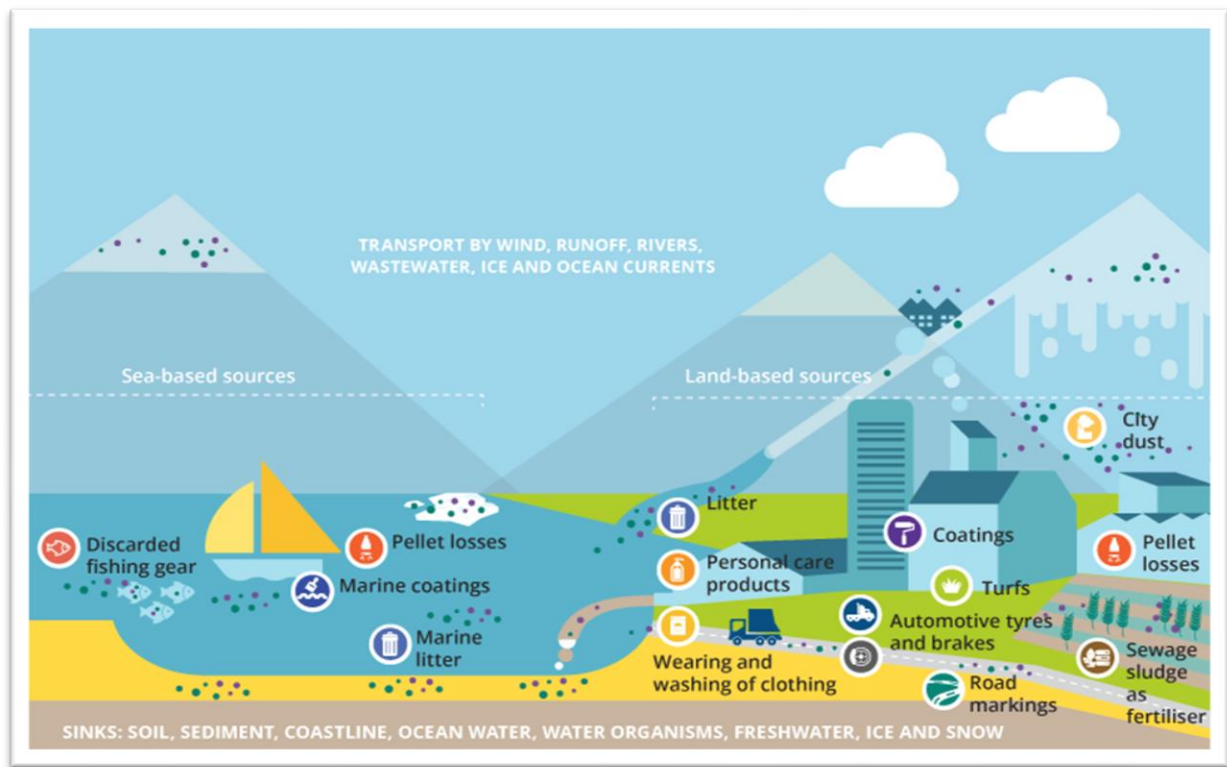
Έρευνες υπολογίζουν ότι παγκοσμίως το 80% του πλαστικού που καταλήγει στους ωκεανούς προέρχεται από ρυάκια και ποτάμια που ρέουν μέσα από πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, ειδικά σε περιοχές της Ασίας [27].

Στον ακόλουθο πίνακα 5.2 φαίνεται ο ρυθμός απόρριψης των κύριων τύπων πλαστικών και μικροπλαστικών στο περιβάλλον, ενώ η εικόνα 5.2 απεικονίζει τις κύριες πηγές παραγωγής μικροπλαστικών και μεταφοράς στο περιβάλλον.

Πίνακας 5.2: Τύποι πλαστικών και μικροπλαστικών σε σχέση με το ρυθμό απόρριψης τους ανά έτος [58].

<b>α/α</b>	<b>Τύποι πλαστικού</b>	<b>Ρυθμός απόρριψης (τόνοι / έτος)</b>
1	Δίχτυα αλιείας	500.000
2	Καουτσούκ σε γήπεδα	16.000
3	Προϊόντα περιποίησης	42.000
4	Συνθετικά ρούχα	500.000-2.500.000

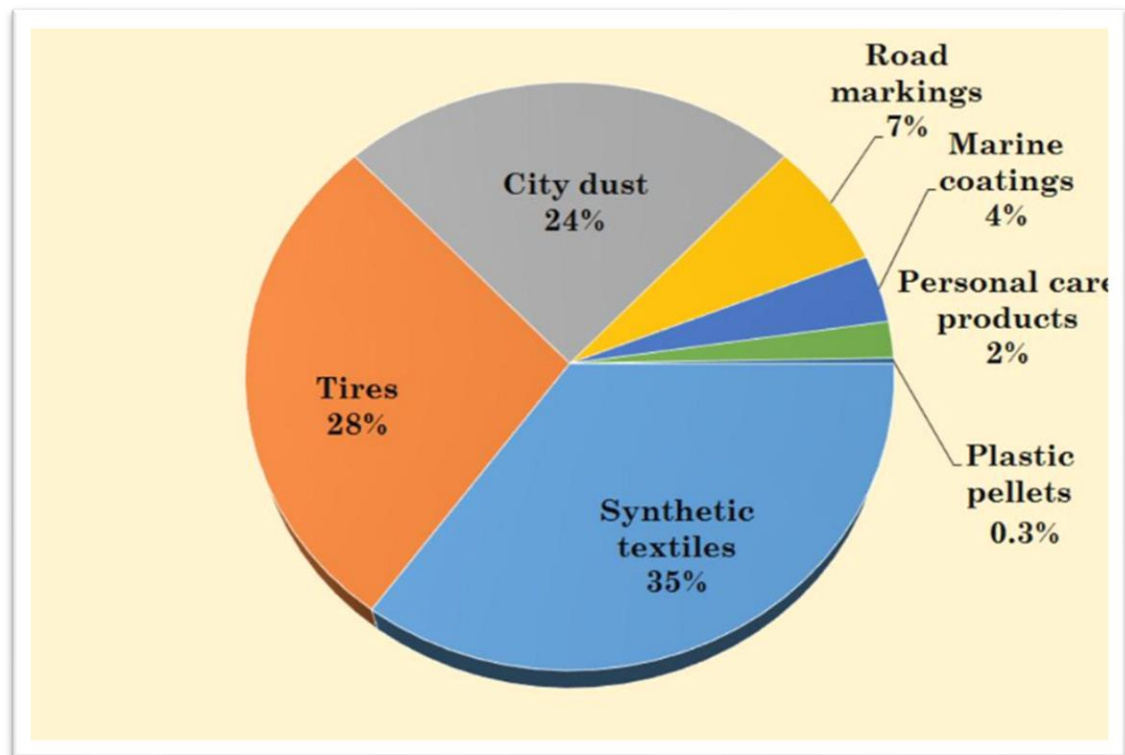




Εικόνα 5.2: Συνολική εικόνα των πιθανών πηγών δημιουργίας και μεταφοράς των μικροπλαστικών στο περιβάλλον μέσω του ανέμου, των απορροών, των ποταμών, των υγρών αποβλήτων, του χιονιού και των ωκεάνιων ρευμάτων [27].

Επεξηγήσεις: *Discarded fishing gear* (Απορριπτόμενα αλιευτικά εργαλεία), *Pellet losses* (Απώλειες πλαστικών κυλίνδρων), *Marine coating* (Θαλάσσιες πλοίων), *Marine litter* (θαλάσσια απορρίμματα), *Personal care products* (Είδη προσωπικής φροντίδας), *Wearing and washing of clothing* (Ένδυση και καθαρισμός ρούχων), *Coatings* (Επιστρώσεις χρωμάτων), *Turfs* (Καουτσούκ από χλοοτάπητες), *Automotive tires and brakes* (Ελαστικά και φρένα αυτοκινήτων), *Road marking* (Οδική σήμανση), *City dust* (Σκόνη πόλης), *Sewage sludge as fertilizer* (Λίπασμα από λυματολάσπη)

Στην ακόλουθη εικόνα 5.3 αναγράφονται τα ποσοστά προέλευσης και διασποράς μικροπλαστικών στο περιβάλλον. Φαίνεται ότι οι κύριες πηγές παραγωγής μικροπλαστικών είναι κατά 35 % τα συνθετικά υφάσματα, 28 % τα ελαστικά των οχημάτων, 24 % η σκόνη των πόλεων, 7% η οδική σηματοδότηση, 4 % οι θαλάσσιες επιστρώσεις, 2 % τα είδη προσωπικής υγιεινής και 0,3 % οι πλαστικοί κύλινδροι [29].



Εικόνα 5.3: Ποσοστά μικροπλαστικών προερχόμενων από τα συνηθέστερα πλαστικά προϊόντα που ανιχνεύονται στο περιβάλλον [29].

## **5.2 Ανασκόπηση πηγών παραγωγής μικροπλαστικών**

### **5.2.1 Αποικοδόμηση πλαστικών σε μικροπλαστικά**

Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες παραγράφους (5.1 και 5.1.1), τα μικροπλαστικά προέρχονται κυρίως από τη μετατροπή (με θραύση, τεμαχισμό κ.ά.) των μακροπλαστικών (δηλαδή από τα πλαστικά προϊόντα). Εκτός από την κατηγορία των πρωτογενών βιομηχανικών μικροπλαστικών που αναφέρθηκε, κατά την οποία τα μικροπλαστικά παράγονται αυτούσια ως κύρια προϊόντα και χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες εφαρμογές, στις υπόλοιπες κατηγορίες δημιουργούνται ως παραπροϊόντα μετά το πέρας του κύκλου ζωής ή κατά την διάρκεια της χρησιμότητας των μακροπλαστικών. Ένας από τους τρόπους παραγωγής τους είναι η αποικοδόμηση ή και η βιοαποικοδόμηση [31].

Η αποικοδόμηση, λοιπόν, είναι μια οποιαδήποτε χημική ή φυσική διαδικασία αλλαγής του πολυμερούς ως αποτέλεσμα της επίδρασης σε αυτό περιβαλλοντικών παραγόντων (π.χ. φως, θερμότητα, υγρασία, χημικές συνθήκες και βιολογική δραστηριότητα). Αυτές οι διαδικασίες προκαλούν αλλαγές στις ιδιότητες του πολυμερούς (υποβάθμιση της λειτουργικότητας), με αποτέλεσμα τη διάσπαση των χημικών δεσμών, τους χημικούς μετασχηματισμούς των πολυμερών και το σχηματισμό νέων ιδιοτήτων. Η αποικοδόμηση συνήθως είναι είτε φωτοθερμική, θερμική ή βιολογική [30, 31, 36].

Η ευαισθησία των πολυμερών στη φωτοδιάσπαση σχετίζεται με την ικανότητα του πλαστικού να απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό περιλαμβάνει την επίγεια ακτινοβολία UV-B (295 – 315 nm) και την ακτινοβολία UV – A (315 – 400nm) που είναι υπεύθυνες για την άμεση φωτόλυση και φωτοοξείδωση. Το ορατό μέρος του ηλιακού φωτός (400 - 750nm) επιτυγχάνει την αποικοδόμηση με θέρμανση, ενώ η υπέρυθρη ακτινοβολία (750 – 2500nm) τη θερμική οξείδωση. Με απλά λόγια τα περισσότερα πλαστικά τείνουν να απορροφούν ακτινοβολία υψηλής ενέργειας με αποτέλεσμα την ενεργοποίηση των ηλεκτρονίων τους, την υψηλή αντιδραστικότητα αυτών και την προκαλούμενη στη συνέχεια οξείδωση και διάσπαση [30].

Σχετικά με τη θερμική αποικοδόμηση των πολυμερών θεωρείται η μοριακή φθορά ως αποτέλεσμα υπερθέρμανσης. Σε υψηλές θερμοκρασίες, λοιπόν, τα συστατικά της μακράς αλυσίδας του πολυμερούς μπορούν να αρχίσουν να διαχωρίζονται, να αντιδρούν μεταξύ τους και να μεταβάλλουν τις ιδιότητες του πολυμερούς. Η θερμική παρέμβαση γενικά προκαλεί αλλαγές στο μοριακό βάρος και την κατανομή των ατόμων. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να περιλαμβάνουν μειωμένη ολκιμότητα με αποτέλεσμα τη θραύση, αλλαγές χρώματος, ρωγμές και γενική μείωση των φυσικών ιδιοτήτων τους [31].

Όπως προαναφέρθηκε, αυτές οι διαδικασίες έχουν σαν αποτέλεσμα την αποικοδόμηση των μακρών αλυσίδων των πολυμερών σε μικρότερα πολυμερή, άρα και τη διάσπαση και τον υποβαθμισμό των πλαστικών σε μικρότερα κομμάτια με αποτέλεσμα την δημιουργία μικροπλαστικών. Οι μικροπλαστικές σφαίρες και ίνες δημιουργούνται κατά κύριο λόγο από τον κατακερματισμό (κάτι που θα αναλυθεί στην παράγραφο 5.3.2) και την αποικοδόμηση μεγαλύτερων πλαστικών αντικειμένων που έχουν εισέλθει στο φυσικό περιβάλλον και διασπώνται λόγω φυσικών μεθόδων, όπως προαναφέραμε [30].

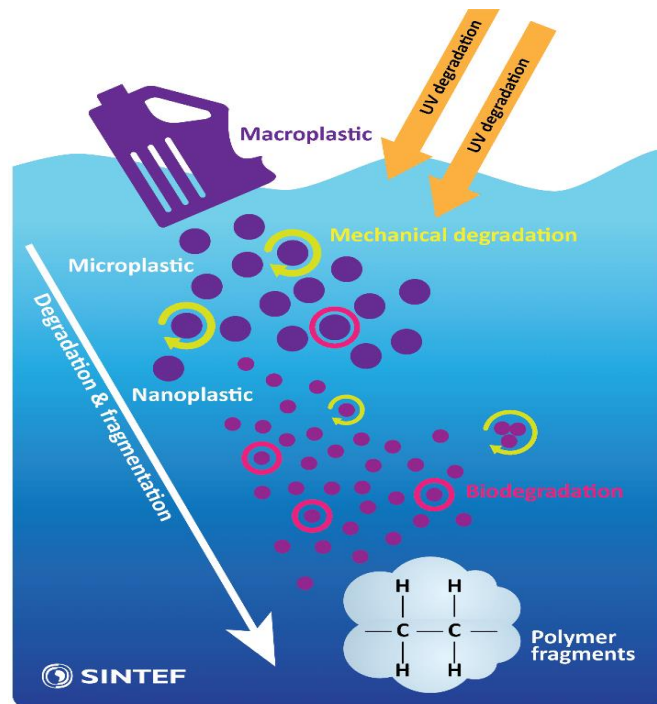
Επίσης αυτές οι διαδικασίες υποβαθμίζουν τα μικροπλαστικά και χρωματικά. Έχει παρατηρηθεί ότι εάν ένα σωματίδιο πλαστικού ή ακόμα και πλαστικό μείνει για μεγάλο χρονικό διάστημα ελεύθερο στο περιβάλλον, οι επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες μπορεί να προκαλέσουν αποχρωματισμό ή ένα ελαφρύ «κιτρίνισμα» στην επιφάνεια τους [58].

Στις διαδικασίες αποικοδόμησης συμπεριλαμβάνεται και η βιοαποικοδόμηση παρόλο που δεν αποτελεί τρόπο παραγωγής μικροπλαστικών. Παρά το γεγονός ότι η λέξη «αποικοδόμηση» είναι συνθετικό του όρου, η βιοαποικοδόμηση αναφέρεται σε μια βιολογική διαδικασία αποσύνθεσης οργανικών υλικών από φυσικούς ή μικροβιακούς παράγοντες [31, 32].

### **5.2.2 Κατακερματισμός πλαστικών σε μικροπλαστικά**

Ο κατακερματισμός, γενικά, είναι μια φυσική διαδικασία διάσπασης των μεγάλων αντικειμένων σε μικρότερα κομμάτια, μέσω φυσικών διαδικασιών. Στην περίπτωση των πλαστικών, ο κατακερματισμός μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή μικροσκοπικών κομματιών πλαστικού, των λεγόμενων μικροπλαστικών. Οι φυσικές διαδικασίες που λαμβάνουν μέρος στο κατακερματισμό είναι κυρίως η τριβή, η κρούση, η θερμοκρασιακή αποσάθρωση και η υγρασία. Μέσω της μηχανικής τριβής κυρίως παράγονται τα περισσότερα μικροπλαστικά, μηχανικές δυνάμεις, όπως για παράδειγμα η κυματική δράση, η τριβή με άμμο και η επαφή με ζώα, παίζουν καθοριστικό λόγο στον τελικό τους κατακερματισμό.

Ο συνδυασμός της χημικής αποικοδόμησης με το φυσικό κατακερματισμό έχει τα βέλτιστα αποτελέσματα διάσπασης πλαστικών σε μικροπλαστικά, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.4 [7, 12, 35, 36].



Εικόνα 5.4: Επισκόπηση των κύριων διεργασιών αποδόμησης (degradation) και κατακερματισμού (fragmentation) των πλαστικών αντικειμένων στο θαλάσσιο περιβάλλον [64].

### **5.3 Τύποι μικροπλαστικών με βάση τη μορφολογική τους περιγραφή**

Η μορφολογία των μικροπλαστικών μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τη διάσπαση που έχει προέλθει (π.χ. κατακερματισμός σε βράχια λόγω κυματισμού ή αποικοδόμηση λόγω ηλιακής ακτινοβολίας), την χρονική περίοδο που υπόκειται στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τον τύπο του πλαστικού και την χρήση κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Η μορφολογία των μικροπλαστικών επηρεάζεται από πάρα πολλές παραμέτρους, ενώ κάθε ένα διαφέρει από το άλλο και η ταξινόμηση αυτών βασίζεται κυρίως σε υποκειμενικές περιγραφές. Ωστόσο για την ακριβή σύγκριση δεδομένων απαιτούνται σαφείς ταξινομήσεις. Τρεις από τις διεθνώς αναγνωρισμένες κατηγορίες μικροπλαστικών με βάση τη βασική μορφολογία τους είναι [37]:

1. η σφαίρα (τρισεδιάστατη μορφολογία, 3D ),
2. η πλάκα (δισεδιάστατη μορφολογία, 2D ) και

### 3. η ράβδος (μονοδιάστατη μορφολογία, 1D)

Τα μικροπλαστικά είναι μια ιδιαίτερα ετερογενής ομάδα, λόγω του ότι τα μακροπλαστικά μόλις βρεθούν στο περιβάλλον μέσω φυσικοχημικών διεργασιών (Βλέπε παραγράφους 5.2.1 και 5.2.2), υφίστανται αποδόμηση που οδηγούν στην αποσύνθεση ή τον κατακερματισμό τους σε μικρότερα κομμάτια ακανόνιστου σχηματισμού. Αυτοί οι νέοι σχηματισμοί μπορεί να είναι σφαιρικά ή κυλινδρικά σφαιρίδια, θραύσματα σε μορφή πλάκας και φύλλων αλλά και ίνες με υψηλό λόγο διαστάσεων. Αυτή η ταυτοποίηση των διαφορετικών μορφολογιών των μικροπλαστικών που βρέθηκαν σε περιβαλλοντικά δείγματα είναι ένας συνηθισμένος τρόπος ταυτοποίησης χωρίς την ανάγκη εξελιγμένων οργάνων. Με λίγα λόγια, οι μορφολογικές κατηγορίες των μικροπλαστικών μπορεί να είναι άπειρες και υποκειμενικής γνώμης του εκάστοτε ερευνητή. Οι πιο βασικές όμως αυτών που παρατηρούνται παντού και μετά μπορεί να χωρίζονται σε υποκατηγορίες, είναι αυτές που προαναφέρθηκαν, δηλαδή 1) οι πλαστικές σφαίρες – πλαστικόσφαιρες – «δάκρυα γοργόνας» (3D), 2) τα ακανόνιστα θραύσματα με γωνίες σε μορφή πλάκας και φύλλων (2D) και 3) οι ίνες και νήματα (1D). Στις περισσότερες περιπτώσεις ο σχηματισμός αυτών των μικροπλαστικών υποδηλώνει κατά ένα μεγάλο ποσοστό την προέλευση των σωματιδίων [14,37].

#### 5.3.1 Πλαστικόσφαιρες – πλαστικές σφαίρες – δάκρυα γοργόνας

Ως πλαστικόσφαιρες ονομάζονται οι μορφές των μικροπλαστικών τεμαχίων που έχουν σχήμα σφαιρικό, ενώ σύμφωνα με μια πρόσφατη ονομασία προερχόμενη από τη μυθολογία αναφέρονται στη βιβλιογραφία και ως «δάκρυα γοργόνας» (Βλέπε εικόνα 7.1). Οι πλαστικόσφαιρες συνήθως κατατάσσονται και σε άλλες υποκατηγορίες σχήματος, όπως για παράδειγμα οβάλ, υοειδές και άλλα. Η προέλευση τους συνήθως θεωρείται ότι είναι το πρωτογενές βιομηχανικό στάδιο για την παραγωγή πλαστικού λόγω διαρροής υλικού στο περιβάλλον [Βλέπε 5.1.1 (1. πρωτογενή βιομηχανικά μικροπλαστικά)], λόγω της χρήσης τους σε καλλυντικά και προϊόντα περιποίησης [Βλέπε 5.1.1 (2. πρωτογενή καταναλωτικά μικροπλαστικά)] ή ακόμα και λόγω της μετατροπής ακανόνιστων θραυσμάτων πλαστικού με

τη μηχανική τριβή στη θάλασσα και τη μετατροπή του από ένα θραύσμα πλαστικού σε ένα σφαιρικό πλαστικό, το οποίο έχει λειανθεί και σφαιροποιηθεί από τη θάλασσα [Βλέπε 5.1.1 (3. δευτερογενή μικροπλαστικά)]. Σε διεθνείς ιστοσελίδες αναφέρεται ότι σε κάποιες παραλίες έχουν ανευρεθεί σαν μια πυκνή κηλίδα, ονομάζοντας τα πλαστικό χιόνι, αλλά και «πλαστική καταστροφή» [58].

### 5.3.2 Ακανόνιστα θραύσματα

Τα ακανόνιστα θραύσματα μικροπλαστικών αναφέρονται σε μη ποικιλόμορφα κομμάτια πλαστικού που προκύπτουν από τον κατακερματισμό μεγαλύτερων πλαστικών αντικειμένων (Βλέπε εικόνα 7.1). Συνήθως έχουν γωνίες στο περίγραμμά τους και παρουσιάζονται ως πλάκες ή φύλλα πλαστικού. Τα ακανόνιστα αυτά σχήματα πλαστικού προκύπτουν μέσω διαφόρων διαδικασιών αποικοδόμησης και κατακερματισμού, συνήθως με την έντονη μηχανική τριβή του περιβάλλοντος, είτε μέσω κυματισμού και άμμου είτε μέσω αέρα. Αυτά τα ακανόνιστα σχήματα πλαστικού διαφέρουν σημαντικά από την κατηγορία των πλαστικών σφαιρών, καθώς δεν παράγονται αρχικά σε σφαιρική μορφή αλλά αποτελούν δευτερογενή μικροπλαστικά που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της ζωής των πλαστικών αντικειμένων. Μπορούν να αναγνωριστούν εύκολα από τα υπόλοιπα μικροπλαστικά χωρίς την χρήση εξειδικευμένων οργάνων, αφού μια απλή απεικόνιση επαρκεί για την αναγνώρισή τους [37, 58].

### 5.3.3 Ίνες και νήματα

Οι ίνες και τα νήματα, ως μικροπλαστικά, αναφέρονται σε πολύ μικρά κομμάτια πλαστικού που έχουν τη μορφολογία ίνας ή νήματος. Αυτά τα μικροπλαστικά μπορούν να προέρχονται από διάφορες δευτερογενείς πηγές, όπως ο κατακερματισμός μεγαλύτερων πλαστικών αντικειμένων, από την αποικοδόμηση πλαστικών που έχουν υποστεί ηλιακή αποσύνθεση, από το πλύσιμο ρούχων που κατασκευάζονται από πλαστικές ίνες, αλλά και ένα μεγάλο ποσοστό τους προέρχεται από αλιευτικά εργαλεία. Για παράδειγμα, δίχτυα

αλιείας που έχουν απομείνει μόνιμα στα θαλάσσια οικοσυστήματα και με την πάροδο του χρόνου αποσυντίθενται, γεμίζοντας τα θαλάσσια οικοσυστήματα με ίνες πολυμερών [23, 37, 58].

Ο συνδυασμός όλων αυτών δημιουργεί έναν όγκο μικροπλαστικών που διασκορπίζονται κάθε χρόνο σε θάλασσες, ποτάμια, χερσαία οικοσυστήματα και στην ατμόσφαιρα. Τα μικροπλαστικά, ασχέτως σχήματος και ιδιοτήτων, είναι πολύ εύκολο να μεταφερθούν μέσω του νερού και του αέρα συνεχώς από οικοσύστημα σε οικοσύστημα, εάν δεν παγιδευτούν κατά τη μεταφορά τους. Στην παράγραφο 5.4 αναλύονται κάποιες από αυτές τις αιτίες μεταφοράς καθώς και ο τελικός αποδέκτης. Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι κατά τη μεταφορά τους αλληλεπιδρούν και δημιουργούν συσσωματώματα με άλλα σωματίδια ίδιου ή διαφορετικού υλικού, και δημιουργείται στην επιφάνεια τους βιοφιλμ μικροοργανισμών. Αυτό σημαίνει ότι αλλάζει το μέγεθος τους, η χημική τους σύσταση και η επιφάνειά τους, δημιουργώντας άλλα προβλήματα που θα αναλυθούν στην παράγραφο 5.5 [37,58].

#### **5.4 Μικροπλαστικά σε οικοσυστήματα του περιβάλλοντος**

##### **5.4.1 Παρουσία και μεταφορά μικροπλαστικών σε υδάτινα οικοσυστήματα, συμπεριλαμβανομένων θαλασσών και ποταμών**

Όπως προαναφέρθηκε, η ύπαρξη πλέον μικροπλαστικών σε υδάτινα οικοσυστήματα είτε αυτά είναι ποτάμια και λίμνες, είτε θάλασσες, είναι ευρέως γνωστή και πόλος έλξης ερευνών. Η μεταφορά των μικροπλαστικών σε υδάτινα οικοσυστήματα βασίζεται στην αλληλεπίδραση των χερσαίων με τα υδάτινα οικοσυστήματα και το αντίστροφο. Πλαστικά και μικροπλαστικά από τα χερσαία οικοσυστήματα καταλήγουν σε επιφανειακά ύδατα (θάλασσα, ποτάμια, λίμνες) και το αντίστροφο, δηλαδή από τις θάλασσες και τα ποτάμια σε χερσαία οικοσυστήματα. Οι κύριοι μεταφορείς των πλαστικών και των μικροπλαστικών σε αυτά τα οικοσυστήματα είναι το νερό και ο αέρας, όπως αναφέρθηκε ήδη προηγουμένως [58].



Είναι γνωστό ότι τα περισσότερα είδη πλαστικών απορριμμάτων έχουν μικρότερη πυκνότητα από το νερό με αποτέλεσμα να επιπλέουν και να είναι ακόμα πιο εύκολη η μεταφορά τους. Η κίνηση του νερού προς την θάλασσα, με βάση τον κύκλο του νερού, ξεκινάει από τα ποτάμια και τους υπόγειους υδροφορείς μεταφέροντας μαζί τους φερτή ύλη, στην οποία μπορούν να συμπεριλαμβάνονται και μικροπλαστικά. Στις περιπτώσεις που το νερό διηθείται και μεταφέρεται μέσω υπογείων υδροφορέων στη θάλασσα, τα μικροπλαστικά συγκρατούνται στο έδαφος μέχρι την επόμενη επιφανειακή ροή του νερού για να καταλήξουν τελικά στη θάλασσα. Μια τέτοια επιφανειακή ροή νερού μπορεί να είναι και ένας χείμαρρος ομβρίων υδάτων, εκ πλένοντας τα, και καταλήγοντας πάλι στη θάλασσα ή σε άλλα υδάτινα οικοσυστήματα. Επίσης εάν το νερό καταλήξει στη θάλασσα μέσω μεγαλύτερων κοιλωμάτων, όπως για παράδειγμα μέσω καρστικών υδροφορέων στο υπέδαφος, δεν είναι απαραίτητο ότι τα μικροπλαστικά θα συγκρατηθούν στην επιφάνεια του εδάφους, γιατί υπάρχει κίνδυνος να παρασυρθούν στο υπόγειο καρστικό υδροφόρο και να καταλήξουν με αυτό τον τρόπο στη θάλασσα. Αυτή η περίπτωση βέβαια έχει μελετηθεί σε πολύ λίγες περιοχές μέχρι και σήμερα [15, 27].

Ο κύριος βέβαια παράγοντας μεταφοράς πλαστικών μέσω του νερού είναι τα ποτάμια, τα οποία με βάση τη φυσική ροή του νερού και τη κινητική του ενέργεια καταλήγουν στις θάλασσες. Αναφέρεται ότι περισσότερα από 14,4 εκατομμύρια τόνοι μικροπλαστικών καταλήγουν στο θαλάσσιο περιβάλλον κάθε χρόνο μέσω ποταμών και άλλων συνθηκών [38]. Επίσης, αίτιο ύπαρξης μικροπλαστικών σε θαλάσσια οικοσυστήματα δεν παύουν να είναι και το αστικό αποχετευτικό δίκτυο λόγω του ότι τα περισσότερα μικροπλαστικά δεν καταφέρνουν να συλλεχθούν από τις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων. Το θέμα αυτό θα αναλυθεί στην επόμενη ενότητα 5.4.1.1. Πηγές παραγωγής μικροπλαστικών όπως προαναφέρθηκαν στις ενότητες 5.1.1 και 5.2, είναι κυρίως οι χερσαίες πηγές (βλέπε εικόνα 5.2) όπως και επίσης οι θαλάσσιες πηγές, όπως για παράδειγμα κατακρημνίσματα από επιστρώσεις πλοίων, διαρροές πλαστικών κυλίνδρων κατά την μεταφορά τους και αλιευτικά απορρίμματα [27, 38].

Η μεταφορά των μικροπλαστικών στη συνέχεια εντός των θαλασσών πραγματοποιείται με την βοήθεια του κυματισμού και των ρευμάτων, όπως προαναφέρθηκε [38].

#### **5.4.1.1 Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων και μικροπλαστικά**

Η μικροπλαστική ρύπανση του γλυκού νερού και του θαλάσσιου περιβάλλοντος είναι το αποτέλεσμα τόσο των άμεσων εκπομπών στα επιφανειακά ύδατα όσο και της μεταφοράς σωματιδίων μέσω του ανέμου αλλά και της απορροής λυμάτων και αποβλήτων, με τις Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων (ΜΕΛ) να παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ενδιάμεση μεταφορά τους. Παρόλο οι ΜΕΛ δε διαθέτουν συστήματα συλλογής επιπλέοντων μικροπλαστικών με υψηλή απόδοση, το ποσοστό συλλογής μικροπλαστικών είναι αρκετά ικανοποιητικό λόγω της συλλογής μακροπλαστικών, τα οποία εάν κατέληγαν στο φυσικό περιβάλλον, θα μπορούσαν να κατακερματιστούν, αποικοδομηθούν και μετατραπούν σε μικροπλαστικά (πίνακας 5.3) [40, 58]. Μερικές από τις σημαντικότερες πηγές μικροπλαστικών σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων είναι τα καλλυντικά και προϊόντα περιποίησης, οι πλαστικές ίνες από το πλύσιμο των ρούχων, η σκόνη των πόλεων, οι φθορές των ελαστικών [29].

Αρχικά κατά την επεξεργασία των αστικών λυμάτων στο στάδιο της εσχάρωσης δεσμεύονται τα στερεά ογκώδη αντικείμενα που φτάνουν μαζί με τα λύματα στις μονάδες επεξεργασίας. Στην Ελλάδα υπολογίζεται, ότι μόνο το 5% των ΜΕΛ διαθέτει εσχάρες με διάκενα μικρότερα των 5 χιλιοστών (όσο δηλαδή είναι το θεωρητικό μέγεθος ενός μικροπλαστικού). Αυτό σημαίνει ότι οι υπόλοιπες μονάδες επιτρέπουν την είσοδο των μικροπλαστικών στην εγκατάσταση, εξαιρουμένων αυτών που έχουν προσκολληθεί ανάμεσα στα υπόλοιπα συλλεχθέντα ογκώδη απορρίμματα στις εσχάρες. Στη συνέχεια κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των λυμάτων συλλέγονται μικροπλαστικά σε πολλά στάδια λόγω των επεξεργασιών που λαμβάνουν χώρα [58]. Όσον αφορά στην προεπεξεργασία των λυμάτων, κατά την διάρκεια της λιποσυλλογής τα μικροπλαστικά μικρότερης πυκνότητας που επιπλέουν, συλλέγονται από την επιφάνεια των λυμάτων μαζί με τα λίπη, τα έλαια και τα υπόλοιπα επιπλέοντα σωματίδια, ενώ αντίστοιχα τα μικροπλαστικά μεγαλύτερης πυκνότητας συλλέγονται κατά την διαδικασία της αμμοσυλλογής μαζί με τα γεωλογικής προέλευσης σωματίδια. Στη συνέχεια κατά την διάρκεια της καθίζησης υπάρχει διαχωρισμός της υλός από την υπεκείμενη υγρή φάση, όπου εντοπίζονται τα μεγαλύτερα ποσοστά μικροπλαστικών, που είναι κυρίως ίνες συνθετικών ρούχων και άλλα μικροπλαστικά

χαμηλής πυκνότητας. Τα καθιζάνοντα μικροπλαστικά σωματίδια απομακρύνονται μαζί με τη λυματολάσπη για περαιτέρω επεξεργασία. Η συλλογή επιπλεόντων μικροστερεών από την επιφάνεια του νερού κατά τη διαδικασία της καθίζησης έχει σαν αποτέλεσμα ένας μικρός όγκος μικροπλαστικών να καταλήγει εν τέλη στους υδάτινους αποδέκτες. Το πρόβλημα όμως εντοπίζεται στο γεγονός ότι κάθε ΜΕΛ μπορεί να επεξεργάζεται καθημερινά πολλούς τόνους λυμάτων με αποτέλεσμα και αυτή η μικρή ποσότητα μικροπλαστικών που, τελικά, απορρίπτεται στο περιβάλλον καθημερινά ανά κυβικό μέτρο νερού, εν τέλει να είναι μεγάλη σε βάθος χρόνου [5, 39, 40].

Άξιο να αναφερθεί είναι ότι κάποιες χώρες, όπως για παράδειγμα η Κορέα και η Δανία, έχει εντάξει στις ΜΕΛ μία τριτοβάθμια επεξεργασία λυμάτων, κατά την οποία γίνεται διήθηση της υγρής φάσης με μεμβράνες για την συγκράτηση μικροπλαστικών με πολύ καλά ποσοστά απομάκρυνσης έως και 99%, σε σχέση με τις πρωτοβάθμιες και δευτεροβάθμιες επεξεργασίες στις υπόλοιπες ΜΕΛ [39]. Βέβαια θα πρέπει να ληφθεί υπόψη σε αυτό το σημείο, ότι το υψηλό ποσοστό απομάκρυνσης μικροπλαστικών κατά την τριτοβάθμια επεξεργασία προϋποθέτει τις επιτυχείς διεργασίες της εσχάρωσης, αμμοσυλλογής, συλλογής επιπλεόντων και καθίζησης κατά την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία που έχουν προηγηθεί (πίνακας 5.3).

Στη συνέχεια στον πίνακα 5.3 συνοψίζονται δεδομένα ανίχνευσης μικροπλαστικών στην εισροή και εκροή των επεξεργασμένων λυμάτων, καθώς και το ποσοστό αφαίρεσης αυτών από Μονάδες Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων σε διαφορετικές χώρες.

Πίνακας 5.3: Μικροπλαστικά στην εισροή και στα επεξεργασμένα λύματα από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων παγκοσμίως [40].

Τοποθεσία	Σημείο δειγματοληψίας	Συγκέντρωση (Σωματίδια / L)	Ποσοστό αφαίρεσης	Χαρακτηριστικά σχήματος
Τουρκία	Εισροή	17,3-36,0	54-92 %	Ίνες Θραύσματα Φιλμ
	Λύματα	2,7-8,7		
Δανία	Εισροή	2.223-18.285	99,3%	Μη διαθέσιμα
	Λύματα	29-447		

	Τριτοβάθμια	19	99,8%	
Κορέα	Εισροή	10-470	-	Θραύσματα Φυτικές ίνες
	Λύματα	0,004-0,59	98,7-99,99%	
	Τριτοβάθμια	0,006-0,013	99,9-100 %	
Σκωτία	Εισροή	15,7	98,4 %	Νιφάδες Φυτικές ίνες Φιλμ
	Λύματα	0,25		
Καναδάς	Εισροή	31,1	97,1-99,1%	Ίνες Θραύσματα Μικροσφαιρίδια
	Λύματα	0,5		

#### 5.4.2 Παρουσία και μεταφορά μικροπλαστικών σε χερσαία οικοσυστήματα

Παρόλο που τα τελευταία χρόνια, την μεγαλύτερη προσοχή σχετικά με τα μικροπλαστικά και τα πλαστικά γενικότερα την τραβάει η θάλασσα, αυτό δεν σημαίνει ότι τα χερσαία οικοσυστήματα δεν καταπονούνται από την πλαστική ρύπανση. Τα μικροπλαστικά είτε αυτά είναι επιφανειακά, είτε βρίσκονται μέσα στο έδαφος, εισέρχονται σε αυτό μέσω πολλών οδών. Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης των χερσαίων οικοσυστημάτων είναι[44]:

- 1) Κατακρημνίσματα των πόλεων
- 2) Απορρίμματα από χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)
- 3) αερομεταφερόμενες μικροΐνες
- 4) εδαφοβελτιωτικά που προέρχονται από την λυματολάσπη των ΜΕΛ (Βλέπε ενότητα 5.4.1.1) και
- 5) Γεωργικά πλαστικά.

Το μεγαλύτερο ποσοστό μικροπλαστικών προέρχεται από τις γεωργικές καλλιέργειες, είτε από εδαφοβελτιωτικά που περιέχουν ίνες πλαστικών λόγω ότι προέρχονται από την επεξεργασμένη λυματολάσπη των ΜΕΛ, είτε από αποσύνθεση μεγάλης ποσότητας πλαστικής μεμβράνης που χρησιμοποιείται ως εδαφοκάλυψη στον γεωργικό τομέα. Τέτοια

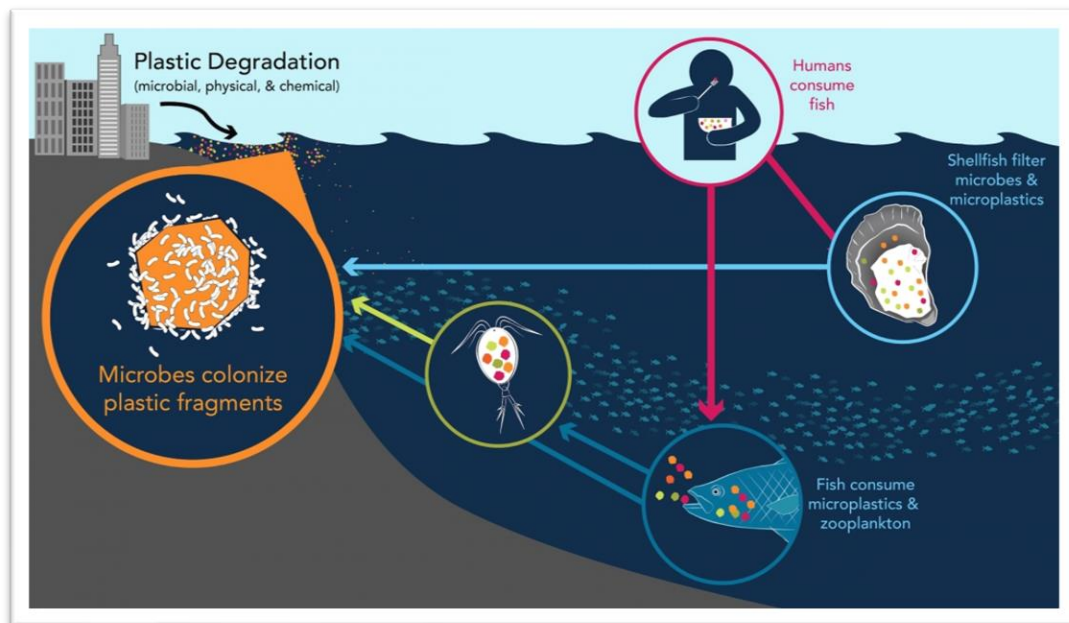
πλαστικά μπορεί επίσης να είναι καλύμματα από θερμοκήπια, δοχεία μεταφοράς και περιέκτες διαφόρων φαρμάκων και παρασιτοκτόνων, πλαστικά νήματα από δέσιμο των φυτών, γλαστράκια για ανάπτυξη νέων φυτών κ.ά. [58]. Γενικά λόγω του μεγάλου κόστους εργασίας, η διαδικασία ανακύκλωσης γεωργικών πλαστικών είναι πολύ περιορισμένη. Παράλληλα τα μικροπλαστικά γνωρίζουμε ότι στο νερό μεταφέρονται με ρεύματα, με κυματισμό, με την φυσική ροή νερού και άλλα. Έτσι και η μεταφορά των μικροπλαστικών στο χερσαίο περιβάλλον μπορεί να γίνει πολύ εύκολα με τη βοήθεια του αέρα. Μικροπλαστικά όπως ίνες ρούχων, σακούλων και άλλα (βλέπε παράγραφο 5.3.3), αερομεταφέρονται και εναποτίθενται από δρόμους και πεζοδρόμια σε υπονόμους και έπειτα καταλήγουν στις ΜΕΛ, όπου όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 5.4.1.1, αυτές οι ίνες καταλήγουν ένα μεγάλο ποσοστό στην λυματολάσπη, αυτή η οποία χρησιμοποιείται κάποιες φορές ως εδαφοβελτιωτικό [44]. Επίσης ο αέρας είναι ικανός να μεταφέρει μικροπλαστικά σε τεράστιες αποστάσεις. Στην Αμερική έχουν εντοπιστεί σε αυστηρά προστατευόμενες περιοχές αερομεταφερόμενα μικροπλαστικά αντικείμενα. Αναφέρεται ότι το 98% των δειγμάτων που περιείχαν σωματίδια από απομακρυσμένες περιοχές, είχε μέσα μικροπλαστικά και μάλιστα σε ποσοστό που έφθανε το 4% της σκόνης που είχε συλλεχθεί. Μία ακόμα αναφορά υπολογίζει ότι κάθε χρόνο στις προστατευόμενες περιοχές και στα εθνικά πάρκα αποθέτονται κάθε χρόνο από τον αέρα 1.000 τόνοι μικροπλαστικών [58]. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί σε 200 εκατομμύρια πλαστικά μπουκάλια (βλέπε 7.7.1). Άξιο να αναφερθεί είναι, ότι το μεγαλύτερο ποσοστό μικροπλαστικών που υπάρχει στο ανθρώπινο σώμα προέρχεται από τον αέρα που αναπνέει και καταπίνει, κάτι που θα αναλυθεί καλύτερα στη συνέχεια στην ενότητα 5.5.3 [41, 46]. Από τα προηγούμενα συμπεραίνεται, ότι το έδαφος αποτελεί καταβόθρα για υπολειμματικά πλαστικά και μικροπλαστικά [27].

### **5.5 Επιπτώσεις μικροπλαστικών**

Οι επιπτώσεις των μικροπλαστικών στο θαλάσσιο περιβάλλον έχουν αρχίσει να εκδηλώνονται και να απασχολούν ολοένα και περισσότερο την επιστημονική κοινότητα. Αυτές οι επιπτώσεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε οικονομικές, αισθητικές και οικολογικές [58].

Οι οικονομικές επιπτώσεις συνδέονται κυρίως με το κόστος απορρύπανσης και την αντιμετώπιση των μικροπλαστικών. Οι αισθητικές επιπτώσεις σχετίζονται με την υποβάθμιση του τοπίου και την παρουσία ορατών μικροπλαστικών στις παραλίες και θαλάσσιες περιοχές [15,27].

Ωστόσο, οι πιο σημαντικές επιπτώσεις εντοπίζονται στον οικολογικό τομέα. Τα μικροπλαστικά έχουν αρνητικό αντίκτυπο στους οικοτόπους, μεταφέρονται στην τροφική αλυσίδα και επηρεάζουν τους οργανισμούς που βρίσκονται στη θάλασσα (Εικόνα 5.5). Οι επιπτώσεις αυτές μπορεί να είναι μακροπρόθεσμες και περίπλοκες, επηρεάζοντας την ποικιλομορφία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων [14, 15, 25].



Εικόνα 5.5: Εισαγωγή μικροπλαστικών στην τροφική αλυσίδα θαλάσσιων οργανισμών και του ανθρώπου [42].

Επεξηγήσεις: *Microbes colonize plastic fragments* (Μικρόβια που αποικούν πλαστικά θραύσματα), *Fish consume microplastics and zooplankton* (Ψάρια καταναλώνουν μικροπλαστικά και ζωοπλαγκτόν), *shellfish filter microbes και microplastics* (Τα όστρακα φιλτράρουν μικρόβια και μικροπλαστικά), *Human consume fish* (Ο άνθρωπος καταναλώνει ψάρια).

### 5.5.1 Επιδράσεις στη θάλασσα και στην υδρόβια ζωή

Οι επιδράσεις των μικροπλαστικών στη θάλασσα ξεκινούν ήδη από την αρχική απόθεση τους στην θάλασσα. Κάθε είδους μικροπλαστικό, ανεξαρτήτως μεγέθους, έχει τη δική του επίπτωση στη θαλάσσια ζωή. Γνωστό παράδειγμα είναι η κατανάλωσή τους από χελώνες. Υπολογίζεται ότι περισσότερες από τις μισές θαλάσσιες χελώνες στον κόσμο έχουν καταπιεί πλαστικά. Το γεγονός αυτό, εκτός από τις τοξικές ιδιότητες που μπορεί να έχει ένα πλαστικό (βλέπε ενότητα 3.2), μπορεί να οδηγήσει και σε ασιτία, καθώς το στομάχι τους γεμίζει με σακούλες και μικροπλαστικά, προκαλώντας τους έναν αργό θάνατο [43, 58].

Εμβαθύνοντας ακόμα περισσότερο, τα μικροπλαστικά επηρεάζουν κυριολεκτικά το ολόκληρο τροφικό και οικολογικό σύστημα των θαλάσσιων οργανισμών και της υδρόβιας ζωής. Από το ζωπλαγκτόν μέχρι το μεγαλύτερο θαλάσσιο οργανισμό, όπως είναι ο φαλινοκαρχαρίας, τα μικροπλαστικά επηρεάζουν την τροφική τους αλυσίδα και την υγεία τους [58]. Όπως φαίνεται και στο παράδειγμα των συλλεχθέντων μικροπλαστικών στην εικόνα 7.1, τα μικροπλαστικά λόγω του μεγέθους, του χρώματος και της δομής τους εισχωρούν στην τροφική αλυσίδα. Ορισμένοι οργανισμοί καταναλώνουν μικροπλαστικά καθώς νομίζουν ότι είναι τροφή (π.χ. ψάρια), άλλοι φιλτράρουν το νερό που περιέχει μικροπλαστικά όπως ίνες (π.χ. όστρακα, φάλαινες, κοράλλια κ.ά.) και άλλοι καταναλώνοντας άλλους οργανισμούς που έχουν αφομοιώσει μικροπλαστικά με κάποιους από τους προαναφερθέντες τρόπους (π.χ. καρχαρίας, δελφίνια και άλλα)(Εικόνα 5.5) [14, 25, 34, 43].

#### 5.5.1.1 Τροφική πρόσληψη και επιπτώσεις

Η επίδραση των μικροπλαστικών στους οργανισμούς ποικίλει ανάλογα το είδος του πλαστικού, την μορφολογία του και την τοξικότητα του. Μελέτες δείχνουν ότι η κατάποση μικροπλαστικών οδηγεί είτε σε ασιτία των ψαριών είτε σε αλλοιώσεις στο συκώτι. Η ασιτία προκαλείται λόγω της επιβάρυνσης του στομάχου με μη βρώσιμα είδη εξαιτίας της αναγνώρισης αυτών ως τροφή, η οποία όμως δεν μπορεί να καταναλωθεί. Ταυτόχρονα οι αλλοιώσεις στο συκώτι τους δείχνει ότι ο οργανισμός τους τα αντιλαμβάνεται σαν τοξίνες και ζητάει από το συκώτι να τα αντιμετωπίσει επιβαρύνοντας τελικά την υγεία των ψαριών

[58]. Επιπλέον, η κατάποση-απορρόφηση μικροπλαστικών μπορεί να οδηγήσει σε αναπαραγωγικά προβλήματα, τερατογένεση, αργή κολύμβηση με αποτέλεσμα να αποτελούν την ευκολότερη λεία για τους θηρευτές. Όλα αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα την υποβάθμιση του εκάστοτε ρυπασμένου υδάτινου οικοσυστήματος. Ουκ ολίγες φορές έχουν βρεθεί μικροπλαστικά στο σώμα πολλών ψαριών είτε αυτά είναι πελαγίσια είτε προέρχονται από ιχθυοκαλλιέργειες. Ουσιαστικά, όταν ένας οργανισμός καταναλώσει κάποιο μικροπλαστικό αντί τροφής και εάν δεν μπορεί να το αποβάλει, το μικροπλαστικό παραμένει μόνιμα στο στομάχι του οργανισμού αυτού. Το αποτέλεσμα είναι να χαθεί το αίσθημα της πείνας για τον συγκεκριμένο οργανισμό, και με την πάροδο του χρόνου, να οδηγηθεί σε ασιτία και τελικά στον θάνατο [33, 45, 48].

Όπως αναφέρεται στη συνέχεια αναλυτικά στην ενότητα 7.7.2, λόγω της ενασχόλησης μου με το υποβρύχιο ψάρεμα έχει τύχει 2 φορές στην ζωή μου να αλιεύσω ψάρια, τα οποία περιείχαν στο στομάχι τους μικροπλαστικά και σακούλες. Το σχετικό φωτογραφικό υλικό παρουσιάζεται στις εικόνες 7.2 – 7.4. και φαίνεται

### 5.5.1.2 Τοξικές ιδιότητες και πρόσληψη

Όπως προαναφέρθηκε, τα μικροπλαστικά μπορούν να μεταφέρουν και άλλες τοξικές ενώσεις είτε επειδή τις περιέχουν από κατασκευής τους είτε επειδή τις προσροφούν κατά τη διαμονή τους σε ρυπασμένα περιβάλλοντα . Τα μικροπλαστικά που έχουν την τάση να προσροφούν ενώσεις του περιβάλλοντος μπορεί να αποδειχθούν ακόμα πιο τοξικά για τους θαλάσσιους οργανισμούς. Για παράδειγμα η προσρόφηση πρόσθετων ενώσεων ή χημικών στοιχείων όπως βαφών, βαρέων μετάλλων, χημικών ενώσεων κ.ά., αυξάνουν την τοξικότητα των μικροπλαστικών στη φύση. Αυτά τα μικροπλαστικά μπορεί να προκαλέσουν και άλλες τοξικές αντιδράσεις κατά την κατάποση τους όπως φλεγμονές, αύξηση της ενζυμικής δραστηριότητας και δυσλειτουργίες στο μεταβολισμό. Εκτός αυτού, τα μικροπλαστικά μπορούν να λειτουργήσουν και ως φορέας ρύπανσης από μία περιοχή σε μία άλλη ή ξενικών ειδών, οδηγώντας σε βιοσυσσώρευση ποικιλίας υδρογονανθράκων, βαρέων μετάλλων, βαφών, χημικών ουσιών και ξενικών μικροοργανισμών και οργανισμών [48]. Επιπλέον, δείγματα ψαριών που συλλέχθηκαν από υδάτινα οικοσυστήματα κοντά σε αστικές περιοχές



έδειξαν υψηλότερο ποσοστό μικροπλαστικών σε σύγκριση με δείγματα από μη αστικές περιοχές. Αυτό το αποτέλεσμα δείχνει την άμεση συμβολή των ανθρώπων στην μικροπλαστική ρύπανση [25, 32, 48].

Για να διαπιστωθεί η τοξικότητα των μικροπλαστικών που έχουν προσροφήσει και άλλες επικίνδυνες ουσίες, ελέγχθηκαν σε μια επιστημονική μελέτη οι ακόλουθοι τρεις διαφορετικοί πληθυσμοί ψαριών [58]:

- 1) Πληθυσμός ψαριών που δεν είχε καταναλώσει μικροπλαστικά
- 2) Ψάρια που σιτίζονταν με μικροπλαστικά χωρίς προσροφημένους ρύπους και
- 3) Ψάρια που σιτίζονταν με μικροπλαστικά από ρυπασμένες περιοχές και περιείχαν προσροφημένους ρύπους

Τα αποτελέσματα έδειξαν, όπως ήταν αναμενόμενο, ότι τα ψάρια της 1. ομάδας ήταν υγιή. Αντίθετα τα ψάρια της 2. ομάδας είχαν απλές αλλοιώσεις στο συκώτι τους, ενώ στα ψάρια της 3. ομάδας διαπιστώθηκαν σοβαρές επιπτώσεις τόσο στο συκώτι τους όσο και στον οργανισμό τους γενικότερα. (Να σημειωθεί ότι στη συγκεκριμένη μελέτη στα μικροπλαστικά χωρίς προσροφημένους ρύπους, δεν ελέγχθηκε εάν υπήρχαν τοξικές ουσίες από κατασκευής μέσα σε αυτό το είδους πλαστικού [58].

Εξετάζοντας κυρίως τις επιπτώσεις των μικροπλαστικών στα ψάρια δεν σημαίνει ότι τα μικροπλαστικά δεν έχουν επιπτώσεις και σε άλλους θαλάσσιους οργανισμούς, όπως είναι τα ασπόνδυλα, τα όστρακα, τα κοράλλια και κάθε λογής ζωντανοί υδρόβιοι οργανισμοί. Όποιος οργανισμός έρχεται σε επαφή με μικροπλαστικά, έχει σίγουρα άμεσες ή έμμεσες επιπτώσεις στην ανάπτυξη και εξέλιξη του [58].

Γενικότερα οι επιπτώσεις των μικροπλαστικών στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι ακόμα προϊόν μελέτης και έρευνας. Είναι σχετικά δύσκολο να πειστεί κάποιος ότι οι χημικές ουσίες που υπάρχουν σε ένα θαλάσσιο οργανισμό, προέρχονται απαραίτητα από τα μικροπλαστικά ενώ ο ίδιος ο οργανισμός αυτός ζει και αναπαράγεται σε νερό που είναι ήδη ρυπασμένο από αυτές τις ουσίες. Βέβαια όταν ένα μικροπλαστικό το οποίο είναι ρυπασμένο, έρχεται σε επαφή με τα όξινα υγρά διάσπασης των τροφών του στομάχου, είναι πιο εύκολη η εκχύλιση των χημικών ουσιών. Εισερχόμενο ένα μικροπλαστικό λοιπόν στην τροφική αλυσίδα (είτε μέσω της κατάποσης, είτε της αναπνοής, είτε άλλης μεθόδου), είναι σίγουρο ότι εισέρχεται σε ένα φαύλο κύκλο βιολογικής συσσώρευσης από οργανισμό σε οργανισμό, καταλήγοντας από τον πιο μικρό οργανισμό (π.χ. ζωοπλαγκτόν) σε ανώτερα ζώα, όπως σε πουλιά (π.χ. ένα

γλάρο), σε χερσαίους οργανισμούς (Βλέπε επόμενη ενότητα), μέχρι και στον άνθρωπο (Βλέπε παράγραφο 5.5.3). Με λίγα λόγια ό,τι αναπνέει, καταναλώνει και έρχεται σε επαφή με περιβάλλοντα που περιέχουν μικροπλαστικά είναι πολύ πιθανόν να έχει ρυπανθεί, από μικρή έως μεγάλη κλίμακα, από αυτά [48, 58].

### 5.5.2 Επιδράσεις στα χερσαία οικοσυστήματα

Παρόλο που οι περισσότερες έρευνες ασχολούνται με τη ρύπανση κυρίως του θαλάσσιου περιβάλλοντος και των ωκεανών με πλαστικά και μικροπλαστικά, η σχετική με τη ρύπανση των χερσαίων οικοσυστημάτων έρευνα είναι εξίσου σημαντική. Μια μεγάλη πληθώρα ερευνών παρουσιάζει τις επιδράσεις των μικροπλαστικών σε χερσαία οικοσυστήματα, ιδιαίτερα σε σχέση με τις ιδιότητες του εδάφους, τις επιδράσεις στην πανίδα αλλά και στην χλωρίδα [58].

Η παρουσία μικροπλαστικών στο έδαφος μπορεί να έχει μια πληθώρα σημαντικών επιπτώσεων. Η παρουσία τους μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη δομή του εδάφους, να μειώσει την πυκνότητα του και το ρυθμό διήθησης του νερού. Επίσης μπορεί να μεταβάλει την περιεκτικότητα του εδάφους σε διαλυμένο οργανικό φώσφορο (P), άζωτο (N) και άνθρακα (C). Επίσης η έκθεση των εδαφών σε μικροπλαστικά επηρεάζει τις μετρήσεις που πραγματοποιούνται για τον προσδιορισμό της οργανικής ύλης και του οργανικού άνθρακα [44].

Παράλληλα, οι διαφορές στις αυξομειώσεις των στοιχείων του εδάφους επηρεάζει άμεσα την χλωρίδα της περιοχής και την ανάπτυξη τους. Έρευνες αποδεικνύουν επίσης, ότι εδάφη που περιέχουν μικροπλαστικά, επιβραδύνουν τον χρόνο εκβλάστησης των σπόρων των φυτών, μειώνουν το ρυθμό βλάστησης και επιβαρύνουν την επιβίωση των δενδρυλλίων. Επίσης έχει διαπιστωθεί, ότι τα μικροπλαστικά μπορεί να μεταφερθούν μαζί με το νερό και τα θρεπτικά συστατικά σε βρώσιμα μέρη των φυτών. Η διαδικασία αυτή συντελείται μέσω των συστημάτων διαπνοής και απορρόφησης των θρεπτικών συστατικών στα φυτά. Αυτό μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την παρουσία μικροπλαστικών σε λαχανικά (π.χ. καρότα και πατάτες) και φρούτα (π.χ. μήλα και αχλάδια) που αγοράζονται από τους καταναλωτές. Με

αυτό τον τρόπο μπορούν να καταλήξουν στο τραπέζι του καταναλωτή και να αποτελέσουν πιθανή απειλή για την ανθρώπινη υγεία (Βλέπε επόμενη ενότητα 5.5.3) [58].

Μια μελέτη που ασχολήθηκε με τα εδάφη, την πανίδα και την αλληλεπίδραση τους απέδειξε, ότι εκεί που είχαν προστεθεί μικροπλαστικά πολυαιθυλενίου είχαν μειωθεί οι ποσότητες των σκουληκιών και μυρμηγκιών [58]. Συγκεκριμένα ανακαλύφθηκε ότι όσο μεγαλύτερη ποσότητα μικροπλαστικών υπήρχε, τόσο λιγότερα έντομα βρίσκονταν εκεί, παρόλο που η αφθονία σε μικροοργανισμούς δεν έδειξε να επηρεάζεται. Όσον αφορά τις επιδράσεις σε ανώτερους οργανισμούς όπως πτηνά και ζώα, αναφέρεται, ότι πολλά πουλιά θρέφονται με μικροπλαστικά, επειδή τα μπερδεύουν με βρώσιμη ύλη, από περιέργεια ή επειδή αυτά βρίσκονται και μέσα στην τροφή τους [58]. Κάποια από αυτά λοιπόν δεν έχουν την ικανότητα να τα χωνέψουν και να τα αποβάλουν με την μορφή περιττωμάτων. Με παρόμοιο τρόπο όπως και στα ψάρια (Βλέπε ενότητα 5.5.1.1) παρατηρείται, ότι συσσωρεύονται τα μικροπλαστικά στο στομάχι των ζώων με αποτέλεσμα οι οργανισμοί να μην νιώθουν το αίσθημα της πείνας. Αυτό οδηγεί σε αστία και τελικά στο θάνατο. Δεν είναι λίγα τα παραδείγματα από θαλασσοπούλια που έχουν βρεθεί νεκρά σε ακτές θαλασσών με τα στομάχια τους γεμάτα με μικροπλαστικά (βλέπε εικόνα 5.6). Είναι ενδιαφέρον αν σκεφτεί κανείς ότι τα μικροπλαστικά μπορούν να ταξιδεύουν σε όλη την Γη μέσα σε στομάχια μεταναστευτικών πτηνών, και μπορούν να παρομοιαστούν με αεροπλάνα που μεταφέρουν ανθρώπους από χώρα σε χώρα [58]. Όσον αφορά στις τοξικές ιδιότητες των πλαστικών στα ζώα και στα πουλιά, διενεργήθηκε μια μελέτη, κατά την οποία τα θαλασσοπούλια θρέφονταν με μικροπλαστικά, που περιείχαν ένα επιβραδυντικό καύσης (Βλέπε παράγραφο 3.2) και τέσσερις σταθεροποιητές για την ακτινοβολία. Στο τέλος της μελέτης βρέθηκαν αυτές οι ουσίες συσσωρευμένες στα συκώτια των πουλιών. Η ίδια έρευνα μάλιστα μελέτησε και άλλα πουλιά που βρέθηκαν νεκρά και παρατηρήθηκε ότι αυτά που είχαν περισσότερα μικροπλαστικά στο στομάχι τους, είχαν ταυτόχρονα και την μεγαλύτερη συγκέντρωση τοξικών ουσιών στο συκώτι τους. Συμπερασματικά διαπιστώθηκε, ότι ένα κάποιο πλαστικό-μικροπλαστικό εισέλθει στο σώμα ενός οργανισμού, αποτελεί ταυτόχρονα και μια οδό έκθεσης του οργανισμού σε τοξικές ενώσεις [44].



Εικόνα 5.6 : Φωτογραφία νεκρού πουλιού που όπως φαίνεται και με γυμνό μάτι, υπάρχουν πολλά μικροπλαστικά στο στομάχι του. Το γεγονός αυτό μπορεί να είναι η πιθανή αιτία του θανάτου του. Η φωτογραφία τραβήχτηκε από τον Christopher Seufert [2].

### 5.5.3 Έπαρξη μικροπλαστικών στον άνθρωπο

Ένα από τα μεγαλύτερα ερωτήματα που τίθενται σχετικά με τα μικροπλαστικά, είναι αν συσσωρεύονται και στο ανθρώπινο σώμα, όπως στους χερσαίους και θαλάσσιους οργανισμούς, και τι επιπτώσεις προκαλούν. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα μικροπλαστικά εισέρχονται στο οργανισμό των ανθρώπων, όπως και στους περισσότερους οργανισμούς αυτή την στιγμή, τόσο μέσω της κατάποσης όσο και μέσω της αναπνοής. Η διαφορά όμως που υπάρχει με τους υπόλοιπους οργανισμούς είναι, ότι ο άνθρωπος προσλαμβάνει μικροπλαστικά στο σώμα ακούσια, σε σχέση με ένα οργανισμό που μπορεί να καταπιεί εκούσια [27, 58]. Σχετικές έρευνες έδειξαν, ότι ένας μέσος άνθρωπος καταπίνει περίπου 5 γραμμάρια μικροπλαστικών την εβδομάδα, δηλαδή 20 γραμμάρια τον μήνα ή 240 γραμμάρια τον χρόνο, και τελικά περίπου στα 20 κιλά στην διάρκεια της ζωής του (σε 83 έτη ζωής). Τα 20 κιλά μικροπλαστικών αντιστοιχούν σε μάζα από περίπου 1.640 πλαστικά

μπουκάλια, τα οποία θα καταποθούν ακούσια κατά τη διάρκεια της ζωής. Πώς όμως τα μικροπλαστικά εισέρχονται στο ανθρώπινο σώμα και ποιες μπορεί να είναι οι επιπτώσεις; [25, 58]

### 5.5.3.1 Πρόσληψη μικροπλαστικών από τον άνθρωπο

Η πρόσληψη μικροπλαστικών από τον άνθρωπο γενικότερα μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω των ακόλουθων τριών οδών [45, 58]: 1) μέσω της αναπνοής, 2) μέσω της κατάποσης και 3) μέσω της δερματικής επαφής (πίνακας 5.4).

Πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι για το μεγαλύτερο ποσοστό συγκέντρωσης μικροπλαστικών στο ανθρώπινο σώμα ευθύνεται κυρίως η κατάποση και η αναπνοή. Αρκετές βιβλιογραφικές πηγές αναφέρουν την ύπαρξη μικροπλαστικών σε έτοιμα γεύματα, σε συστατικά για την παρασκευή τροφίμων αλλά και στο πόσιμο νερό. Επίσης μικροπλαστικά έχουν βρεθεί και σε τρόφιμα όπως είναι το μέλι, το αλάτι, η μπίρα, αλλά και σε διάφορες κονσέρβες ρέγκας και σαρδέλας [58]. Η ποσότητα συσσώρευσης στον ανθρώπινο οργανισμό εξαρτάται από το ρυπαντικό φορτίο με μικροπλαστικά στον τόπο διαβίωσης, στην τροφή και στον εισπνεόμενο ατμοσφαιρικό αέρα. Για παράδειγμα, μελέτες που έχουν γίνει σε εργαζόμενους της κλωστοϋφαντουργικής βιομηχανίας, οι οποίοι έρχονταν σε στενή επαφή με νάιλον, πολυεστέρα και ακρυλικές ίνες στον αέρα, έδειξαν ότι εκτίθονταν σε υψηλότερες συγκεντρώσεις αερομεταφερόμενων μικροπλαστικών, σε σύγκριση με εργαζόμενους σε άλλα περιβάλλοντα εργασίας. Το ίδιο ισχύει και για περιοχές που αλιεύονται ψάρια που προορίζονται για βρώση. Η συσσώρευση μικροπλαστικών στο σώμα των ιχθύων είναι υψηλότερη όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός βιομηχανιών παραγωγής πλαστικών, ενδυμάτων και καθαρισμού υφασμάτων [58]. Η έκθεση των ανθρώπων σε μικροπλαστικά είναι δυναμική και εξαρτάται από τη σχέση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος με μικροπλαστικά προς την έκθεση του ανθρώπου σε αυτό. Αυτό σημαίνει ότι ακόμα και σε ανθρώπους που μπορεί να ζουν σε περιβάλλοντα με μεγάλη περιεκτικότητα σε μικροπλαστικά, δεν είναι βέβαιη η έκθεση τους σε αυτά ή η αφομοίωση στον οργανισμό τους είτε αυτή προέρχεται μέσω της αναπνοής είτε της κατάποσης μέσω τροφής ή νερού είτε της δερματικής επαφής. Οι επιστήμονες επίσης εικάζουν, ότι τα μικροπλαστικά με διάμετρο μεγαλύτερη από 150

μικρόμετρα πιθανώς δεν θα απορροφηθούν από τον ανθρώπινο οργανισμό, ενώ αυτά με μικρότερη των 150 μικρομέτρων διάμετρο μπορεί να μετατοπιστούν από την κοιλιακή χώρα μέσω του εντέρου στο λεμφικό και στο κυκλοφορικό σύστημα. Γενικότερα, όσον αφορά στην απορρόφηση αυτών των μικροπλαστικών εκτιμάται ότι είναι περιορισμένη, και υπολογίζεται μικρότερη του 0.3 %. Αναφέρεται σε δημοσιεύσεις, ότι μικροπλαστικά με διάμετρο μικρότερη των 20 μικρομέτρων θα μπορούσαν να διεισδύσουν στα εσωτερικά όργανα, ενώ αυτά με μικρότερη των 10 μικρομέτρων διάμετρο θα μπορούσαν να εισέλθουν σε όλα τα όργανα, στα κύτταρα, στο αίμα και στον πλακούντα [15, 25, 46, 47].

Πίνακα 5.4: Τρόποι πρόσληψης μικροπλαστικών από τον άνθρωπο και κάποια παραδείγματα [45, 46, 58].

Τρόποι πρόσληψης	Παραδείγματα πρόσληψης	Σύνηθες μέγεθος
Αναπνοή	Αστικά αερομεταφερόμενα σωματίδια, ίνες ρούχων, ελαστικά αυτοκινήτων	Μπορούν να κυμαίνονται από μερικά νανόμετρα (nm) έως αρκετά μικρόμετρα ( $\mu\text{m}$ )
Κατάποση	Κατάποση μέσω ρυπασμένων υδάτων, είτε πρόκειται για πόσιμα νερά δικτύου ύδρευσης, είτε εμφιαλωμένα νερά Κατάποση μέσω κατανάλωσης θαλασσινών (ψαριών και οστρακοειδών)(ενότητα 5.5.1.1 και εικόνα 7.2) είτε μέσω λαχανικών (ενότητα 5.5.2)	Μπορούν να κυμαίνονται από μερικά μικρόμετρα ( $\mu\text{m}$ ) μέχρι και μερικά χιλιοστά (cm)
	Κυρίως μέσω επαφής με προϊόντα περιποίησης όπως	

Δερματική επαφή	καλλυντικά, σαμπουάν και σαπούνια απολέπισης Επίσης μέσω επαφής με ρυπασμένο νερό είτε μέσω του αέρα	10 (μm)-1 (mm)
-----------------	---	----------------

### 5.5.3.2 Πιθανές επιπτώσεις στην υγεία

Παρά το γεγονός ότι οι συγκεντρώσεις μικροπλαστικών στο περιβάλλον είναι ακόμα χαμηλές, υπάρχουν άλλοι τοξικοί ρύποι σε υψηλές συγκεντρώσεις που καθιστούν δύσκολη τη διάκριση των επιπτώσεων των μικροπλαστικών. Μεταξύ άλλων θεωρείται ότι η εισπνοή μικροπλαστικών από τον αέρα μπορεί να επηρεάσει την υγεία, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με άλλους αέριους και σωματιδιακούς ρύπους [45, 58]. Αν και έχει διαπιστωθεί η παρουσία μικροπλαστικών σε τρόφιμα, δεν έχει ακόμα διερευνηθεί πλήρως ο τρόπος δράσης τους στο ανθρώπινο σώμα. Παρόλο που οι συνέπειες της κατανάλωσης πλαστικών παραμένουν ακόμα ασαφείς, όπως προαναφέρθηκε, τα πλαστικά περιέχουν συχνά χημικές πρόσθετες ουσίες, όπως σταθεροποιητές ή επιβραδυντικά φλόγας, που μπορεί να είναι τοξικές. Τα ακριβή όρια των συγκεντρώσεων αυτών των ουσιών που μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στην υγεία παραμένουν ακόμα άγνωστα [45].

Παρόλα αυτά όμως τα μικροπλαστικά από την στιγμή που μπορούν να βλάψουν με διάφορους τρόπους τα ζώα, θεωρείται σχεδόν σίγουρο ότι βλάπτουν και τον ανθρώπινο οργανισμό. Η μέτρηση των πιθανών επιπτώσεων είναι σαφώς πιο δύσκολη, διότι ένας ανθρώπινος οργανισμός δεν τρέφεται σκόπιμα με πλαστικά, όπως θα μπορούσε να συμβεί για παράδειγμα σε ένα ψάρι [46].

Η έκθεση των ανθρώπων σε μικροπλαστικά μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ανθρώπινη υγεία λόγω τριών βασικών παραγόντων. Ο ένας οφείλεται στο μικρό μέγεθος των μικροπλαστικών, που εισέρχονται στο οργανισμό και μπορούν να διεισδύσουν σε εσωτερικά όργανα και ιστούς. Ο δεύτερος λόγος αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία βασίζεται στην τοξικότητα των προσθέτων χημικών ενώσεων που περιέχονται στα μικροπλαστικά είτε από

την παρασκευή τους είτε λόγω προσρόφησης κατά την παρουσία τους σε ρυπασμένα περιβάλλοντα. Ο τρίτος παράγοντας οφείλεται στους δυνητικά παθογόνους μικροοργανισμούς που αποικιών την επιφάνεια των μικροπλαστικών, μεταφέροντας τους κατά την πρόσληψη μέσα στον ανθρώπινο σώμα [58].

Σε εργαστηριακές μελέτες αποδείχτηκε ότι εγκεφαλικά και επιθηλιακά ανθρώπινα κύτταρα μπορεί να προσβληθούν από μικροπλαστικά (με διάμετρο 10 μικρόμετρα) και νανοπλαστικά (με διάμετρο 40 - 250 νανόμετρα) και να προκαλέσουν κυτταροτοξικές επιδράσεις και οξειδωτικό στρες σε επίπεδο κυττάρου. Τα αποτελέσματα αυτά ενισχύουν τις επιστημονικές εικασίες σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις των μικροπλαστικών και νανοπλαστικών στην ανθρώπινη υγεία [46, 58]. Όπως προαναφέρθηκε και στην ενότητα (5.5.3.1), τα μικροπλαστικά είναι πολύ εύκολο να βρουν δίοδο μέσω του αναπνευστικού συστήματος [45]. Μια μελέτη σε πνεύμονες που πραγματοποιήθηκε στο πανεπιστήμιο του Hull στο Ηνωμένο Βασίλειο, έδειξε πόσο επικίνδυνα μπορεί να είναι τα αερομεταφερόμενα μικροπλαστικά σωματίδια για την ανθρώπινη υγεία. Ενώ οι επιστήμονες υπέθεταν ότι να βρουν μόνο πλαστικές ίνες στους πνεύμονες ασθενών που χειρουργήθηκαν, έμειναν έκπληκτοι όταν βρήκαν επίσης μεγάλο αριθμό μικροπλαστικών, διαφόρων σχημάτων και μεγεθών ενσωματωμένων βαθιά στον ιστό των πνευμόνων. Μια από αυτές τις ίνες είχε μήκος μέχρι και 2 χιλιοστά [46]. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, υπάρχουν ενώσεις στα μικροπλαστικά, οι οποίες είναι τοξικές, είτε πρόκειται για πρόσθετες ουσίες κατά την παραγωγή των πλαστικών, είτε για ουσίες που έχουν προσροφηθεί από ρυπασμένα περιβάλλοντα. Είναι επίσης γνωστό ότι αυτές οι ουσίες μπορούν να προκαλέσουν πολλές επιπτώσεις στην υγεία, όπως ερεθισμό των πνευμόνων, ζάλη, πονοκεφάλους, άσθμα και καρκίνο, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι αυτές τις ασθένειες τις προκάλεσαν τα αποκλειστικά τα μικροπλαστικά και οι τοξικές ενώσεις που περιέχουν αυτά. Παρόλα αυτά η παρουσία τους στο εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος, όπως π.χ. στον ιστό των πνευμόνων, αποτελεί έναν ανησυχητικό παράγοντα που απαιτεί περαιτέρω έρευνα [46].

Έρευνες επίσης απέδειξαν, ότι υπάρχουν μικροπλαστικά και σε άλλα μέρη του σώματος, όπως στα κόπρανα, στον πλακούντα αγέννητων μωρών, αλλά και μια πρόσφατη μελέτη του Vethaak και των συνάδελφων του βρήκε πλαστικά στο αίμα 17 από συνολικά 22 υγιείς αιμοδότες που εξετάστηκαν [46]. Η ύπαρξη των μικροπλαστικών στο αίμα δεν ήταν σαφές, αν προερχόταν από την εισπνοή ή την κατάποση αυτών [46, 47]. Επίσης, δεν ήταν



σαφές αν τα σωματίδια μπορούσαν να περάσουν από το αίμα σε άλλα όργανα, ιδιαίτερα στον εγκέφαλο, ο οποίος προστατεύεται από ένα μοναδικό πυκνό δίκτυο κυττάρων [46,47]. Όπως προαναφέρθηκε, δυνητικά παθογόνοι μικροοργανισμοί δημιουργούν υμένες επάνω στις επιφάνειες των μικροπλαστικών. Έχει αποδειχθεί ότι ένας μικρός αριθμός μικροπλαστικών, επικαλυμμένος με παθογόνα μικρόβια υψηλής μολυσματικότητας, θα μπορούσε να έχει πολύ υψηλότερη αρνητική επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία, σε σύγκριση με άλλα πολλά περισσότερα, «καθαρά» μικροπλαστικά με μικρότερο φορτίο παθογόνων μικροοργανισμών [58, 47].

## **5.6 Τρόποι απομόνωσης και χαρακτηρισμού μικροπλαστικών**

Στις προηγούμενες παραγράφους αναφέρθηκαν τα κύρια χαρακτηριστικά ταξινόμησης των μικροπλαστικών που αφορούσαν στο μέγεθος τους (βλέπε ενότητα 5.1 και πίνακα 5.1), στη μορφολογία με βάση το σχήμα τους (βλέπε ενότητα 5.3) και στις επιδράσεις τους στο περιβάλλον. Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον αξιολογήθηκαν εξετάζοντας είτε την ύπαρξη πρόσθετων ή προσροφημένων ουσιών που μπορεί να περιέχουν, είτε την παρουσία μικροπλαστικών σε εσωτερικά όργανα ζώντων οργανισμών, είτε τη συσσώρευση αυτών στην τροφική αλυσίδα (βλέπε ενότητα 5.5). Στις επόμενες ενότητες θα παρουσιαστεί η μεθοδολογία για την ορθή συλλογή και απομόνωση τους από το περιβάλλον, η μεθοδολογία διαχωρισμού τους από άλλα φερτά υλικά που μπορεί να περιέχει το εκάστοτε περιβαλλοντικό δείγμα, καθώς και η μεθοδολογία προσδιορισμού των χαρακτηριστικών τους, παρόλο που το μικρό τους μέγεθος δυσκολεύει συχνά αυτές τις πειραματικές διαδικασίες [33].

### **5.6.1 Μέθοδοι δειγματοληψίας**

Η συλλογή μικροπλαστικών από περιβαλλοντικά δείγματα, ο διαχωρισμός αυτών, η ανάλυση και ο χαρακτηρισμός τους μπορούν να πραγματοποιηθούν με τη βοήθεια πολλών

διαφορετικών μεθόδων, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.7. Οι κύριες μέθοδοι δειγματοληψίας είναι τρεις, η φυσική, η χημική και η βιολογική μέθοδος δειγματοληψίας.

Κατά τη φυσική μέθοδο δειγματοληψίας (πίνακας 5.5), ο διαχωρισμός των μικροπλαστικών πραγματοποιείται με την χρήση δύο κύριων μεθόδων: α) με κοσκίνισμα ή με διήθηση και β) με διαλογή με επίπλευση, η οποία βασίζεται στη διαφορά της πυκνότητας του μέσου σε σχέση με εκείνη των μικροπλαστικών. (Αυτές οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν και κατά την παρούσα πτυχιακή εργασία. Η διαλογή με επίπλευση και το κοσκίνισμα είναι απλοί, οικονομικοί και αποτελεσματικοί τρόποι για να αφαιρεθούν τα ανεπιθύμητα υλικά, όπως για παράδειγμα η φυτική ύλη, η άμμος, οι πέτρες και η οργανική ύλη, και να συλλεχθούν τα μικροπλαστικά σε καθαρή μορφή. Αυτή η διαδικασία απαιτεί χειροκίνητη επεξεργασία και προσοχή. Όταν εφαρμόζεται η μέθοδος διαχωρισμού λόγω της διαφοράς της πυκνότητας, τα μικροπλαστικά αφαιρούνται με βάση τη διαφορά της πυκνότητά τους σε σύγκριση με το μέσο στο οποίο βρίσκονται. Στις περιπτώσεις που το δείγμα συλλέγεται από γλυκό νερό συνίσταται η προσθήκη ενός άλατος με σκοπό την αύξηση της πυκνότητας του μέσου. Αυτό επιτρέπει στα ελαφρύτερα πλαστικά να επιπλεύσουν. Το χλωριούχο νάτριο (NaCl) είναι συνήθως το συνιστώμενο άλας για αυτήν τη διαδικασία [33, 48].

Πίνακας 5.5 : Σημαντικές πληροφορίες για τις φυσικές μεθόδους δειγματοληψίας και διαχωρισμού μικροπλαστικών [33, 48].

Μέθοδοι δειγματοληψίας και διαχωρισμού	Σημαντικές πληροφορίες για τη μέθοδο	Εύρος μεγεθών που μπορούν να συλληθούν
<b>Κοσκίνισμα</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Είναι η κύρια μέθοδος διαχωρισμού μικροπλαστικών από δείγματα υδάτων και λεπτόκοκκων εδαφών</li> <li>• χρησιμοποιούνται διαφορετικές διάμετροι πόρων για τον κλασματικό διαχωρισμό</li> <li>• Το νερό διηθείται και ότι παραμένει στην επιφάνεια συλλέγεται και διαχωρίζεται</li> </ul>	<p>Το μέγεθος των μικροπλαστικών καθορίζεται από τη διάμετρο των πόρων που έχουν οι διαφορετικοί τύποι κόσκινων</p> <p>Διάμετρος πόρων : 0,2 μm, 80 μm, 335 μm, 1 mm, 5 mm</p>
<b>Διήθηση</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μέθοδος διαχωρισμού μικροπλαστικών από υγρό δείγμα με την χρήση διηθητικών χαρτιών, τα οποία είναι διαπερατά μόνο για το νερό</li> <li>• Η διήθηση πραγματοποιείται συνήθως με τη μέθοδο κενού αέρος</li> <li>• Απαιτούνται χοάνη και μεμβράνη φίλτρου</li> </ul>	<p>Το μέγεθος των μικροπλαστικών καθορίζεται από τη διάμετρο των πόρων του διηθητικού χαρτιού</p> <p>Διάμετρος πόρων : 0,7 μm, 0,22 μm, 11 μm, 10 μm, 5 μm</p>
<b>Οπτική ταξινόμηση</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μια από τις παλαιότερες μεθόδους διαχωρισμού των μικροπλαστικών από στερεά υλικά, όπως φύκια, ξύλα, πέτρες κ.ά.</li> </ul>	<p>Το μέγεθος των μικροπλαστικών που μπορεί να συλληθεί είναι:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πραγματοποιείται είτε με γυμνό μάτι, είτε με οπτική μικροσκοπία με την βοήθεια λαβίδων για τη διαλογή</li> </ul>	10 $\mu\text{m}$ - 5 mm
<b>Διαχωρισμός λόγω πυκνότητας</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χρησιμοποιείται συνήθως για το διαχωρισμό μικροπλαστικών από ιζήματα</li> <li>• Χρησιμοποιήθηκε κατά την παρούσα πτυχιακή για το διαχωρισμό των μικροπλαστικών από την άμμο</li> <li>• Μετά από αυτό το διαχωρισμό μπορούν να ακολουθήσουν όλοι οι υπόλοιποι</li> </ul>	Το εύρος των μεγεθών των προς συλλογή μικροπλαστικών είναι ιδιαίτερα ευρύ:  0,2 $\mu\text{m}$ – 5 cm

Κατά τη διάρκεια μιας δειγματοληψίας ή διαχωρισμού μικροπλαστικών από περιβαλλοντικά δείγματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότερες από μόνο μια από τις μεθόδους δειγματοληψίας που αναφερθήκαν στον πίνακα 5.5. Ανάλογα με το εύρος των μεγεθών των μικροπλαστικών που θα πρέπει να μελετηθούν και το περιβάλλον που βρίσκονται, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και όλες οι αναφερόμενες μέθοδοι εν σειρά. Για παράδειγμα, ένα πείραμα μπορεί να ξεκινήσει με την χρήση του διαχωρισμού πυκνότητας των μικροπλαστικών, επειδή βρίσκονται μέσα σε ίζημα και έπειτα, αφού πραγματοποιηθεί μια οπτική ταξινόμηση, να εφαρμοστεί η μέθοδος της διήθησης για καλύτερα αποτελέσματα [33].

Στην περίπτωση της χημικής μεθόδου δειγματοληψίας για την ακριβή ανάλυση και χαρακτηρισμό των μικροπλαστικών σε υδάτινα δείγματα, είναι πολύ σημαντικό να προηγείται μια προεπεξεργασία, κατά την οποία θα απομακρύνονται πιθανά οργανικά υλικά που υπάρχουν στο περιβαλλοντικό δείγμα (βλέπε πίνακα 5.5). Η χημική δειγματοληψία μπορεί να περιλαμβάνει όξινη (με οξέα  $\text{HNO}_3$  και  $\text{HCl}$ ) ή αλκαλική (με βάσεις  $\text{KOH}$  ή  $\text{NaOH}$ ) χώνευση ή και οξειδωση με οξειδωτικές ενώσεις, όπως με  $\text{H}_2\text{O}_2$  (Εικόνα 5.7).

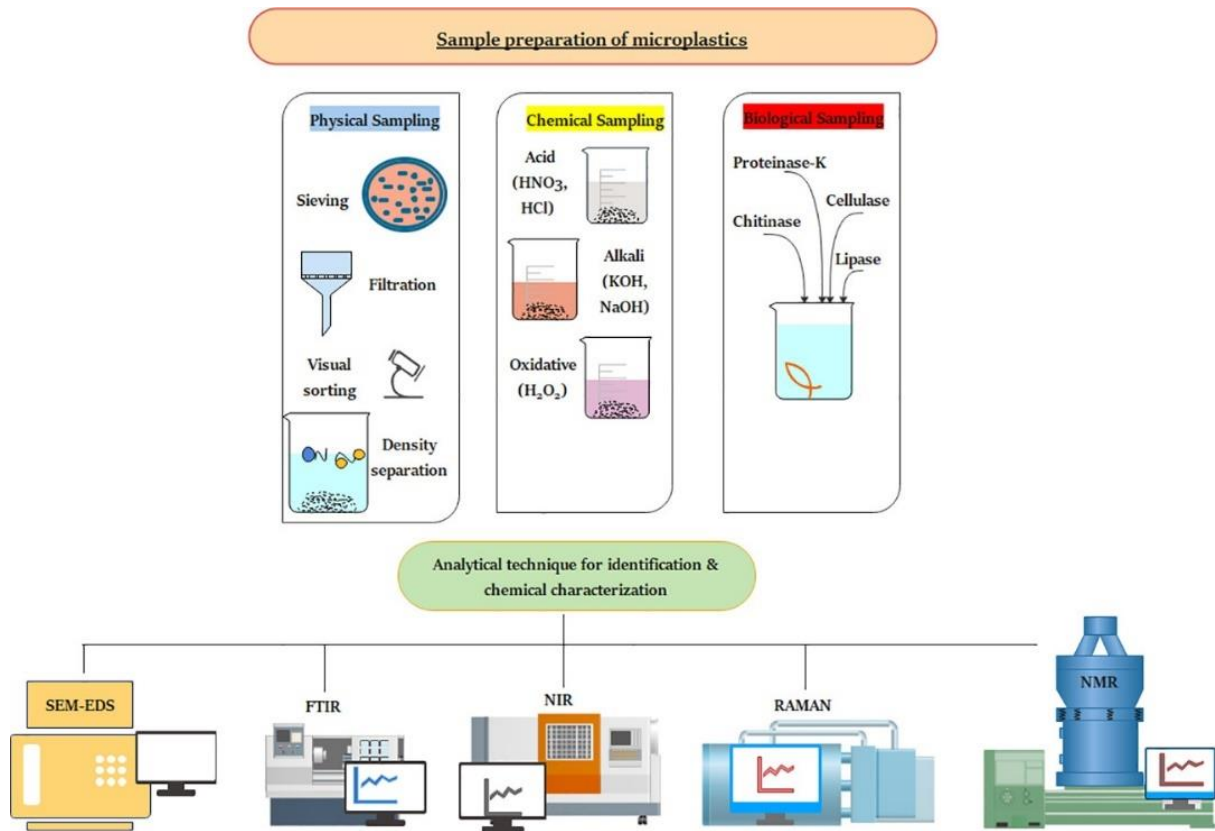
Τα μικροπλαστικά μπορεί επίσης να είναι ενσωματωμένα σε βιολογικούς ιστούς, καθιστώντας την ανίχνευσή τους πιο δύσκολη. Σε αυτή την περίπτωση η προεπεξεργασία απαιτεί μια βιολογική μέθοδο πέψης που θα διαλύει τα οργανικά υλικά χωρίς να επηρεάζει τη δομή ή τη χημική σύσταση των μικροπλαστικών σωματιδίων. Η βιολογική πέψη πραγματοποιείται με ένζυμα, όπως για παράδειγμα με πρωτεϊνάσες, λιπάσες, κυτταρινάσες, χιτινάσες και άλλα ένζυμα (Εικόνα 5.7).

Ανεξάρτητα του μεθόδου δειγματοληψίας θα πρέπει να διασφαλίζεται η αποφυγή επιμόλυνσης των δειγμάτων με μικροπλαστικά που προέρχονται από το αναλυτικό εργαστήριο, όπως για παράδειγμα από κάποιο σκεύος, αναλώσιμο (γάντι, βαμβάκι) ή ρούχο ερευνητή [33, 48].

### 5.6.2 Αναλυτικές τεχνικές ταυτοποίησης μικροπλαστικών

Η διαδικασία ταυτοποίησης και ανίχνευσης μικροπλαστικών μετά τη δειγματοληψία είναι περίπλοκη, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.7. Καθορίζει εάν το σωματίδιο πράγματι είναι μικροπλαστικό ή αν απλώς φαίνεται ως ένα από αυτά. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω διάφορων τεχνικών μικροσκόπησης ή φασματοσκοπίας υψηλής ανάλυσης και ακρίβειας, όπως είναι το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης με φασματόμετρο ενεργειακής διασποράς ακτίνων Χ (SEM-EDS, Scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectroscopy) και η φασματοφωτομετρία υπερύθρου με μετασχηματισμό Fourier (FTIR, (Fourier transformed infrared spectroscopy), η φασματοφωτομετρία εγγύς υπερύθρου (NIR, Near-infrared spectroscopy), η φασματοσκοπία Ράμαν (Raman spectroscopy) και ο πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός (NMR, Nuclear magnetic resonance). Το μικροσκόπιο SEM-EDS παρέχει πληροφορίες σχετικές με την επιφάνεια του μικροπλαστικού και την παρουσία πρόσθετων επικαθίσεων. Οι φασματοσκοπίες FTIR και Raman προσφέρουν ακριβή χημικό χαρακτηρισμό, αλληλοεπιδρώντας με την ακτινοβολία. Η φασματοσκοπία FTIR μπορεί να αναλύει σωματίδια με διάμετρο έως 20  $\mu\text{m}$ , ενώ η φασματοσκοπία Raman αναλύει μικρότερα σωματίδια με διάμετρο 1  $\mu\text{m}$ . Η φασματοσκοπία NIR και η ανάλυση με φασματοσκοπία NMR ανιχνεύουν μικροπλαστικά χωρίς προηγούμενη κατεργασία, ενώ η φασματοσκοπία NIR μπορεί να ανιχνεύσει μικροπλαστικά διαμέτρου έως 1 mm σε

περιβαλλοντικά δείγματα. Τέλος η φασματοσκοπία NMR παρέχει ποσοτική πληροφορία για τα μικροπλαστικά που υπάρχουν στο δείγμα [33, 48].



Εικόνα 5.7: Μέθοδοι δειγματοληψίας, και ταυτοποίησης και χημικού χαρακτηρισμού των μικροπλαστικών σε περιβαλλοντικά δείγματα με διάφορες αναλυτικές τεχνικές που επεξηγούνται στις ενότητες 5.6.1 και 5.6.2 [33].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

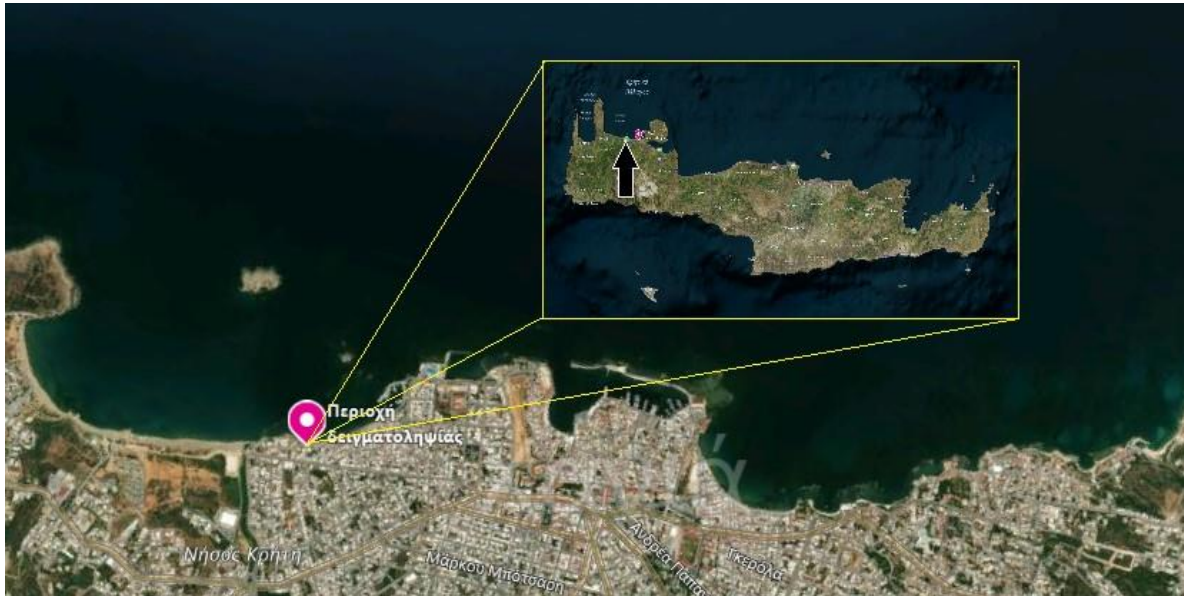
#### 6.1 Σκοπός του πειράματος

Όπως προαναφέρθηκε, σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν μέσω απλών μεθόδων δειγματοληψίας και ταυτοποίησης των μικροπλαστικών να αναδειχθεί πόσο σημαντικό και μείζον είναι το περιβαλλοντικό πρόβλημα της ύπαρξης μικροπλαστικών κυρίως σε παράκτιες περιοχές. Η πειραματική διαδικασία περιελάβανε την εβδομαδιαία δειγματοληψία, καθαρισμό, ζύγιση, ξήρανση, καταμέτρηση και σχηματική απεικόνιση της ποσότητας των μικροπλαστικών που συλλέγονταν σε μια αμμώδη παραλία. Στη συνέχεια υπολογιζόταν η συχνότητα ανανέωσης υπολογίζοντας τη συγκέντρωση των μικροπλαστικών ως προς τη μάζα και το όγκο της άμμου σε μονάδες γραμμάρια μικροπλαστικών ανά λίτρο υγρής άμμου (g/L) ή γραμμάρια μικροπλαστικών ανά γραμμάριο ξηρής άμμου (g/g). Συμπληρωματικά πραγματοποιούνταν η στατιστική διαφοροποίηση των μικροπλαστικών με βάση τη μορφή εξετάζοντας και καταγράφοντας τις διαστάσεις, το χρώμα και το σχήμα τους. Παρόλο που μεγάλο μέρος της πειραματικής διαδικασίας συλλογής και χαρακτηρισμού των μικροπλαστικών εκτελέστηκε με συγκριτικά απλό εξοπλισμό, απαιτούσε προσεκτικό και ακριβή χειρισμό για μεγάλη χρονική περίοδο.

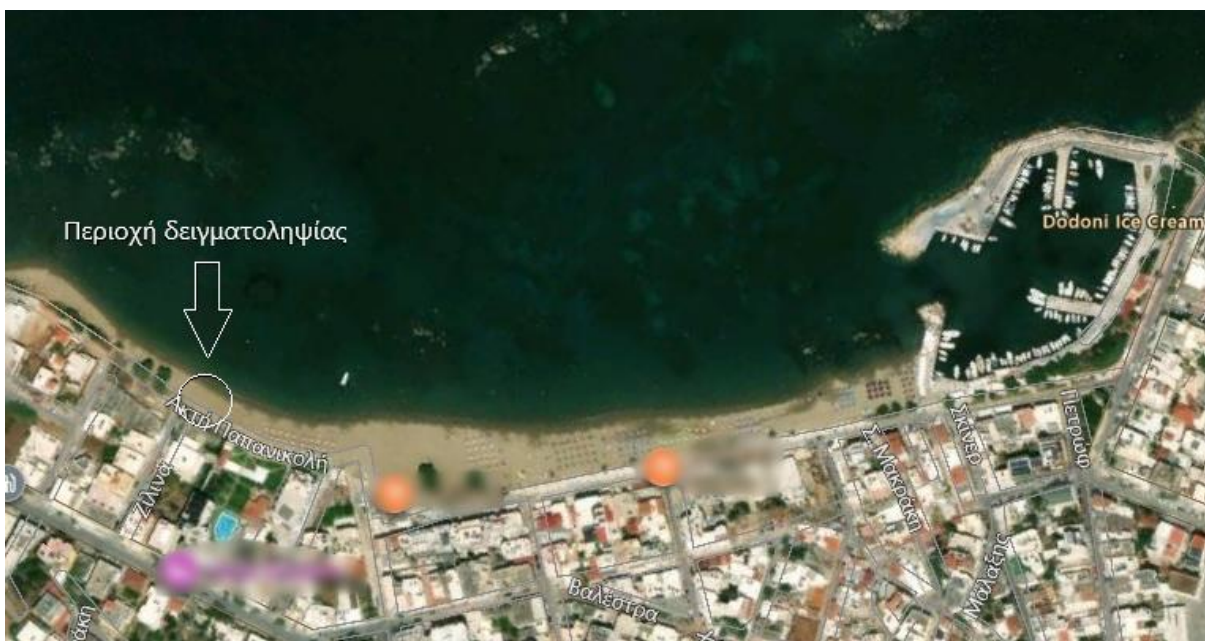
#### 6.2 Περιοχή δειγματοληψίας

Το μέρος όπου έλαβαν χώρα οι δειγματοληψίες, ήταν η παράκτια ζώνη της δυτικής πλευράς της αμμώδους παραλίας στην περιοχή Νέα Χώρα στη πόλη των Χανίων της Κρήτης (όπως φαίνεται και στις εικόνες 6.1 και 6.2). Οι δειγματοληψίες διενεργήθηκαν την άνοιξη (Μάρτιο – Μάιο), το καλοκαίρι (Ιούνιος) και το φθινόπωρο (Σεπτέμβριος – Οκτώβριος) του έτους 2022. Μετά την ολοκλήρωση των δειγματοληψιών, την πλύση των δειγμάτων και το διαχωρισμό των μικροπλαστικών, όπως αναφέρονται αναλυτικά στις ενότητες 6.5 και 6.6, τα δείγματα άμμου και μικροπλαστικών μεταφέρονταν για ξήρανση και περαιτέρω επεξεργασία στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Τεχνολογιών και Εφαρμογών του Τμήματος

Ηλεκτρονικών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου (ΕΛΜΕΠΑ) στα Χανιά. Στις παρακάτω εικόνες 6.1 και 6.2 απεικονίζεται η γεωγραφική θέση του σημείου δειγματοληψίας στην πόλη των Χανίων και στο νησί Κρήτη.



Εικόνα 6.1 : Σημείο δειγματοληψίας στην περιοχή Νέα Χώρα στην πόλη των Χανίων (ροζ σήμανση στο λεπτομερή χάρτη της πόλης) και στο νησί της Κρήτης (μαύρο βέλος στο χάρτη της Κρήτης) (Χάρτες από το πρόγραμμα Google Earth).





Εικόνα 6.2 Γεωγραφική θέση του σημείου δειγματοληψίας άμμου και μικροπλαστικών στην Δυτική πλευρά της παραλίας Νέας Χώρας στην πόλη των Χανίων(Χάρτης από το πρόγραμμα Google Earth).

### 6.3 Υλικά και εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε κατά την πειραματική διαδικασία, ήταν ο ακόλουθος:

- Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στο σημείο δειγματοληψίας (εκτός εργαστηρίου)

1. Δοχείο δειγματοληψίας άμμου βαθμονομημένο σε λίτρα (10 L)
2. Δοχείο μεταφοράς
3. Μεταλλικό κόσκινο
4. Δοχείο νερού χωρητικότητας 30 L

- Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο

1. Κάψες ή αλουμινόχαρτο ξήρανσης
2. Αναλυτικός ζυγός ακρίβειας 3 δεκαδικών μετά το κόμμα
3. Φούρνος ξήρανσης
4. Ξηραντήρας κενού με ξηραντικό υλικό τη ρητίνη διοξείδιο του πυριτίου (silica gel)
5. Εργαστηριακή λαβίδα
6. Δοχεία μεταφοράς
7. Ογκομετρικοί κύλινδροι
8. Ποτήρια ζέσεως
9. Αναλυτικός χάρακας μέτρησης

#### **6.4 Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν κατά το πειραματικό μέρος**

Όπως προαναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφος 5.6), η μέθοδος δειγματοληψίας που εφαρμόστηκε κατά κύριο λόγο στο πείραμα, είναι μια φυσική μέθοδος. Ο διαχωρισμός των πλαστικών από την άμμο και το θαλασσινό νερό βασίστηκε στη διαφορά της πυκνότητας των μικροπλαστικών σε σχέση με την πυκνότητα του νερού και της άμμου με αποτέλεσμα τα πλαστικά να επιπλέουν στην επιφάνεια του νερού. Με αυτό τον τρόπο μπορούσαν με μία σίτα κοσκίνισματος να συλλέγονται τα μικροπλαστικά από τα δείγματα άμμου και νερού. Στη συνέχεια ακολουθούσε ο οπτικός διαχωρισμός των μικροπλαστικών με την βοήθεια μιας εργαστηριακής τσιμπίδας (βλέπε παράγραφο 5.6.1) από ανεπιθύμητα υλικά που συλλέγονταν μαζί, όπως φυτική ύλη, άμμος, πέτρες και άλλα υλικά. Ταυτόχρονα γινόταν η ταξινόμηση των μικροπλαστικών σε τύπους με βάση τη μορφολογική τους περιγραφή (βλέπε παράγραφο 5.3). Αυτή η διαδικασία απαιτούσε χειροκίνητη επεξεργασία και μεγάλη προσοχή. Η οπτική διαλογή και το κοσκίνισμα είναι απλοί, οικονομικοί και αποτελεσματικοί τρόποι διαλογής των πλαστικών.

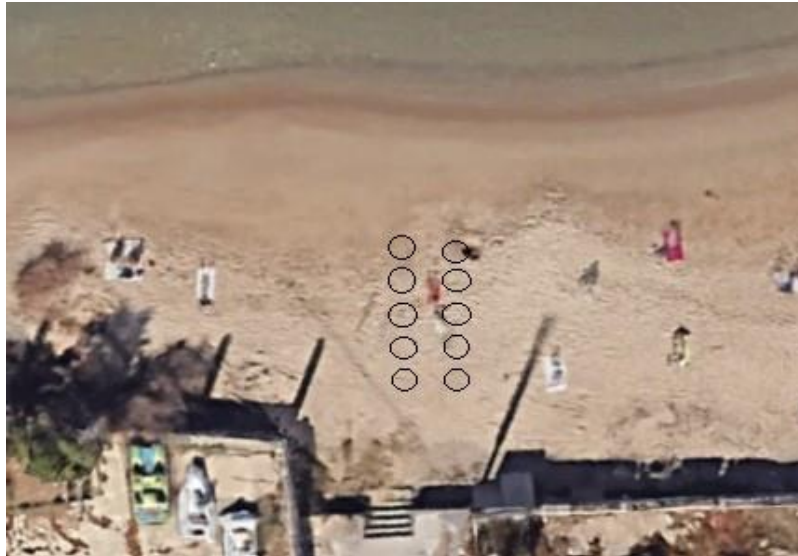
#### **6.5 Πειραματική διαδικασία συλλογής, καθαρισμού και ξήρανσης της άμμου**

Η πειραματική διαδικασία ξήρανσης της καθαρής άμμου της παράκτιας ζώνης στο σημείο δειγματοληψίας είχε ως στόχο τον υπολογισμό της πυκνότητας της ξηρής άμμου και κατ' επέκταση τον υπολογισμό α) της σχέσης της υγρής μάζας της άμμου προς τη ξηρή μάζα της άμμου και β) της σχέσης του υγρού όγκου της άμμου προς τη ξηρή μάζα της άμμου.

##### Αναλυτική πειραματική διαδικασία:

- Άφιξη στην παράκτια ζώνη, όπου γινόταν η δειγματοληψία
- Επιλογή του κατάλληλου σημείου δειγματοληψίας
- Για την ορθή δειγματοληψία της άμμου, η οποία συλλέχθηκε, προερχόταν από μια ακολουθία πολλών και τυχαίων σημείων από την κορυφή της παραλίας μέχρι την παράκτια άκρη της, όπου συνόρευε με το θαλασσινό νερό. Στην εικόνα 6.3

απεικονίζεται ένα παράδειγμα επιλογής των σημείων της δειγματοληψίας της άμμου για την καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας.



Εικόνα 6.3 Γεωγραφική απεικόνιση των σημείων δειγματοληψίας. Οι μαύροι κύκλοι απεικονίζουν τα τυχαία σημεία δειγματοληψίας της άμμου. Η φωτογραφία είναι από την εφαρμογή google earth.

- Από κάθε σημείο δειγματοληψίας (όπως φαίνεται και στην εικόνα 6.3) συλλέχθηκαν με προσοχή 100 ml άμμου από 10 διαφορετικά σημεία δειγματοληψίας. Συνολικά συλλέχθηκαν 1.000 ml (1 L) υγρής άμμου ανά ημερομηνία δειγματοληψίας.

*Από τα δείγματα αφαιρέθηκαν τα μεγάλου όγκου αντικείμενα όπως*

- Φύλλα
  - Κλαδιά
  - Μεγάλου όγκου πλαστικά
  - Χαρτικά είδη
  - Φύκια και άλλα βιολογικής προέλευσης αντικείμενα, τα οποία έχουν ξεβραστεί από την θάλασσα
- Προσωρινή αποθήκευση σε δοχείο μεταφοράς από το σημείο δειγματοληψίας στο σημείο επεξεργασίας της άμμου

- Πριν ξηρανθεί η άμμος πλένεται εντατικά περίπου 10 φορές, με καθαρό πόσιμο νερό, έτσι ώστε να απομακρυνθούν επιπλέοντα αντικείμενα και σωματίδια μικρού όγκου, όπως φύκια, οργανική ύλη και άλλα
- Αφήνεται για 24 ώρες στο δοχείο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, έτσι ώστε να εξατμιστεί μια μεγάλη ποσότητα υγρασίας
- Μετά από 24 ώρες ξήρανσης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος το δείγμα άμμου μεταφέρεται στο εργαστήριο για να προσδιοριστεί η πυκνότητα της υγρής και της ξηρής άμμου. Η άμμος μοιράζεται σε κάψες ξήρανσης, των οποίων η ξηρή μάζα έχει προσδιοριστεί προηγουμένως με ζύγιση μετά από 24ώρη ξήρανση στους 103 °C και επακόλουθη ψύξη σε θερμοκρασία δωματίου σε ξηραντήρα κενού, ο οποίος περιείχε ξηραντικό υλικό.

*(Αυτό το βήμα προσδιορισμού της ξηρής μάζας των περιεκτών ξήρανσης της άμμου (κάψες ή όπως φαίνεται στις εικόνες 6.4 και 6.5 στην συγκεκριμένη περίπτωση αλουμινόχαρτο) ήταν απαραίτητο για την μείωση του σφάλματος κατά τη διάρκεια μέτρησης της ξηρής μάζας της άμμου).*

- Με την βοήθεια ενός ογκομετρικού κυλίνδρου μεταφέρθηκαν στους ξηραμένους και σηματοδοτημένους με επιγραφές περιέκτες (κάψες ή αλουμινόχαρτα) 40 ml άμμου, ζυγίστηκαν και προσδιορίστηκε η υγρή μάζα της άμμου όγκου 40 ml (Βλέπε εικόνα 6.4 και 6.5).



Εικόνες 6.4 και 6.5. Εργαστηριακή φωτογραφία των δειγμάτων υγρής άμμου πριν τοποθετηθούν σε φούρνο ξήρανσης για 24 ώρες (5 δείγματα των 40 ml το κάθενα).

- Ανά δειγματοληψία ξηράθηκαν 3 έως 5 δείγματα άμμου (εικόνες 6.4 και 6.5). Γενικότερα είναι γνωστό ότι για καλύτερη επαναληψιμότητα και πιο αξιόπιστη λήψη αποτελεσμάτων απαιτούνται τουλάχιστον 3 επαναλήψεις. Όσα περισσότερα δείγματα άμμου ίσου όγκου (40ml) επεξεργάστηκαν ανά δειγματοληψία τόσο μικρότερο ήταν το πειραματικό σφάλμα και πιο αξιόπιστο το αποτέλεσμα των μετρήσεων (μέσος όρος ξηρής μάζας άμμου ανά δειγματοληψία).
- Τα δείγματα άμμου τοποθετήθηκαν στη συνέχεια προσεκτικά στον φούρνο ξήρανσης για 24 ώρες στους 103 °C.
- Όταν ο χρόνος ξήρανσης παρήλθε, τοποθετήθηκαν απευθείας σε ξηραντήρα κενού, ο οποίος περιείχε ξηραντικό υλικό silica gel, για να ψυχθούν σε θερμοκρασία δωματίου για 30 περίπου λεπτά, ώστε να μην προσροφήσουν υγρασία από τον αέρα και να ψυχθούν σε θερμοκρασία δωματίου (βλέπε εικόνα 6.6 και 6.7).

*\*Ο προσδιορισμός της μάζας στο ζυγό πρέπει να γίνεται σε μια σταθερή θερμοκρασία και συνήθως αυτή είναι η θερμοκρασία δωματίου. Όταν τα δείγματα που πρόκειται να ζυγιστούν, έχουν*

υψηλότερη εκείνης του περιβαλλοντικού αέρα της θερμοκρασία, προσροφούν σταδιακά υγρασία και επηρεάζεται η ακρίβεια της μέτρησης στον αναλυτικό ζυγό.

- Μετά τη ψύξη τα ξηρά δείγματα ζυγίστηκαν σε αναλυτικό ζυγό για τον προσδιορισμό της μάζας της ξηρής πλέον άμμου. Παράλληλα μετρήθηκε και ο όγκος της ξηρής άμμου της.
- Η τελική τιμή της ξηρής μάζας της άμμου υπολογίστηκε μετά την αφαίρεση της ξηρής μάζας του εκάστοτε περιέκτη ανά δείγμα και στρογγυλοποιήθηκε σε ένα δεκαδικό μετά το κόμμα.
- Ακολουθεί ο ενδεικτικός πίνακας 6.1. μίας από τις πολλές ξηράνσεις άμμου που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Πίνακας 6.1 Ενδεικτικός πίνακας μιας δειγματοληψίας άμμου

a/a	Μάζα υγρής άμμου (g)	Όγκος υγρής άμμου (ml)	Μάζα ξηρής άμμου (g)	Όγκος ξηρής άμμου (ml)
<b>Δείγμα 1</b>	69,1	40	52,4	36
<b>Δείγμα 2</b>	65,1	40	51,4	35
<b>Δείγμα 3</b>	67,8	40	52,2	36
<b>Δείγμα 4</b>	67,3	40	52,6	36
<b>Δείγμα 5</b>	70,8	40	52,8	38
<b>Μ.Ο</b>	68,0	40	52,3	36,2
<b>Τυπική απόκλιση</b>	2,12		0,54	0,45

Ξηρή μάζα κάψας που αφαιρέθηκε από τη μάζα της άμμου: 44,8 g

Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε 21 φορές σε πέντε διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψιών, με σκοπό να υπολογιστεί η μέση ξηρή μάζα της άμμου που αντιστοιχεί σε

μα μέση τιμή υγρής μάζας καθαρής άμμου στο συγκεκριμένο σημείο δειγματοληψίας. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 7 (Βλέπε παράγραφο 7.1).



Εικόνα 6.6 και 6.7 : Εργαστηριακή φωτογραφία των ξηρών δειγμάτων άμμου τοποθετημένων μέσα σε ξηραντήρες κενού που περιέχουν ως ξηραντικό υλικό silica gel (δεν διακρίνεται, είναι τοποθετημένο στο κάτω μέρος του ξηραντήρα), με σκοπό να ψυχθούν σε θερμοκρασία δωματίου για να μπορούν να ζυγιστούν.

## 6.6 Πειραματική διαδικασία δειγματοληψίας, ξήρανσης και προσδιορισμού μάζας μικροπλαστικών

Αρχικά αναζητήθηκε η βέλτιστη μέθοδος συλλογής μικροπλαστικών από τα δείγματα της παράκτιας άμμου. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλο που αρχικά εξετάστηκε πειραματικά η δυνατότητα διαχωρισμού και συλλογής των μικροπλαστικών από την άμμο με διήθηση με

την χρήση κόσκινων συγκεκριμένης διαμέτρου (Βλέπε παράγραφο 5.6.1), το αποτέλεσμα δεν ήταν ικανοποιητικό. Τα προβλήματα αυτής της μεθοδολογίας ήταν τα εξής:

1) Η άμμος περιείχε και άλλα φερτά υλικά, όπως για παράδειγμα πέτρες, φύκια, ξύλα, μεγάλα πλαστικά και γόπες από τσιγάρα, που δυσκόλευαν τη διάκριση των μικροπλαστικών και ταυτόχρονα συσσωρεύονταν στην επιφάνεια συλλογής της σίτας του κόσκινου

2) Συχνά η άμμος δεν ήταν αρκετά ξηρή, ιδίως σε βάθος, και δεν μπορούσε να διηθηθεί εύκολα μέσα από τους πόρους της σίτας του κόσκινου. Αυτό δημιουργούσε σημαντική δυσκολία στη διαδικασία δειγματοληψίας, και σε ορισμένες περιπτώσεις η διήθηση της άμμου ήταν αδύνατη.

Έτσι μετά από μελέτη διαφορετικών μεθοδολογιών δειγματοληψίας μικροπλαστικών επιλέχθηκε η πειραματική μέθοδος που βασίζεται στη διαφορά της πυκνότητας της άμμου σε σχέση με την πυκνότητα των μικροπλαστικών, όπως προαναφέρθηκε και πιο πριν (βλέπε παράγραφο 6.4). Τα κυριότερα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου ήταν:

1) Ήταν σύντομη, απλή και ανεξάρτητα της κοκκομετρίας και της περιεκτικότητας της άμμου σε υγρασία μπορούσε να γίνει η δειγματοληψία

2) Τα μικροπλαστικά διαχωρίζονταν εύκολα από αντικείμενα, μεγαλύτερης πυκνότητας από αυτής του νερού παραδείγματος χάριν πέτρες, βότσαλα και άλλα που με τη μέθοδο του κοσκινίσματος συγκρατούνταν από τη σίτα. Έτσι γινόταν πιο γρήγορα η διαδικασία της συλλογής μικροπλαστικών κατά την ώρα που επικρατούσαν συνθήκες μεγάλης ακτινοβολίας ηλιακού φωτός και ταυτόχρονα γινόταν πιο ευδιάκριτη η ύπαρξη μικροπλαστικών. Μια παρόμοια δειγματοληψία ακολούθησε και το Πανεπιστήμιο Πατρών σε μια άσκηση πεδίου που ονομάστηκε ως το <<μεγάλο κυνήγι των μικροπλαστικών>> [59].

### **6.6.1 Σημείο δειγματοληψίας μικροπλαστικών**

Το σημείο δειγματοληψίας μικροπλαστικών στην παραλία και ήταν συγκεκριμένο και σταθερό. Όπως αναφέρθηκε ήδη και στην παράγραφο 6.2, η περιοχή δειγματοληψίας βρισκόταν στο δυτικό μέρος της παραλίας της Νέας Χώρας της πόλης των Χανίων. Παρόλο που αρχικά η έκταση δειγματοληψίας οριοθετήθηκε με κορδέλες, οι οποίες όμως ανάλογα



με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες όπως και την παρουσία λουόμενων στην παραλία κατά την καλοκαιρινή περίοδο υπήρχε πιθανότητα να αφαιρεθούν. Αυτό οδήγησε στην αναγκαιότητα εύρεσης ενός εναλλακτικού τρόπου οριοθέτησης της περιοχής δειγματοληψίας. Έτσι το σημείο δειγματοληψίας ορίστηκε σε απόσταση 15 μέτρων κάθετα προς την θάλασσα από μία σταθερή ξύλινη κολώνα ηλεκτρικής ενέργειας που υπήρχε στην παραλία. Σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας το σημείο οριοθετώνταν εκ νέου με βάση τις συντεταγμένες του σε σχέση με το σταθερό σημείο (κολώνα).

Η επιφάνεια δειγματοληψίας είχε διαστάσεις 60 cm x 80 cm και ανά ημερομηνία δειγματοληψίας συλλέγονταν ομοιόμορφα 20 L υγρής άμμου από το συνολικό εμβαδόν της επιφάνειας και φτάνοντας περίπου σε 4 cm βάθος με σκοπό τον έλεγχο της περιεκτικότητας της άμμου σε μικροπλαστικά. Η επιφάνεια και το σημείο δειγματοληψίας φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 6.8.



Εικόνα 6.8: Γεωγραφική απεικόνιση της ακριβούς τοποθεσίας του σημείου δειγματοληψίας και ο τρόπος εύρεσης του, κάθε φορά, σε σχέση με την κολώνα ηλεκτρικής ενέργειας.

1. Κολώνα ηλεκτρικής ενέργειας
2. Σημείο δειγματοληψίας σε ορθογώνιο σχήμα και διαστάσεις 60 cm x 80 cm
3. Απόσταση σημείου δειγματοληψίας από την κολώνα κάθετα προς την θάλασσα.

### 6.6.2 Αναλυτική πειραματική διαδικασία δειγματοληψίας, ξήρανσης και προσδιορισμού μάζας μικροπλαστικών

- Άφιξη στον χώρο δειγματοληψίας συνήθως πρωινές ώρες (7.00 – 9.00 π.μ.) λόγω των συνθηκών ηλιοφάνειας και υψηλών θερμοκρασιών. Αυτό το χρονικό πλαίσιο επιλέχθηκε επίσης για να ελαχιστοποιηθεί η παρουσία λουόμενων στην παραλία, κάτι που διευκόλυνε σημαντικά τη διαδικασία δειγματοληψίας.
- Οριοθέτηση του ακριβούς σημείου δειγματοληψίας, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, χρησιμοποιώντας μια μεζούρα (εικόνες 6.9 και 6.10).



Εικόνες 6.9 και 6.10: Απεικόνιση του σημείου δειγματοληψίας μετά την οριοθέτηση του.

- Για τον διαχωρισμό των μικροπλαστικών από την άμμο ακολουθήθηκε η διαδικασία που προαναφέρθηκε και περιεγράφηκε αναλυτικά στην ενότητα 6.5.
- Πλήρωση ενός κουβά έκπλυσης της άμμου όγκου 10 L με νερό, προτιμώντας θαλασσινό νερό όγκου 5 L (περίπου μέχρι τη μέση).

- Στη συνέχεια, με ένα βαθμονομημένο δοχείο, προσεκτική συλλογή 20 L άμμου από το σημείο δειγματοληψίας και σταδιακή εισαγωγή στον κουβά που περιείχε το νερό έκπλυσης.
- Η άμμος και οι πέτρες καθίζαναν στο νερό, ενώ τα μικροπλαστικά και άλλες οργανικές ύλες, λόγω της διαφοράς στην πυκνότητά τους σε σχέση με το νερό, επέπλεαν στην επιφάνεια του νερού.
- Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας ένα μεταλλικό κόσκινο διήθησης (σίτα), συλλογή μικροπλαστικών και οποιοδήποτε άλλου υλικού επέπλεε επί της επιφάνειας του νερού, όπως φαίνεται στις εικόνες 6.11 και 6.12.
- Όλα τα μικροπλαστικά συλλέγονταν και τοποθετούνταν σε ένα δοχείο μεταφοράς με σκοπό τη μετακίνηση τους στο μέρος, όπου διενεργόταν η περαιτέρω επεξεργασία τους.



Εικόνες 6.11 και 6.12. Απεικόνιση το τρόπου συλλογής των μικροπλαστικών και της οργανικής ύλης από την επιφάνεια του νερού έκπλυσης της άμμου. Στην αριστερή εικόνα φαίνεται καθαρά η ύπαρξη ενός μικροπλαστικού (επισημασμένο σε μαύρο κύκλο).

- Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνονταν μέχρι να ελεγχθεί όλο το σημείο δειγματοληψίας και να εξεταστούν τα συνολικά 20 λίτρα άμμου που συλλέγονταν ανά ημερομηνία δειγματοληψίας.
- Όλη η άμμος, μετά τον καθαρισμό της και τη συλλογή των μικροπλαστικών, από το σημείο επέστρεφε στην παραλία.
- Μετά από αυτή τη διαδικασία όλα τα συλλεχθέντα υλικά που επέπλεαν μαζί με τα μικροπλαστικά, τοποθετούνταν σε ένα δοχείο μεταφοράς για οπτικό διαχωρισμό από τα υπόλοιπα υλικά (π.χ. ξύλα, φύκια κ.ά.) και χαρακτηρισμό τους
- Μετά το διαχωρισμό τους τα μικροπλαστικά πλενότουσαν και μεταφέρονταν ξανά με δοχείο μεταφοράς στον εργαστηριακό χώρο, γράφοντας επάνω τους την ημερομηνία δειγματοληψίας (βλέπε εικόνες 6.13 και 6.14).



Εικόνες 6.13 και 6.14: Απεικόνιση των μικροπλαστικών αφού έχουν ξεπλυθεί, μετά τον οπτικό διαχωρισμό τους από την υπόλοιπη επιπλέουσα οργανική ύλη.

- Στη συνέχεια ακολουθούσε η ίδια διαδικασία ξήρανσης των μικροπλαστικών όπως και με την άμμο.

- Αφότου είχαν πρώτα ξηρανθεί οι κάψες ξήρανσης και υπολογιστεί η ξηρή μάζα τους, τοποθετούνταν μέσα τα δείγματα των μικροπλαστικών.
- Αρχικά ζυγίζονταν τα δείγματα των μικροπλαστικών και μετρίοταν η υγρή μάζα τους, η οποία σημειωνόταν ως υγρά μικροπλαστικά (Υ.Μ.)
- Έπειτα τοποθετούνταν τα δείγματα στο φούρνο ξήρανσης για 24 ώρες στους 103°C (βλέπε εικόνα 6.15).



Εικόνα 6.15: Απεικόνιση των μικροπλαστικών μέσα σε κάψες στον φούρνο ξήρανσης για 24 ώρες στους 103°C.

- Μετά το πέρας των 24 ωρών ξήρανσης, μεταφέρονταν τα δείγματα από τον φούρνο ξήρανσης μέσα σε ξηραντήρες κενού που περιείχαν silica gel σαν ξηραντικό υλικό για 30 min. έτσι ώστε να ψυχθούν σε θερμοκρασία δωματίου και να μην προσροφήσουν υγρασία (βλέπε εικόνα 6.16).



Εικόνα 6.16: Απεικόνιση των ξηραμένων μικροπλαστικών σε ξηραντήρα κενού, έτσι ώστε να ψυχθούν σε θερμοκρασία δωματίου πριν ζυγιστούν.

- Μετά από αυτό ζυγίζονταν ξανά (εικόνα 6.17) σε ζυγό ακριβείας και στη συνέχεια μετά από την αφαίρεση της ξηρής μάζας της εκάστοτε κάψας, υπολογιζόταν η καθαρή ξηρή μάζα των μικροπλαστικών. Η ξηρή μάζα σημειωνόταν στο δελτίο ως ξηρά μικροπλαστικά (Ξ.Μ.).



Εικόνα 6.17: Απεικόνιση μικροπλαστικών στο αναλυτικό ζυγό.

- Τέλος γινόταν η οπτική ταξινόμηση των μικροπλαστικών σε τύπους με βάση τη μορφολογική τους περιγραφή, και μετριοταν με ακρίβεια το μέγεθός καθενός συλλεχθέντος μικροπλαστικού με βάση τη μεγαλύτερη του διάσταση (εικόνες 6.18 και 6.19).



Εικόνες 6.18 και 6.19: Αριστερή φωτογραφία: Ταξινόμηση μικροπλαστικών με οπτικό διαχωρισμό των τύπων των μικροπλαστικών σε πλαστικόσφαιρες (αριστερό δείγμα) και θραύσματα (δεξιό δείγμα). Δεξιά φωτογραφία: Μέτρηση της μεγαλύτερης διάστασης και επίδειξη των διαφορετικών μεγεθών συλλεχθέντων μικροπλαστικών.

### 6.6.3 Σύνοψη παραμέτρων προσδιορισμού και χαρακτηρισμού συλλεχθέντων μικροπλαστικών

Οι παράμετροι που μετρήθηκαν, με τους οποίους χαρακτηρίστηκαν τα μικροπλαστικά, ήταν οι ακόλουθες:

1. Συγκέντρωση μάζας μικροπλαστικών εκφρασμένη σε γραμμάρια ξηρής μάζας ανά γραμμάριο και λίτρο ξηρής άμμου σε κάθε δειγματοληψία.
2. Αριθμητική συγκέντρωση μικροπλαστικών εκφρασμένη σε αριθμό μικροπλαστικών ανά γραμμάριο και λίτρο ξηρής άμμου σε κάθε δειγματοληψία
3. Ταξινόμηση των τύπων των μικροπλαστικών με βάση τη μορφολογία τους (διαχωρισμός ανά χρώμα, τύπο και μέγεθος).
4. Παρακολούθηση των αυξομειώσεων της συγκέντρωσης των μικροπλαστικών στην παράκτια άμμο κατά την χρονική περίοδο των δειγματοληψιών (Μάρτιος – Οκτώβριος του έτους 2022), καθώς και ανά ημερομηνία δειγματοληψίας.



**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**  
**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

**7.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων ξήρανσης άμμου**

Όπως προαναφέρθηκε, η διαδικασία ξήρανσης της καθαρής άμμου της παράκτιας ζώνης στο σημείο δειγματοληψίας είχε ως στόχο τον υπολογισμό της πυκνότητας της υγρής και της ξηρής άμμου, δηλαδή της αναλογίας της μάζας της άμμου προς τον όγκο. Επίσης υπολογίστηκε ο λόγος της μάζας της υγρής άμμου προς τη μάζα της ξηρής άμμου. Ακολουθεί πίνακας αποτελεσμάτων από συνολικά 21 δείγματα άμμου από 5 ημερομηνίες δειγματοληψίας. Στον πίνακα 7.1 φαίνονται μόνο οι μέσες τιμές ανά ημερομηνία δειγματοληψίας.

Πίνακας 7.1: Υπολογισμός της υγρής και ξηρής πυκνότητας της άμμου στο σημείο δειγματοληψίας από τις μέσες τιμές από 21 συνολικά δείγματα από 5 ημερομηνίες δειγματοληψίας.

α/α	Ημερομηνία	Όγκος υγρής άμμου (ml)	Όγκος ξηρής άμμου (ml)	Μάζα υγρής άμμου (g)	Μάζα ξηρής άμμου (g)	Μείωση όγκου (%)	Μείωση μάζας (%)	Πυκνότητα υγρής άμμου (g/cm <sup>3</sup> ) (Υ)	Πυκνότητα ξηρής άμμου (g/cm <sup>3</sup> ) (Ξ)
1	15/03/2022	100	86,2	140	123,6	13,8	11,7	1,40	1,43
2	16/03/2022	δ.π.	50	δ.π.	73,2	δ.π.	δ.π.	δ.π.	1,46
3	17/03/2022	40	35	60,3	50,7	12,5	15,9	1,51	1,45
4	22/03/2022	40	35,8	68,02	52,28	10,5	23,1	1,70	1,46
5	23/03/2022	δ.π.	50	δ.π.	71,6	δ.π.	δ.π.	δ.π.	1,43
<b>Μ.Ο</b>						12,3	16,9	1,54	1,45
<b>Τυπική απόκλιση</b>						1,7	5,8	0,15	0,01

δ.π.: δεν προσδιορίστηκε

Όπως φαίνεται στον πίνακα 7.1, η μέση πυκνότητα της ξηρής άμμου υπολογίστηκε σε  $1,45 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ , ενώ η μέση πυκνότητα της υγρής άμμου σε  $1,54 \pm 0,15 \text{ g/cm}^3$ . Η μικρή τυπική απόκλιση δείχνει την καλή επαναληψιμότητα των μετρήσεων. Η μείωση του όγκου και της μάζας της άμμου μετά την ξήρανση υπολογίστηκε σε  $12,3 \pm 1,7 \%$  και  $16,9 \pm 5,8 \%$  αντίστοιχα.

Με βάση το μέσο ποσοστό μείωσης του όγκου 1 L υγρής άμμου αντιστοιχεί σε 0,877 L ξηρής άμμου, ενώ με βάση το μέσο ποσοστό μείωσης της μάζας 1 g υγρής άμμου αντιστοιχεί σε **0,831 g ξηρής άμμου**.

Επίσης λαμβάνοντας υπόψη και τη μέση πυκνότητα της υγρής και ξηρής άμμου υπολογίστηκε ότι 1 L υγρής άμμου αντιστοιχεί σε **1.536 g υγρής ή 1.270,24 g ξηρής άμμου**. Τα δεδομένα των μετατροπών αυτών χρησιμοποιήθηκαν στους περαιτέρω υπολογισμούς της συγκέντρωσης των μικροπλαστικών ανά g και L ξηρής άμμου.

## 7.2 Προσδιορισμός συγκέντρωσης μάζας μικροπλαστικών σε υγρή και ξηρή άμμο

Για τον υπολογισμό της μέσης συγκέντρωσης των μικροπλαστικών στο παράκτιο τμήμα της δυτικής πλευράς της παραλίας της Νέας Χώρας των Χανίων διενεργήθηκαν συνολικά 48 δειγματοληψίες σε 16 διαφορετικές ημερομηνίες σε χρονικό διάστημα 6 μηνών. Οι δειγματοληψίες των μικροπλαστικών έλαβαν χώρα από 02-04-2022 έως και 31-10-2022. Ανά ημέρα δειγματοληψίας λαμβάνονταν 3 δείγματα άμμου, στα οποία ελεγχόταν η συγκέντρωση των μικροπλαστικών και υπολογιζόταν η μέση τιμή ανά ημερομηνία δειγματοληψίας. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιούνταν συνήθως κάθε πρώτη ημέρα της εβδομάδας (Δευτέρα), εάν το επέτρεπαν οι καιρικές συνθήκες. Συνολικά διενεργήθηκαν 18 μετρήσεις σε 6 ημερομηνίες την άνοιξη (Απρίλιο – Μάϊο), 9 μετρήσεις σε 3 ημερομηνίες το καλοκαίρι (Ιούνιος) και 21 μετρήσεις σε 7 ημερομηνίες το φθινόπωρο (Σεπτέμβριος – Οκτώβριος) του έτους 2022.

Τα πλυμένα συλλεχθέντα μικροπλαστικά ζυγίζονταν πριν και μετά την ξήρανση και όλες οι μετρήσεις καταχωρούνταν σε φύλλα εργασίας του προγράμματος excel για την καλύτερη επεξεργασία τους. Ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας 7.2 των αποτελεσμάτων μέτρησης των μικροπλαστικών, ο οποίος περιλαμβάνει:

1. Τις ημερομηνίες δειγματοληψίας
2. Τις μέσες τιμές της μάζας ανά ημερομηνία δειγματοληψίας πριν και μετά την ξήρανση. Όπως προαναφέρθηκε, κάθε μέση τιμή έχει υπολογιστεί από τις τιμές τριών δειγμάτων που ελήφθησαν σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας.
3. Ο όγκος σε λίτρα της υγρής άμμου, ο οποίος περιείχε τη συγκεκριμένη μάζα μικροπλαστικών σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας

Πίνακας 7.2: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων και μετρήσεων των μέσων τιμών μικροπλαστικών ανά ημερομηνία δειγματοληψίας.

**Συγκεντρώσεις μικροπλαστικών στην άμμο πριν και μετά την ξήρανση**

α/α	Ημερομηνία	Υγρή μάζα μικροπλαστικών (g)	Ξηρή μάζα μικροπλαστικών (g)	Όγκος υγρής άμμου(L)	Συγκέντρωση μικροπλαστικών στην υγρή άμμο (g/L)	Συγκέντρωση μικροπλαστικών (g/L)	Συγκέντρωση μικροπλαστικώ ν στην ξηρή άμμο (μg/g)
1	2/4/2022	0,67	0,658	20	0,03	0,04	25,90
2	9/4/2022	1,999	1,869	20	0,09	0,11	73,57
3	10/4/2022	1,009	0,998	20	0,05	0,06	39,28
4	12/5/2022	1,576	1,572	20	0,08	0,09	61,88
5	16/5/2022	1,291	1,29	20	0,06	0,07	50,78
6	23/5/2022	0,945	0,921	20	0,05	0,05	36,25
7	6/6/2022	0,89	0,862	20	0,04	0,05	33,93
8	20/6/2022	1,83	1,63	20	0,08	0,09	64,16
9	27/6/2022	0,89	0,753	20	0,04	0,04	29,64
10	15/9/2022	1,8	1,67	20	0,08	0,10	65,73
11	19/9/2022	1,68	1,59	20	0,08	0,09	62,58
12	26/9/2022	1,21	1,08	20	0,05	0,06	42,51

13	3/10/2022	0,83	0,72	20	0,04	0,04	28,34
14	10/10/2022	0,88	0,81	20	0,04	0,05	31,88
15	24/10/2022	0,67	0,65	20	0,03	0,04	25,58
16	31/10/2022	0,57	0,53	20	0,03	0,03	20,86
17	<b>M.O</b>	<b>1,17</b>	<b>1,10</b>	<b>20,00</b>	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<b>43,31</b>
18	<b>Min</b>	<b>0,57</b>	<b>0,53</b>	<b>20,00</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>20,86</b>
19	<b>Max</b>	<b>2,00</b>	<b>1,87</b>	<b>20,00</b>	<b>0,09</b>	<b>0,11</b>	<b>73,57</b>
20	<b>Τυπική απόκλιση</b>	<b>0,47</b>	<b>0,44</b>	<b>0,00</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>17,21</b>

1. Τη συγκέντρωση των μικροπλαστικών εκφρασμένη σε g μικροπλαστικών ανά L υγρής και ανά L ξηρής άμμου. Όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης, η πυκνότητα της υγρής και της ξηρής άμμου και τα μέσα ποσοστά μείωσης του όγκου και της μάζας της άμμου μετά την ξήρανση, τα οποία έχουν ήδη παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 7.1
2. Τη συγκέντρωση των μικροπλαστικών εκφρασμένη σε μg μικροπλαστικών ανά g ξηρής άμμου
3. Τέλος συγκεντρωτικά αναγράφεται η μέση, η ελάχιστη και μέγιστη τιμή καθώς και η τυπική απόκλιση όλων των παραμέτρων που προαναφέρθηκαν.

Στον πίνακα 7.2 αναγράφονται όλες οι μετρήσεις και οι μετατροπές των αποτελεσμάτων σχετικά με τις συγκεντρώσεις των μικροπλαστικών που πάρθηκαν όλη την περίοδο των δειγματοληψιών. Επίσης για την ευκολία της κατανόησης των αποτελεσμάτων αναγράφεται και ο μέσος όρος όλων των μετρήσεων.

Η συγκέντρωση των μικροπλαστικών εκφρασμένη σε g/L υγρής άμμου υπολογίστηκε ως ακολούθως :

- $$\text{Συγκέντρωση μικροπλαστικών g/L υγρής άμμου} = \frac{\text{g M.Π ξηρά}}{\text{Συνολικά L άμμου κατά τη δειγματοληψία}}$$

- Συγκέντρωση Μ.Π σε g/L ξηρής άμμου = 
$$\frac{\text{Συγκέντρωση μικροπλαστικών}}{0,877 \text{ (Λόγος μείωσης όγκου άμμου κατά την ξηρανση)}} = \frac{\text{g/L υγρής άμμου}}{\text{Βλέπε παράγραφο 7.1)}$$

- Συγκέντρωση Μ.Π σε μg/g Ξηρής άμμου = 
$$\frac{\text{Συγκέντρωση μικροπλαστικών}}{1.270,24} = \frac{\frac{\text{g}}{\text{L}} \text{ υγρής άμμου} * 1000000}{\text{Βλέπε παράγραφο 7.1}}$$
  
 (Αντιστοίχιση g ξηρής άμμου σε 1 L υγρής άμμου, βλέπε παράγραφο 7.1)

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 7.2, η συγκέντρωση των μικροπλαστικών υπολογίστηκε σε  $43,31 \pm 17,21 \mu\text{g}$  μικροπλαστικών ανά g ξηρής άμμου κατά το διάστημα των μετρήσεων (άνοιξη, καλοκαίρι και φθινόπωρο έτους 2022). Ταυτόχρονα υπολογίστηκε ότι σε 1L ξηρής άμμου περιέχονταν κατά μέσο όρο  $0,06 \pm 0,02 \text{ g}$  μικροπλαστικών ή, εκφρασμένα αλλιώς, ότι από τα 1.270,24 g ξηρής άμμου τα  $0,06 \pm 0,02 \text{ g}$  ήταν μικροπλαστικά.

Στο ακόλουθο διάγραμμα 7.1 παρουσιάζονται οι τιμές των συγκεντρώσεων των μικροπλαστικών καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών εκφρασμένες σε g/L ξηρής άμμου.



Διάγραμμα 7.1: Συγκεντρώσεις μικροπλαστικών εκφρασμένες σε g/L ξηρής άμμου καθ' όλη την περίοδο των δειγματοληψιών.

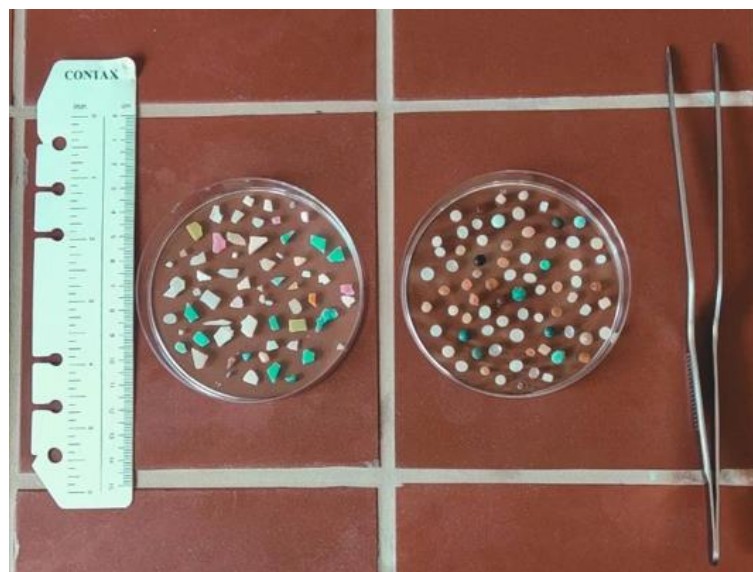
Για τη σωστή αξιολόγηση των παρουσιαζόμενων αποτελεσμάτων στο διάγραμμα 7.1 θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, ότι η συλλεχθείσα άμμος και ποσότητα μικροπλαστικών προερχόταν από το ίδιο οριοθετημένο πεδίο (Εικόνα 6.8).

Παρόλο που αρχικά οι μετρήσεις φαίνονται στο διάγραμμα 7.1. ακανόνιστες χωρίς να ακολουθούν ένα συγκεκριμένο μοτίβο αύξησης, μείωσης ή αυξομείωσης κατά την περίοδο των δειγματοληψιών (άνοιξη, καλοκαίρι, φθινόπωρο), κατά τους μήνες Μάιο και Οκτώβριο που πραγματοποιήθηκαν περισσότερες αριθμητικά δειγματοληψίες, φαίνεται ξεκάθαρα μια σταδιακή μείωση της συγκέντρωσης των μικροπλαστικών λόγω των επαναλαμβανόμενων δειγματοληψιών. Ταυτόχρονα καταγράφηκαν μέγιστες συγκεντρώσεις μικροπλαστικών, όταν μεσολαβούσαν μακρά διαστήματα χωρίς δειγματοληψίες. Για παράδειγμα λόγω της διακοπής των δειγματοληψιών κατά τον μήνα Αύγουστο, οι συγκεντρώσεις των μικροπλαστικών στις 2 πρώτες δειγματοληψίες κατά το μήνα Σεπτέμβριο είναι ιδιαίτερα υψηλές. Το ίδιο παρατηρείται και κατά την πρώτη δειγματοληψία του μήνα Μαΐου. Αυτό προφανώς μπορεί να οφείλεται στη σταδιακή και συνεχόμενη προσθήκη νέων μικροπλαστικών στην άμμο. Παρόλο που όπως προαναφέρθηκε, τα μικροπλαστικά πρωτίστως δεν είναι αποτέλεσμα της κοντινής χρονικής περιόδου, φαίνεται ξεκάθαρα η συνεισφορά της συνεχόμενης εναπόθεσης αυτών. Επίσης, όπως αναφέρθηκε και στις παραγράφους 5.4.1 και 5.4.2, τα μικροπλαστικά στα υδάτινα και τα χερσαία οικοσυστήματα μεταφέρονται κυρίως με την ενέργεια της ροής του νερού, του κυματισμού των ρευμάτων, του αέρα και άλλων παραγόντων. Πιθανόν οι παρατηρούμενες αυξομειώσεις των μικροπλαστικών να συνδέονται με αντίστοιχες καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά την περίοδο δειγματοληψίας και ευνοούσαν τη μεταφορά και απόθεση τους (π.χ. κυματισμός που μετέφερε φερτή ύλη παράλληλα με ρεύματα νερού αλλά και μεγάλης έντασης άνεμοι). Ταυτόχρονα θα πρέπει να αναφερθεί ότι η χρήση της παραλίας κατά την τουριστική περίοδο δεν φαίνεται να παίζει κάποιο σημαντικό ρόλο στην αυξομείωση μικροπλαστικών στην εξεταζόμενη παραλία.

Τέλος η συνολική ποσότητα μικροπλαστικών που συλλέχθηκε σε όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών από το σημείο δειγματοληψίας ήταν 17,603 g/320 L υγρής άμμου. Αυτή η ποσότητα αντιστοιχεί στην υπολογισθείσα προηγουμένως συγκέντρωση μικροπλαστικών 0,06 g/L υγρής άμμου (πίνακας 7.1).

### 7.3 Αριθμητική συγκέντρωση μικροπλαστικών και τύποι βάση της σχηματικής μορφολογίας τους

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5.3, τα μικροπλαστικά χωρίζονται σε πάρα πολλές κατηγορίες με βάση τη σχηματική περιγραφή τους. Οι κύριες εξ αυτών είναι οι πλαστικόσφαιρες, τα θραύσματα και οι ίνες. Στην παρούσα εργασία παρατηρήθηκαν οι δύο κατηγορίες, οι πλαστικόσφαιρες και τα θραύσματα, οι οποίες καταγράφηκαν σε κάθε δειγματοληψία ξεχωριστά (Εικόνα 7.1). Στόχος αυτής της καταγραφής ήταν ο υπολογισμός του ποσοστού ανεύρεσης κάθε κατηγορίας στο περιβάλλον, αλλά και της μεταξύ τους αναλογίας σε ποσότητα.



Εικόνα 5.1: Παράδειγμα συλλογής και ταξινόμησης μικροπλαστικών στις δύο κατηγορίες θραύσματα και πλαστικόσφαιρες σε δειγματοληψία της παρούσας εργασίας

Ακολουθεί ο πίνακας 7.3 που συνοψίζει όλες τις ημερομηνίες δειγματοληψίας, το συνολικό αριθμό μικροπλαστικών που καταμετρήθηκαν ανά 20 L υγρής άμμου, την αριθμητική κατανομή των πλαστικόσφαιρων προς τα θραύσματα και την αριθμητική συγκέντρωση των μικροπλαστικών ανά L ή Kg ξηρής άμμου. Επίσης στο διάγραμμα 7.2 απεικονίζεται η

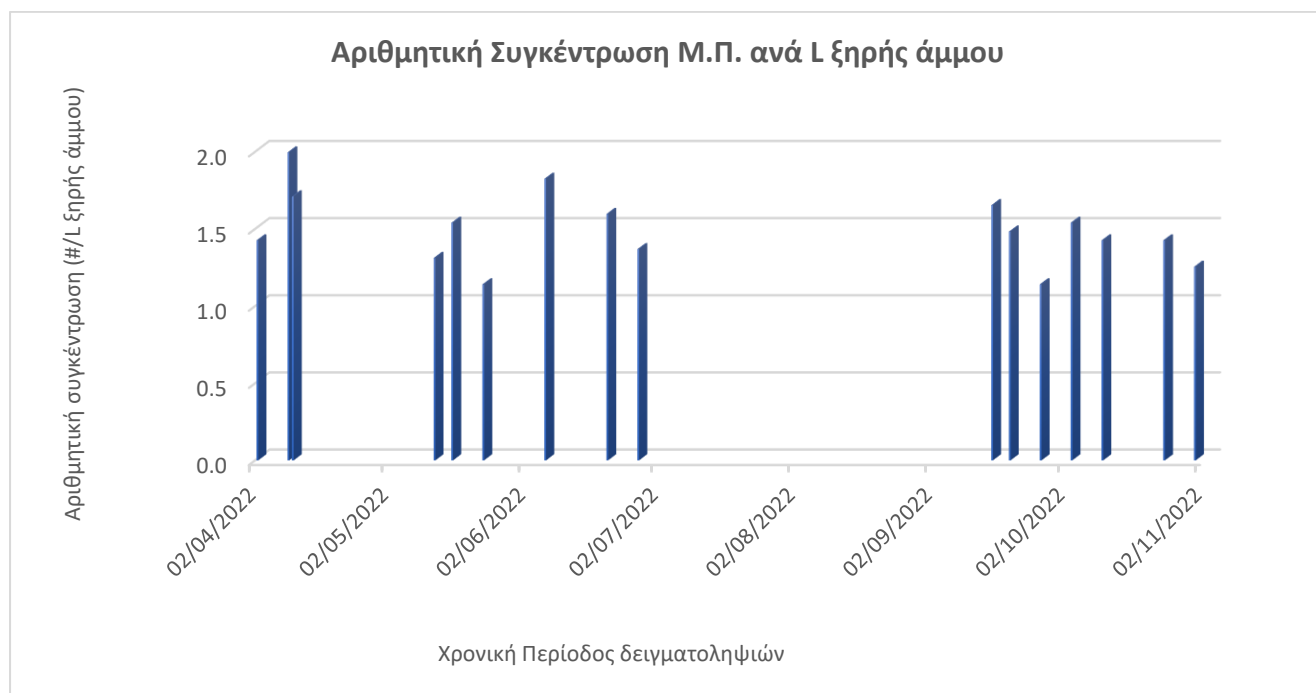
αριθμητική συγκέντρωση των μικροπλαστικών στην παράκτια ζώνη σε αριθμό (#) Μ.Π / L υγρής άμμου και σε αριθμό Μ.Π/kg ξηρής άμμου.

Πίνακας 7.3: Αριθμητική συγκέντρωση μικροπλαστικών και αναλογία πλαστικόσφαιρων προς θραύσματα σε όλη την περίοδο των δειγματοληψιών

Αρίθμηση Πλαστικόσφαιρων και Θραυσμάτων							
A/α	Ημερομηνίες	Συνολικός αριθμός Μ.Π. ανά 20 L υγρής άμμου	Αριθμός Πλαστικόσφαιρων ανά 20 L υγρής άμμου	Αριθμός Θραυσμάτων ανά 20 L υγρής άμμου	Ποσοστό πλαστικόσφαιρων σε σχέση με τα θραύσματα (%)	Αριθμητική συγκέντρωση Μ.Π. (#/L ξηρής άμμου)	Αριθμητική συγκέντρωση Μ.Π. (#/kg ξηρής άμμου)
1	02-04-2022	25	5	20	25,00	1.43	0,98
2	09-04-2022	35	6	29	20,69	2.00	1,38
3	10-04-2022	30	4	26	15,38	1.71	1,18
4	12-05-2022	23	3	20	15,00	1.31	0,91
5	16-05-2022	27	5	22	22,73	1.54	1,06
6	23-05-2022	20	3	17	17,65	1.14	0,79
7	06-06-2022	32	8	24	33,33	1.82	1,26
8	20-06-2022	28	8	20	40,00	1.60	1,10
9	27-06-2022	24	5	19	26,32	1.37	0,94
10	15-09-2022	29	4	25	16,00	1.65	1,14
11	19-09-2022	26	6	20	30,00	1.48	1,02
12	26-09-2022	20	4	16	25,00	1.14	0,79
13	03-10-2022	27	3	24	12,50	1.54	1,06
14	10-10-2022	25	1	24	4,17	1.43	0,98
15	24-10-2022	25	1	24	4,17	1.43	0,98
16	31-10-2022	22	4	18	22,22	1.25	0,87
<b>M.O</b>		<b>26,13</b>	<b>4,38</b>	<b>21,75</b>	<b>20,63</b>	<b>1.49</b>	<b>1,03</b>
<b>Min</b>		<b>20</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>4,17</b>	<b>1.14</b>	<b>0,79</b>



Μα		35	8	29	40,00		1,38
χ						2.00	
Τυπική Απόκλιση		4,10	2,03	3,57	9,66	0,23	0,16



Διάγραμμα 7.2: Αριθμητικές συγκεντρώσεις μικροπλαστικών σωματιδίων ανά λίτρο ξηρής άμμου καθ' όλη την περίοδο των δειγματοληψιών (Επεξηγήσεις: # αριθμός μικροπλαστικών, Μ.Π. μικροπλαστικά)

Αξιολογώντας τη συγκέντρωση των μικροπλαστικών σωματιδίων στην παράκτια περιοχή φαίνεται ότι η παραλία εκτίθεται σε μεγάλη παρουσία μικροπλαστικών σωματιδίων. Κάποιες από αυτές τις μετρήσεις είναι οι εξής:

- Εάν ο αριθμός σωματιδίων στα 20 L υγρής άμμου είναι κατά μέσο όρο 26 Μ.Π./20 L υγρής άμμου, τότε στο 1L έχουμε περίπου 1,3 Μ.Π. / L υγρής άμμου ή 1.300 Μ.Π./m<sup>3</sup>.

- Σύμφωνα όμως με τις μετρήσεις στην παράγραφο 7.1 ότι 1L υγρής άμμου αντιστοιχεί σε **1.270,24 g ξηρής άμμου**, υπολογίστηκε ότι η συγκέντρωση Μ.Π, σωματιδίων στη ξηρή μάζα της άμμου είναι : **1,03 Μ.Π./kg**

Μία πρόσφατη μελέτη στην Κύπρο έδειξε ότι τα υψηλότερα σημεία της επιφανειακής άμμου, δηλαδή περίπου σε 2 cm βάθος, παρουσίασαν μεγάλη αφθονία μικροπλαστικών σωματιδίων. Αυτό μεταφράζεται σε εύρος αριθμητικών συγκεντρώσεων 131,9 έως 637 Μ.Π./m<sup>3</sup> [60]. Εάν συγκριθούν αυτά τα δεδομένα με τα δεδομένα της παρούσας εργασίας διαπιστώνεται ότι η αριθμητική συγκέντρωση των 1.300 Μ.Π./m<sup>3</sup> που μετρήθηκε, είναι περίπου διπλάσια της μέγιστης ανευρεθείσας στην Κύπρο 637 Μ.Π./m<sup>3</sup>. Αυτή η αισθητή διαφορά μπορεί να οφείλεται στη διαφορετική γεωμορφολογία του πεδίου έρευνας, στον προσανατολισμό της παραλίας, στις χρήσεις γης στην περιοχή έρευνας, στις καιρικές συνθήκες και τα θαλάσσια ρεύματα που επικρατούν εκεί, στο ρυθμό παραγωγής, μεταφοράς και απόθεσης των μικροπλαστικών, αλλά και στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Τέλος με βάση το διάγραμμα 7.2 παρατηρείται το ίδιο μοτίβο αυξομείωσης που είχε διαπιστωθεί στις συγκεντρώσεις μάζας των μικροπλαστικών (διάγραμμα 7.1), και στις αριθμητικές συγκεντρώσεις των μικροπλαστικών κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών.

#### **7.4 Ταξινόμηση των μικροπλαστικών με βάση το σχήμα τους**

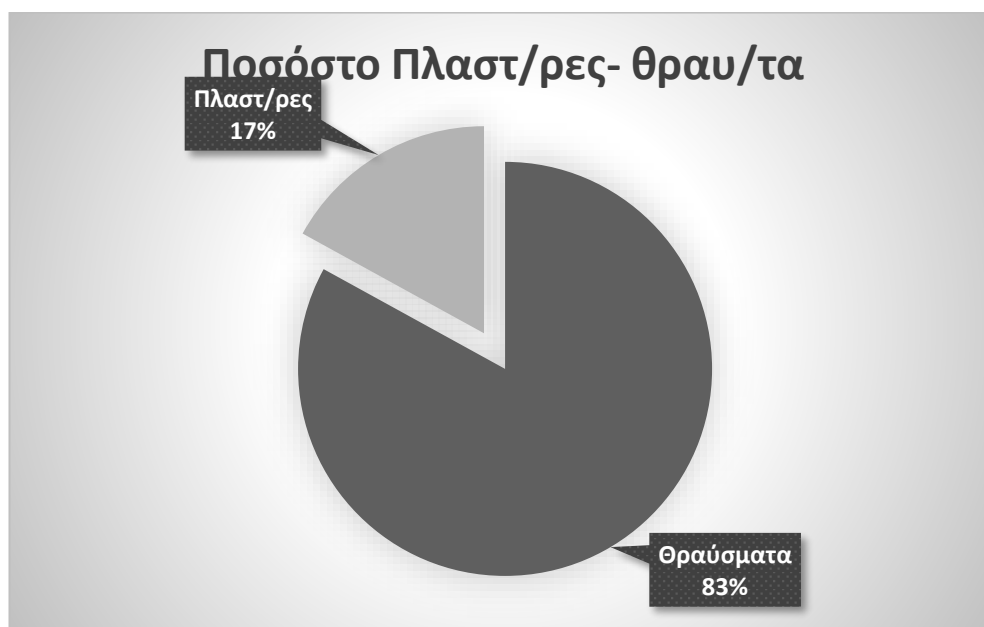
Σχετικά με την διαφοροποίηση των τύπων των Μ.Π. με βάση το σχήμα τους, αρχικά παρατηρήθηκε ότι ο αριθμός των πλαστικόσφαιρων σε όλα δείγματα ήταν σημαντικά μικρότερος από τον αριθμό των θραυσμάτων. Διαπιστώθηκε επίσης ότι κατά μέσο όρο μόλις το 17% ήταν πλαστικόσφαιρες σε σχέση με τα υπόλοιπα μικροπλαστικά θραύσματα που αντιστοιχούσαν σε 83%.

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 5.3.1, οι πλαστικόσφαιρες μπορεί να προέρχονται από πρωτογενή πηγή παραγωγής και προορίζονται για την κατασκευή πλαστικών προϊόντων. Ως αποτέλεσμα της ανεύρεσής τους θεωρείται, ότι μπορεί να διαφεύγουν στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια της μεταφοράς ή επεξεργασίας τους από τις βιομηχανίες. Επιπλέον θεωρείται, η σφαιρική μορφή στις δευτερογενούς προέλευσης

πλαστικόσφαιρες μπορεί να οφείλεται στη μεγάλη χρονική περίοδο που παραμένουν ελεύθερες στο περιβάλλον, αποκτώντας αυτήν τη μορφή μέσω της μηχανικής τριβής. Συνεπώς, αυτό μπορεί να είναι ένας λόγος για τη χαμηλότερη συγκέντρωσή τους σε σύγκριση με τα θραύσματα, τα οποία θεωρητικά θα μπορούσαν μακροπρόθεσμα να μετατραπούν σε πλαστικόσφαιρες.

Αναλύοντας τα μεγέθη των μικροπλαστικών που συλλέχθηκαν στην παρούσα εργασία στη συνέχεια στο κεφάλαιο 7.6, παρατηρήθηκε ότι όλες οι πλαστικόσφαιρες που συλλέχθηκαν, είχαν διάμετρο μεγαλύτερη από 0,3 cm. Αυτό υποδηλώνει ότι οι συλλεχθείσες είναι δευτερογενούς προέλευσης, προέρχονται από τον κατακερματισμό ή την αποικοδόμηση πλαστικών, που απαιτεί μεγάλο χρόνο παραμονής στο περιβάλλον, και αυτό μπορεί επίσης να εξηγεί τη χαμηλή τους συγκέντρωση σε σχέση με τα θραύσματα.

Τα συλλεχθέντα θραύσματα από την άλλη είχαν μεγαλύτερη ποικιλία μεγεθών και είναι πιθανόν προϊόντα θραύσης μικρότερης χρονικής παραμονής στο περιβάλλον, και πιθανότατα ποικίλης προέλευσης και χημικής σύστασης. Αυτό εξηγεί τη μεγάλη τους αριθμητική συγκέντρωση, η οποία παρουσιάζεται και σχηματικά στο διάγραμμα 7.3.



Διάγραμμα 7.3: Ποσοστιαία αναλογία των πλαστικόσφαιρων σε σχέση με τα θραύσματα, όπου το 100 % αντιστοιχεί στο σύνολο των συλλεχθέντων μικροπλαστικών σωματιδίων.

Σημαντικό αναφοράς είναι το γεγονός ότι κατά τις δειγματοληψίες δεν συλλέχθηκαν καθόλου ίνες και νήματα μικροπλαστικών, τα οποία προέρχονται συνήθως από ρούχα, δίχτυα αλιείας και άλλα αντικείμενα και αποτελούν την 3<sup>η</sup> συχνότερη κατηγορία μικροπλαστικών στο περιβάλλον (ενότητα 5.3.3). Η ύπαρξη ινών μικροπλαστικών (π.χ. από ρούχα φλις) έχει διαπιστωθεί σε λυματολάσπες βιολογικών καθαρισμών, τόσο μετά την πρωτοβάθμια όσο και μετά τη δευτεροβάθμια καθίζηση (βλέπε παράγραφο 5.4.1.1). Η μη ανεύρεση ινών στην παρούσα εργασία μπορεί να οφείλεται στους ακόλουθους λόγους:

- Οι ίνες μικροπλαστικών είναι εξαιρετικά μικρές τις περισσότερες φορές και μπορεί να μην ήταν ευδιάκριτες κατά τη δειγματοληψία και την ακόλουθη οπτική διαφοροποίηση που γινόταν σε αυτή την μελέτη.
- Επιπλέον υπάρχει η πιθανότητα οι ίνες μικροπλαστικών να διαπερνούσαν τις οπές της σίτας διήθησης, όταν διαχωρίζονταν τα μικροπλαστικά από το νερό έκπλυσης της άμμου.
- Οι ίνες των μικροπλαστικών θα μπορούσαν να μην επιπλέουν στο νερό, σε περίπτωση που η πυκνότητα τους ήταν μεγαλύτερη αυτής του νερού έκπλυσης της άμμου. Αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα να βυθίζονταν μαζί με την άμμο κατά την έκπλυση.
- Επίσης είναι πιθανό να μην ήταν εύκολο να αποθεθούν από τη θάλασσα στην άμμο σε περίπτωση που δεν επέπλεαν.
- Μια άλλη δυνατότητα θα μπορούσε να ήταν η δυσκολία αποκόλλησης και διαχωρισμού των ινών από την άμμο.

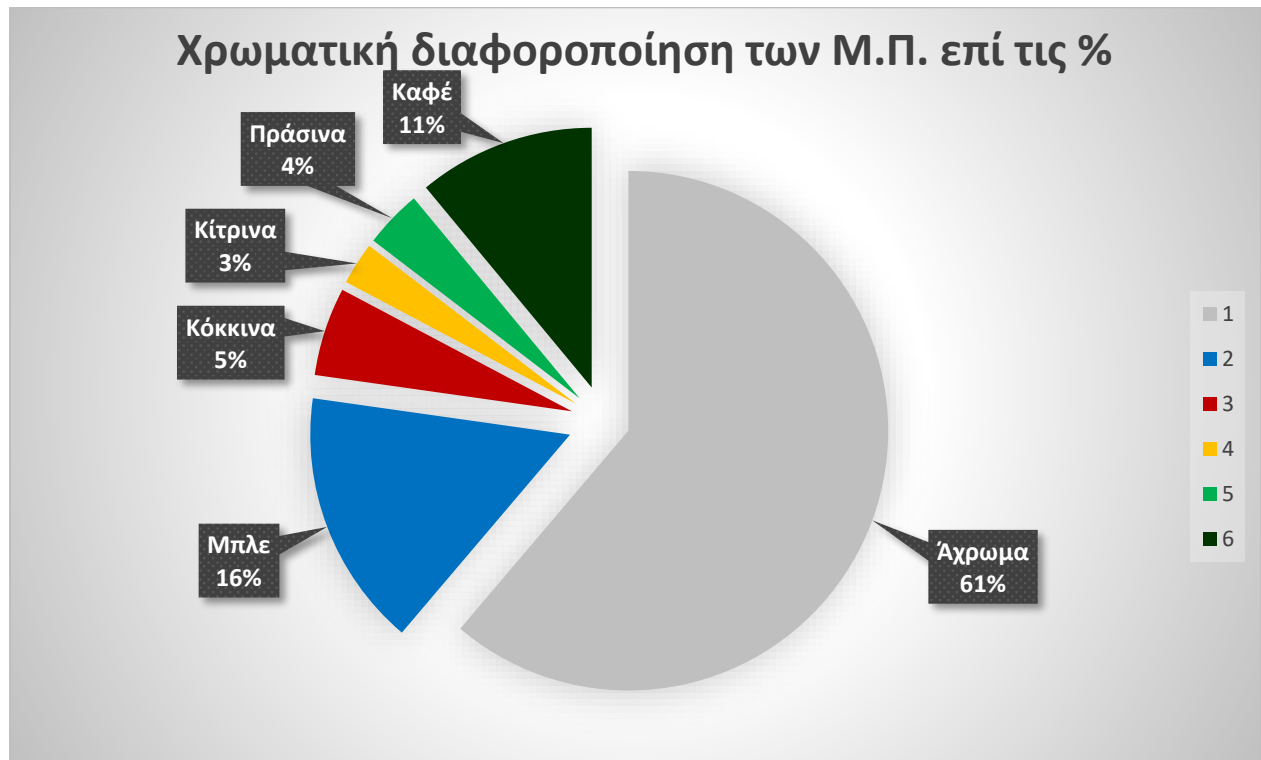
## 7.5 Χρωματική διαφοροποίηση των μικροπλαστικών

Σε όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών πάντα γινόταν διαφοροποίηση των μικροπλαστικών ανά ημερομηνία και αποθηκεύονταν κάθε δείγμα ξεχωριστά. Έτσι παρατηρήθηκε ότι εκτός από το μέγεθος, την μορφολογία και τη μάζα τους, υπήρχε και χρωματική διαφοροποίηση των μικροπλαστικών. Για αυτό το λόγο πραγματοποιήθηκε μια μελέτη σχετική με την χρωματική τους διαφοροποίηση. Επίσης υπολογίστηκε το ποσοστό

εμφάνισης κάθε χρώματος κατά μέσο όρο καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Τα δεδομένα παρουσιάζονται στον πίνακα 7.4 και στο διάγραμμα 7.4.

Πίνακας 7.4 : Χρωματική ταξινόμηση των συλλεχθέντων μικροπλαστικών.

Χρωματική ταξινόμηση μικροπλαστικών ανά 20 L υγρής άμμου									
α/α	Ημερομηνία	Συνολικός αριθμός Μ.Π.	Αριθμός χρωμάτων	Άχρωμο (Διάφανο, άσπρο)	Μπλε	Κόκκινο	Κίτρινο	Πράσινο	Καφέ
1	02-04-2022	25	6	15	4	2	0	1	3
2	09-04-2022	35	6	19	7	3	1	1	4
3	10-04-2022	30	6	14	5	3	1	2	5
4	12-05-2022	23	6	12	4	1	2	1	3
5	16-05-2022	27	6	20	4	0	0	1	2
6	23-05-2022	20	6	10	5	2	0	1	2
7	06-06-2022	32	6	21	2	1	2	1	5
8	20-06-2022	28	6	16	5	1	0	2	4
9	27-06-2022	24	6	16	4	0	2	1	1
10	15-09-2022	29	6	21	4	1	0	0	3
11	19-09-2022	26	6	12	5	3	0	1	5
12	26-09-2022	20	6	13	2	1	1	1	2
13	03-10-2022	27	6	21	4	1	0	0	1
14	10-10-2022	25	6	17	3	1	1	0	3
15	24-10-2022	25	6	14	5	2	0	1	3
16	31-10-2022	22	6	15	4	1	1	1	0
<b>M.O.</b>		<b>26</b>	<b>6</b>	<b>16</b>	<b>4,19</b>	<b>1,44</b>	<b>0,69</b>	<b>0,94</b>	<b>2,88</b>
<b>%</b>				<b>61</b>	<b>16</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>11</b>



Διάγραμμα 7.4 : Μέση ποσοστιαία ταξινόμηση των συλλεχθέντων μικροπλαστικών ανά χρώμα καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών.

Βάση των μετρήσεων των μικροπλαστικών που παρουσιάζονται στον πίνακα 7.4 και στο διάγραμμα 7.4, η χρωματική κλίμακα των μικροπλαστικών είναι η ακόλουθη:

1. Χωρίς χρώμα (άσπρα ή διάφανα) => 61%
2. Μπλε => 16%
3. Καφέ => 11%
4. Κόκκινα => 5%
5. Πράσινα => 4%
6. Κίτρινα => 3%

Τα μέσα ποσοστά ταξινόμησης των μικροπλαστικών ανά χρώμα καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών μπορεί να οφείλονται σε διάφορους παράγοντες. Είναι δύσκολο να βρεθούν σε συγκεκριμένα αίτια χωρίς περισσότερες πληροφορίες και έρευνα. Ωστόσο,

ορισμένοι παράγοντες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τα μέσα ποσοστά της χρωματικής ταξινόμησης αναγράφονται στην επόμενη παράγραφο.

Υπάρχει μια σημαντική ποσοτική διαφορά ανάμεσα στις άχρωμες (άσπρες ή διαφανείς) πλαστικές σφαίρες και τα υπόλοιπα χρώματα. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι πολλά πλαστικά προϊόντα παράγονται αρχικά χωρίς να έχουν χρώμα. Στη συνέχεια τα προϊόντα αυτά μπορεί να αποκτήσουν χρώμα κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας στις βιομηχανίες, όπου τα αγοράζουν, ή μπορεί ακόμη να παραμένουν άχρωμα για λόγους οικονομίας και πρακτικότητας. Τα προϊόντα αυτά μπορεί να αποτελούν την προτιμώμενη επιλογή των βιομηχανιών, καθώς στη συνέχεια μπορούν να προσαρμοστούν σε διάφορες ανάγκες και να φέρουν την επιθυμητή ετικέτα για το προϊόν.

Επιπλέον, τα πλαστικά μπορεί να υποστούν αποχρωματισμό λόγω της μακράς χρονικής τους έκθεσης στο περιβάλλον. Παράγοντες όπως η υγρασία, η ακτινοβολία του ηλίου, η μηχανική τριβή από τα κύματα και τον αέρα, καθώς και άλλοι παράγοντες, μπορούν να επηρεάσουν το χρώμα και τον αποχρωματισμό των πλαστικών.

Όσον αφορά τα υπόλοιπα χρώματα που δεν παρουσιάζουν σημαντικές ποσοτικές διαφορές, αυτό πιθανώς να συνδέεται με τη ζήτηση αυτών των χρωμάτων από τις βιομηχανίες παραγωγής υλικών από πλαστικά και τους καταναλωτές. Οι επιλογές χρώματος συχνά εξαρτώνται από τις ανάγκες του τελικού προϊόντος και την αισθητική προτίμηση των καταναλωτών.

## **7.6 Διαφοροποίηση μικροπλαστικών με βάση τις διαστάσεις τους**

Ένας από τους κύριους παράγοντες που εξετάζονται στη μελέτη των μικροπλαστικών, είναι οι διαστάσεις τους. Όπως αναφέρεται και στην ενότητα 5.1, αυτά τα μικρά πλαστικά κομμάτια χωρίζονται συνήθως σε τέσσερις κατηγορίες: μακροπλαστικά (>2,5 cm), μεσοπλαστικά (2,5-0,5 cm), μικροπλαστικά (0,5 cm - 1 μm) και νανοπλαστικά (<1 μm) (βλ. πίνακα 5.1).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η παρούσα μελέτη επικεντρώθηκε στο κλάσμα των μικροπλαστικών με διαστάσεις από 0,1 έως 0,5 cm. Η κατηγορία αυτή επιλέχθηκε όχι μόνο λόγω του μεγάλου επιστημονικού ενδιαφέροντος αυτής, αλλά και επειδή ο προσδιορισμός

του συγκεκριμένου εύρους μεγεθών μπορούσε να πραγματοποιηθεί με απλές και οικονομικές μεθόδους. Για να μετρηθούν μικροπλαστικά μικρότερων διαστάσεων, απαιτείται περαιτέρω διαδικασία, συμπεριλαμβανομένης της διήθησης τους από το περιβάλλον με τη χρήση ειδικών φίλτρων που έχουν συγκεκριμένο μέγεθος πόρων, της ταυτοποίησής τους μέσω χημικών αναλύσεων, της οπτικής απεικόνισης και μέτρησης των διαστάσεών τους με τη χρήση οπτικών και ηλεκτρονικών μικροσκοπίων.

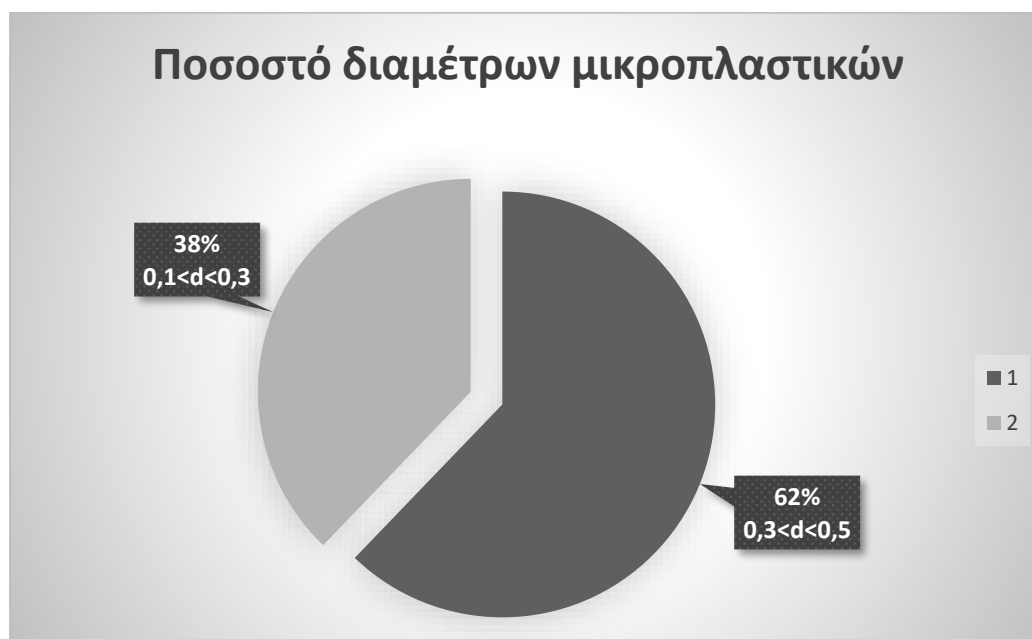
Τα συλλεχθέντα μικροπλαστικά διακρίθηκαν αρχικά σε δύο κλάσματα με βάση τη διάμετρό (d) τους. Το ένα κλάσμα είχε διάμετρο από 0,3 έως 0,5 cm, ενώ το άλλο από 0,3 έως 0,1 cm. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η μέση τιμή κάθε κλάσματος καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών καθώς και το μέσο ποσοστό αυτών. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον πίνακα 7.5 και στο διάγραμμα 7.5.

Πίνακας 7.5: Ταξινόμηση μικροπλαστικών με βάση τη διάμετρο τους

Ταξινόμηση μικροπλαστικών με βάση τη διάμετρο τους ανά 20 L υγρής άμμου				
α/α	Ημερομηνία	Συνολικός αριθμός Μ.Π.	Διάμετρος Μ.Π. 0,3<d<0,5 cm	Διάμετρος Μ.Π. 0,1<d<0,3 cm
1	02-04-2022	25	17	8
2	09-04-2022	35	24	11
3	10-04-2022	30	15	15
4	12-05-2022	23	15	8
5	16-05-2022	27	15	12
6	23-05-2022	20	12	8
7	06-06-2022	32	22	10
8	20-06-2022	28	16	12
9	27-06-2022	24	15	9
10	15-09-2022	29	18	11
11	19-09-2022	26	16	10
12	26-09-2022	20	13	7
13	03-10-2022	27	13	14
14	10-10-2022	25	16	9



15	24-10-2022	25	18	7
16	31-10-2022	22	15	7
M.O.	-	26,13	16,25	9,88
%	-	100	62	38



Διάγραμμα 7.5: Μέση ποσοστιαία ταξινόμηση των συλλεχθέντων μικροπλαστικών καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών με βάση τη διάμετρο τους.

Όπως παρουσιάστηκε στον πίνακα 7.5 και στο διάγραμμα 7.5, φαίνεται ότι υπάρχει μια αισθητή διαφορά στη συγκέντρωση των μικροπλαστικών ανάλογα με το μέγεθός τους. Συγκεκριμένα, τα μικροπλαστικά με διάμετρο από 0,3 έως 0,5 εκατοστά είναι περισσότερα ποσοτικά σε σχέση με αυτά, των οποίων η διάμετρος κυμαίνεται από 0,1 έως 0,3 εκατοστά στις 15 από τις συνολικά 16 ημερομηνίες δειγματοληψίας. Η μέση ποσοστιαία αναλογία τους είναι 62% προς 38 %αντίστοιχα.

Είναι επίσης πιθανό αυτή η διαφορά στην αναλογία των δύο κλασμάτων να συνδέεται με τον τρόπο που πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία και η ταυτοποίηση των μικροπλαστικών. Ενδεχομένως, τα μικρότερου μεγέθους μικροπλαστικά να μην μπόρεσαν να ανιχνευθούν ή να συλλεχθούν από την επιφάνεια του νερού. Παρόλα αυτά, η πιθανότητα

σφάλματος κατά τη διαδικασία δειγματοληψίας και ταυτοποίησης προσπάθησε να κρατηθεί πολύ χαμηλή, καθώς αυτές οι διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν με προσοχή και επαγρύπνηση.

Συνοψίζοντας, η αιτία της διαφοράς στη συγκέντρωση των μικροπλαστικών μπορεί να παραμένει αδιευκρίνιστη και ενδέχεται να είναι αποτέλεσμα τυχαίων παρατηρήσεων ή συνθηκών.

## 7.7 Περιπτώσεις μελέτης – Οπτικοποίηση δεδομένων

Στη συνέχεια παρουσιάζονται δύο περιπτώσεις μελέτης για την καλύτερη κατανόηση και οπτικοποίηση των επιπτώσεων της ρύπανσης του θαλάσσιου και παράκτιου περιβάλλοντος με μικροπλαστικά.

### 7.7.1 Κατανόηση της φυσικής σημασίας της υπολογισθείσας συγκέντρωσης μικροπλαστικών στην ξηρή άμμο

Όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 7.2, στην παρούσα πτυχιακή εργασία υπολογίστηκε μια μέση συγκέντρωση  $43,31 \pm 17,21$   $\mu\text{g}$  μικροπλαστικών ανά g ξηρής άμμου ή  $0,06 \pm 0,02$  g μικροπλαστικών ανά L ξηρής άμμου κατά το διάστημα των μετρήσεων. Για να κατανοηθεί και αξιολογηθεί η φυσική σημασία της υπολογισθείσας μέσης συγκέντρωσης μικροπλαστικών ανά όγκο ή μάζα ξηρής άμμου, εξετάστηκε η πιθανή επίπτωση της ρύπανσης της άμμου από ένα, κοινό σε όλους, μπουκάλι εμφιάλωσης (0,5 L) νερού, το οποίο θα μπορούσε να απορριφθεί στο παράκτιο περιβάλλον.

Όπως περιγράφηκε προηγουμένως στην παράγραφο 2.4.1, ένα πλαστικό μπουκάλι χωρίς ετικέτα έχει μάζα 12,1934 g. Αυτό συνεπάγεται ότι ένα απορριπτόμενο μπουκάλι δυνητικά μετά από εύλογο χρόνο θα μπορούσε να απελευθερώσει περίπου 12,1934 g μικροπλαστικών. Για να υπολογιστεί λοιπόν πόσα λίτρα άμμου θα μπορούσαν τελικά να ρυπανθούν από αυτό και να περιέχουν σε μορφή μικροπλαστικών ένα πλαστικό μπουκάλι όγκου  $\frac{1}{2}$  L, εφαρμόζεται η εξής σχέση:

$$\begin{aligned} \text{Ρυπασμένος όγκος άμμου ανά } (\frac{1}{2} \text{ L})\text{-φιάλη (L)} &= \frac{\text{Μάζα πλαστικού μπουκαλίου}}{\text{Μ.Ο συγκέντρωσης μικροπλαστικών } \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{ ξηρής άμμου}} = \\ &= \frac{12,1934 \text{ g}}{0,06 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{ Μ.Π}} \approx 203,223 \text{ L ξηρής άμμου} \end{aligned}$$

Άρα διαπιστώνεται ότι 203,223 L ξηρής άμμου μπορούν να ρυπανθούν με 12,1934 g μικροπλαστικών, τα οποία δυνητικά θα μπορούσαν να έχουν προέλθει από τον κατακερματισμό μίας φιάλης νερού όγκου  $\frac{1}{2}$  L. Ο όγκος των 203,223 L αντιστοιχεί περίπου στην χωρητικότητα μιας μεγάλης βαλίτσας μεταφοράς.

Αυτό σημαίνει, ότι κάθε 203 λίτρα ξηρής άμμου περιέχουν 1 πλαστικό μπουκάλι όγκου  $\frac{1}{2}$ L σε μορφή μικροπλαστικών με διάμετρο 0,1-0,5 cm. Συνεπώς, σε ένα φορτηγό μεταφοράς 15 τόνων άμμου, μπορούν να περιέχονται περίπου 74 φιάλες όγκου  $\frac{1}{2}$  L σε μορφή μικροπλαστικών.

Σε μια παραλία με έκταση 1.000.000 m<sup>2</sup> και έναν όγκο άμμου που μπορεί να φτάσει τα 3.000.000 m<sup>3</sup>, δυνητικά μπορούν να υπάρχουν περίπου 14.780 φιάλες όγκου  $\frac{1}{2}$  L σε μορφή μικροπλαστικών με διάμετρο 0,1-0,5 cm. Συνεπώς, περίπου 180.219 g πλαστικού ή 180 kg πλαστικού, μπορούν να βρίσκονται σε μορφή μικροπλαστικών στην εν λόγω παραλία, και αυτά τα μικροπλαστικά να έχουν διάμετρο από 0,1 έως 0,5 εκατοστά και να βρίσκονται από την επιφάνεια έως βάθος 3 μέτρων.

Αυτά τα νούμερα αποκαλύπτουν το σημαντικό όγκο μικροπλαστικών που υπάρχει σε παραλίες και περιβάλλοντες χώρους, παρέχοντας επιπρόσθετα στοιχεία για την κλίμακα του προβλήματος. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι όλες οι παράκτιες περιοχές έχουν το ίδιο περιβαλλοντικό πρόβλημα με τα μικροπλαστικά. Άλλες μπορεί να εμφανίζουν χαμηλότερη συγκέντρωση και άλλες υψηλότερη από αυτήν της παρούσας μελέτης. Επειδή πολλοί παράγοντες παίζουν ρόλο στην ύπαρξη μικροπλαστικών σε μία παραλία, η παρούσα περίπτωση μελέτης αποτελεί μια θεωρητική εκτίμηση, ικανή όμως να οπτικοποιήσει την υπολογισθείσα συγκέντρωση μικροπλαστικών (43,31 ± 17,21 μg μικροπλαστικών ανά g ξηρής άμμου ή 0,06 ± 0,02 g μικροπλαστικών ανά L ξηρής άμμου).

### 7.7.2 Οπτικοποίηση πρόσληψης μικροπλαστικών από θαλάσσιους οργανισμούς - Προσωπικά βιώματα

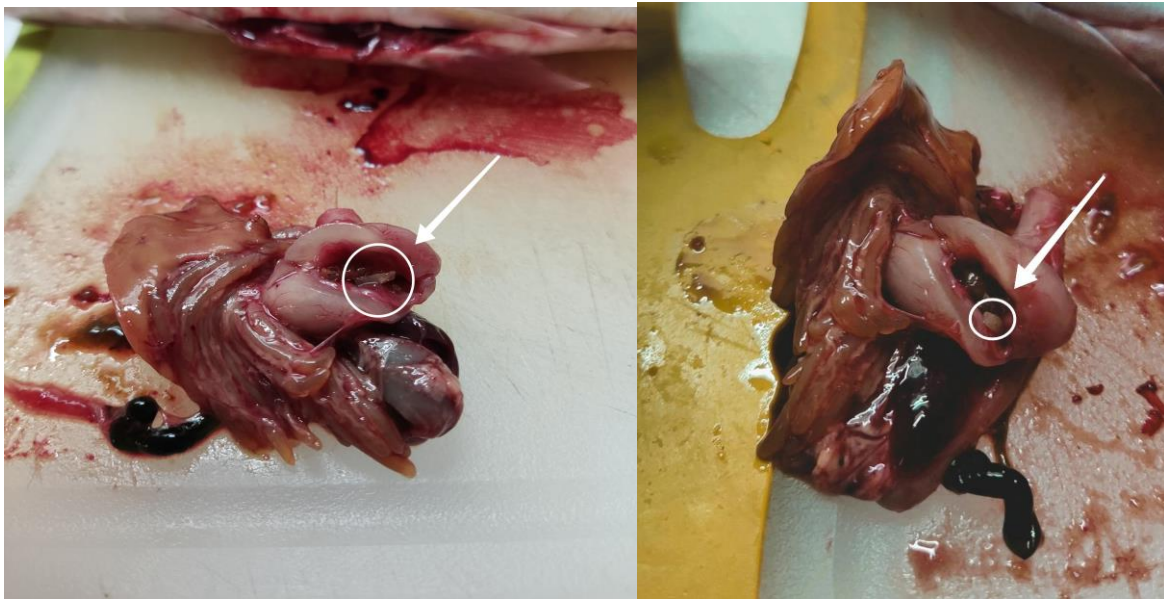
“ Από την παιδική μου ηλικία η φύση ήταν ένα αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής μου ενασχόλησης και της ευχαρίστησης στον ελεύθερο χρόνο μου. Έτσι ο πατέρας μου, περνώντας μου το “μικρόβιο” του υποβρύχιου κυνηγιού, φρόντισε να με μυήσει σε αυτό και όλες τις πτυχές του. Όλα μου τα καλοκαίρια σχεδόν τα περνούσα με μία μάσκα θαλάσσης στο πρόσωπο παρατηρώντας τον βυθό και την βιοποικιλότητα του. Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 3.3.1, πάρα πολλές φορές δεν μου περνούσαν απαρατήρητα τα δίχτυα αλιείας, πετονιές και άλλα πλαστικά εξαρτήματα αλιείας που έμεναν στο βυθό και χάνονταν για πάντα. Τότε όμως μην έχοντας την αντίληψη, απλά τα προσπερνούσα πιστεύοντας ότι μπορεί να είναι μέρος του βυθού της θάλασσας. Ταυτόχρονα, ανάλογα με τον καιρό και τον τόπο εξερεύνησης, παρατηρούσα σε αφθονία το πολυμερές που μελετήσαμε και πολλά παράγωγα του, δηλαδή το πλαστικό. Πλαστικά μπουκάλια, σακούλες συσκευασίας και μεταφοράς, πλαστικά μιας χρήσης, λάστιχα, ρούχα μικροϊνών και άλλα έπλεαν σε ένα αέναο ταξίδι μέσα στην θάλασσα ελεύθερα σε όλες τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι συναντήσεις με αυτό το υλικό σε κάθε λογής θάλασσας και τοποθεσία ήταν απλές και δε μου τραβάν ιδιαίτερα την προσοχή. Μία ημέρα εξόρμησης είχα την τύχη να συλλάβω ένα μεγάλο ψάρι, που συνηθίζει να κυνηγάει στον αφρό της θάλασσας, έχοντας ως διατροφική συνήθεια συνήθως μικρά ψαράκια. Από ότι φάνηκε εκτός από μικρά ψαράκια και γαρίδες κυνηγούσε και ότι έμοιαζαν με αυτό. Μετά την αλίευση και κατά τη διάρκεια του καθαρισμού του στην θάλασσα, παρατήρησα στην κοιλιακή του χώρα, τραβώντας μου ακαριαία την προσοχή, αρκετά κομμάτια πλαστικών αντικειμένων. Κάποια από αυτά τα κομμάτια ήταν μικρού μεγέθους αποκόμματα από σακούλες και μικρά σωματίδια πλαστικών μικρής διαμέτρου της τάξης μεγέθους 0,5-1,0 cm. Χωρίς να μπορώ να τραβήξω φωτογραφικό υλικό περιεργάστηκα τα πλαστικά κομμάτια και προσπέρασα το γεγονός ως ένα απλά καθημερινό συμβάν. Κατά την πάροδο του χρόνου επιλέγοντας ως αντικείμενο της πτυχιακής μου εργασίας τα μικροπλαστικά και διαβάζοντας για τις επιπτώσεις των μικροπλαστικών στην βιοποικιλότητα της θάλασσας, θυμήθηκα ξανά το γεγονός αυτό. Μην έχοντας όμως φωτογραφικό υλικό ή αποδεικτικά στοιχεία του

συγκεκριμένου συμβάντος αυτού δεν μπορούσα να το λάβω υπόψιν.. Έτσι έβαλα ένα στόχο κατά την διάρκεια της πτυχιακής μου εργασίας, την αλίευση ξανά ενός ψαριού που να περιείχε αυτή την φορά στην κοιλιακή του χώρα μικροπλαστικά. Μέσω της πολυετούς εμπειρίας μου στην αλίευση και ανατομία των ιχθύων, καθώς και στην εύρεση και ταυτοποίηση των μικροπλαστικών στην κοιλιακή χώρα αυτών, μετά από αρκετές εξορμήσεις στο τόπο και μη, που γινόντουσαν παράλληλα οι δειγματοληψίες, το επιθυμητό αποτέλεσμα επετεύχθη στις 31/07/2023. Εκείνη την ημέρα ήμουν τυχερός επιτυγχάνοντας την αλίευση ενός ψαριού ίδιων διατροφικών συνηθειών με το προηγούμενο, που είχε παρατηρηθεί το φαινόμενο ύπαρξης πλαστικού στα σπλάχνα του. Ένα πλαστικό σωματίδιο διαστάσεων της τάξης των 5 χιλιοστών βρέθηκε στην κοιλιακή του χώρα και συγκεκριμένα μέσα στο στομάχι του. Εκτός αυτού, μέσα στο στομάχι του ανευρέθηκαν επίσης ασπόνδυλα όπως μικρές γαρίδες, όπως φαίνονται καθαρά και στις εικόνες 7.2 έως 7.4.

Το αλιευθέν μικροπλαστικό σωματίδιο απομονώθηκε και καθαρίστηκε με τον ίδιο τρόπο που διαχωρίζονταν και τα υπόλοιπα μικροπλαστικά σωματίδια από την άμμο, με την μέθοδο της διαφοράς της πυκνότητας. Το ψάρι έχει την ονομασία Καραγκίδα (*Caranx*) και βρίσκεται συνήθως σε όλες τις θάλασσες με εύκρατο ή τροπικό κλίμα. Τρέφεται κυρίως με ασπόνδυλα (γαρίδες) και μικρά ψαράκια. Πιθανόν όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 5.5.1, τα ψάρια ξεγελιούνται από το σχήμα και πιθανόν από το χρώμα των μικροπλαστικών, περνώντας τα για τροφή. Μετά την κατάποση, αν τα μικροπλαστικά δεν μπορούν να χωνευτούν μένουν για πάντα στα στομάχια των ψαριών, χάνοντας έτσι το αίσθημα της πείνας, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε θάνατο από ασιτία.



Εικόνα 7.1: Απεικόνιση του ψαριού Καραγκίδα (*Caranx*) την ώρα που έχουν διαχωριστεί τα σπλάχνα του και έχει ήδη βρεθεί το μικροπλαστικό σωματίδιο. Όπως φαίνεται και στο κάτω μέρος της φωτογραφίας, το ψάρι έχει τραφεί και με ασπόνδυλα (γαρίδα) αλλά και με ένα μικροσκοπικό σωματίδιο πλαστικού που, όπως φαίνεται σε χρώμα και σε μέγεθος, μοιάζει αρκετά με το ήδη υπάρχον φαγητό του. Το μικροπλαστικό σωματίδιο έχει σημειωθεί με μαύρο κύκλο.



Εικόνες 7.2 και 7.3 : Απεικόνιση του στομαχιού του αλιευθέντος ψαριού, όπου φαίνεται καθαρά η ύπαρξη του μικροπλαστικού σωματιδίου μαζί με τα ασπόνδυλα από τα οποία είχε τραφεί.



Εικόνα 7.4: Απεικόνιση των ειδών που είχε καταπιεί το ψάρι. Αριστερά φαίνονται δύο ασπόνδυλα, ενώ δεξιά παρατηρείται το μικροπλαστικό σωματίδιο, του οποίου η μεγαλύτερη διάμετρος είναι 5 mm.



Εικόνες 7.5 και 7.6 : Απεικόνιση του μικροπλαστικού μέσα σε νερό για να εξακριβωθεί η ταυτότητα του με την μέθοδο της διαφοράς της πυκνότητας.

Από τις φωτογραφίες στις εικόνες 7.1 έως 7.4 και όπως έχει περιγραφεί συχνά στη βιβλιογραφία (43, 58), θεωρείται πιθανό ότι κατά την διάρκεια που το ψάρι τρεφόταν, μπορεί να μπερδέψει την τροφή του με το συγκεκριμένο σωματίδιο. Επίσης, αρκετά ψάρια μεγαλύτερων διαστάσεων που τρέφονται με πλακτόν, μπορεί κατά την διάρκεια της θρέψης τους να καταπιούν μικροπλαστικά άθελα τους, τα οποία επιπλέουν και αυτά μαζί με το πλακτόν (58). Επίσης, όπως αποδείχθηκε και προσδιορίστηκε στην παρούσα εργασία, μικροπλαστικά περιέχονται τόσο στην παράκτια άμμο, όσο και στη άμμο που βρίσκεται στο βυθό της θάλασσας. Οπότε, ψάρια που φιλτράρουν την άμμο για να τραφούν, είναι αρκετά εύκολο να καταπιούν και μικροπλαστικά που περιέχονται μέσα σε αυτήν. Το θέμα των μικροπλαστικών μπορεί να πάρει πολύπλευρες διαστάσεις. Η δική μου εμπειρία απλά δίνει μια πτυχή της, το πόσο εύκολη είναι πλέον η εύρεση τους με απλές τεχνικές αλίευσης και ανατομίας σε θαλάσσιους ζωντανούς οργανισμούς. Όλα είναι ένας κύκλος, και μόλις αυτό το υλικό μπει στην τροφική αλυσίδα είναι θέμα χρόνου να καταλήξει και στον άνθρωπο.”



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της ρύπανσης με μικροπλαστικά διαμέτρου 0,1 έως 0,5 εκατοστών του παράκτιου θαλάσσιου περιβάλλοντος μιας αμμώδους παραλίας στην περιοχή «Νέα Χώρα» στην πόλη των Χανίων στην Κρήτη. Το θεωρητικό κομμάτι της εργασίας ασχολήθηκε με τη διερεύνηση της ύπαρξης μικροπλαστικών στο περιβάλλον, τον τρόπο δημιουργίας, την προέλευση, και την ταξινόμηση αυτών, καθώς και τις επιπτώσεις που έχουν στους ζώντες οργανισμούς. Το ερευνητικό κομμάτι είχε ως σκοπό τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης μάζας των μικροπλαστικών ανά όγκο ή μάζα υγρής ή ξηρής άμμου. Ταυτόχρονα προσδιορίστηκε η αριθμητική τους συγκέντρωση, ενώ τα συλλεχθέντα μικροπλαστικά ταξινομήθηκαν με βάση τις χρωματικές διαφορές, το σχήμα και τη διάμετρο τους. Επίσης στόχος της εργασίας ήταν να γίνει κατανοητή, πόσο εύκολη είναι η εύρεση και η καταμέτρηση μικροπλαστικών μέσω απλών μεθόδων συλλογής, έκπλυσης, καταμέτρησης και ταξινόμησης. Τέλος, λόγω της αγάπης για την θάλασσα, της προσωπικής εμπειρίας και των βιωμάτων μου μελετήθηκε η διασπορά μικροπλαστικών στο περιβάλλον και συγκεκριμένα σε ένα ζωντανό οργανισμό της θάλασσας. Ο στόχος αυτός επετεύχθη μέσω της αλίευσης ιχθύων και της ανατομίας αυτών για την ανεύρεση μικροπλαστικών στα εσωτερικά όργανα.

Η ερευνητική διαδικασία διεξήχθη στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Τεχνολογιών και Εφαρμογών του Τμήματος Ηλεκτρονικών Μηχανικών, επισπεύδον Τμήμα του πρώην Τμήματος Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος ΤΕ, της Σχολής Μηχανικών του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου στα Χανιά. Το σημείο συλλογής μικροπλαστικών ήταν η παράκτια ζώνη της δυτικής πλευράς της παραλίας «Νέας Χώρας» στα Χανιά της Κρήτης (όπως απεικονίζεται αναλυτικά και στις εικόνες 6.1 και 6.2).

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν ο διαχωρισμός των μικροπλαστικών από την άμμο μέσω έκπλυσης με νερό και βασιζόταν στη διαφορά της πυκνότητας των μικροπλαστικών σε σχέση με το νερό και την άμμο. Στη συνέχεια πραγματοποιούνταν ο καθαρισμός, η ξήρανση, η ζύγιση και η ταξινόμηση αυτών με βάση το σχήμα, το χρώμα και τη διάμετρο, όπως περιγράφεται και στη βιβλιογραφία.

Κατά τη διεξαγωγή της εργασίας παρήχθησαν σημαντικά αποτελέσματα, τα οποία συνοψίζονται στη συνέχεια.

1. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία υπολογίστηκε μια μέση συγκέντρωση  $43,31 \pm 17,21 \mu\text{g}$  μικροπλαστικών ανά g ξηρής άμμου ή  $0,06 \pm 0,02 \text{ g}$  μικροπλαστικών ανά L ξηρής άμμου κατά το διάστημα των μετρήσεων.
2. Η συνολική ποσότητα μικροπλαστικών που συλλέχθηκε σε όλη την διάρκεια των δειγματοληψιών από το σημείο δειγματοληψίας, ήταν 17,603 g και αντιστοιχούσε 320 L υγρής άμμου. Αυτή η ποσότητα αντιστοιχεί στην υπολογισθείσα προηγουμένως συγκέντρωση μικροπλαστικών  $0,06 \text{ g/L}$  υγρής άμμου.
3. Κατά τους μήνες Μάιο και Οκτώβριο που πραγματοποιήθηκαν περισσότερες αριθμητικά δειγματοληψίες, φαίνεται ξεκάθαρα μια σταδιακή μείωση της συγκέντρωσης των μικροπλαστικών λόγω των επαναλαμβανόμενων δειγματοληψιών. Ταυτόχρονα καταγράφηκαν μέγιστες συγκεντρώσεις μικροπλαστικών, όταν μεσολαβούσαν μακρά διαστήματα χωρίς δειγματοληψίες. Αποτέλεσμα που αποδεικνύει τη συνεχή απόθεση μικροπλαστικών στην παράκτια άμμο.
4. Ο συνολικός αριθμός μικροπλαστικών που συλλέχθηκε, ήταν  $418 \# \text{ M.Π./320 L}$  υγρής άμμου, ενώ η μέση αριθμητική συγκέντρωση αυτών ήταν  $1,03 \# \text{ M.Π./kg}$  ξηρής άμμου ή  $1,3 \# \text{ M.Π./L}$  (ή  $1.300 \# \text{ M.Π./m}^3$ ) υγρής άμμου.
5. Σχετικά με την ταξινόμηση των τύπων των μικροπλαστικών με βάση το σχήμα τους, παρατηρήθηκε ότι ο αριθμός των πλαστικόσφαιρων σε όλα δείγματα ήταν σημαντικά μικρότερος από τον αριθμό των θραυσμάτων. Παρατηρήθηκε ότι κατά μέσο όρο μόλις το 17% ήταν πλαστικόσφαιρες σε σχέση με τα υπόλοιπα μικροπλαστικά θραύσματα που αντιστοιχούσαν σε 83%.
6. Κατά τις δειγματοληψίες δεν συλλέχθηκαν καθόλου ίνες και νήματα μικροπλαστικών.
7. Τα μέσα ποσοστά ταξινόμησης των μικροπλαστικών ανά χρώμα καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών ήταν τα ακόλουθα: 61% χωρίς χρώμα, 16% μπλε, 11% καφέ, 5% κόκκινα, 4% πράσινα και 3% κίτρινα.

8. Όσον αφορά την ταξινόμηση των συλλεχθέντων μικροπλαστικών με βάση τη διάμετρο τους επικρατούσαν δύο κλάσματα μεγέθους. Τα μικροπλαστικά με διάμετρο από 0,3 έως 0,5 εκατοστά ήταν περισσότερα ποσοτικά σε σχέση με αυτά, των οποίων η διάμετρος κυμαινόταν από 0,1 έως 0,3 εκατοστά στις 15 από τις συνολικά 16 ημερομηνίες δειγματοληψίας. Η μέση ποσοστιαία αναλογία τους είναι 62% προς 38 % αντίστοιχα.

Για την καλύτερη κατανόηση και οπτικοποίηση των επιπτώσεων της ρύπανσης του θαλάσσιου και παράκτιου περιβάλλοντος με μικροπλαστικά εξετάστηκαν δύο περιπτώσεις μελέτης.

1. Υπολογίστηκε ότι δυνητικά κάθε 203 λίτρα ξηρής άμμου (από την εξεταζόμενη στην παρούσα πτυχιακή παραλία) θα μπορούσαν να περιέχουν 12,2 g μικροπλαστικών διαμέτρου 0,1-0,5cm, τα οποία δυνητικά θα μπορούσαν να έχουν προέλθει από τον τεμαχισμό ενός πλαστικού μπουκαλιού νερού όγκου ½ L. Και αν αυτό δεν φαντάζει πολύ, σε μία παραλία εμβαδού 1.000.000 m<sup>2</sup> με επιφανειακό όγκο άμμου περίπου στα 3.000.000 m<sup>3</sup>, δυνητικά μπορούν να υπάρχουν περίπου 14.780 πλαστικά μπουκάλια όγκου ½ L σε μορφή μικροπλαστικών διαμέτρου 0,1-0,5cm. Συνεπώς, 180 Kg πλαστικού θα μπορούσαν να βρίσκονται σε μορφή μικροπλαστικών (d: 0,1-0,5cm) στην εν λόγω παραλία επιφανειακά έως βάθος 3 μέτρων. Αυτή η παραλία θα μπορούσε να είναι μια παραλία, η οποία αποτελεί τουριστικό θέρετρο ή ακόμα και περιβαλλοντικό καταφύγιο για ζώα, φυτά, πτηνά κ.ά.
2. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας επετεύχθη η αλίευση ενός ιχθύος του γένους *Καραγκίδα (Caranx)*, το οποίο έφερε στον γαστρεντερικό του σύστημα ένα πλαστικό σωματίδιο διαστάσεων της τάξης των 5 χιλιοστών. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει το μέγεθος του προβλήματος της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος με μικροπλαστικά και τη βιοσυσσώρευση τους στην τροφική αλυσίδα.

Σχετικά με την επίδραση της τουριστικής περιόδου στον εμπλουτισμό της εξετασθείσας παραλίας από μικροπλαστικά, δεν μπόρεσε να διαπιστωθεί κάποια συσχέτιση

ή κάποια αύξηση της συγκέντρωσης αυτών (Βλέπε διάγραμμα 7.1). Αυτό το αποτέλεσμα δείχνει, ότι η τουριστική περίοδος δεν παίζει άμεσο ρόλο στην εναπόθεση και συγκέντρωση των μικροπλαστικών στην χρονικά κοντινή περίοδο που γινόντουσαν οι δειγματοληψίες. Αυτό ταυτόχρονα είναι αναμενόμενο και λογικό, γιατί για να δημιουργηθούν τα μικροπλαστικά από ένα πλαστικό απόρριμμα που έχει προέλθει από την τουριστική περίοδο, πρέπει να περάσει αρκετό χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα να διασπαστεί σε μεγάλες χρονικές περιόδους και στη συνέχεια να εναποτεθεί.

Ταυτόχρονα, οι χρωματικές διαφορές των μικροπλαστικών που προαναφέρθηκαν, έδειξαν αισθητές διαφορές και κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών μεμονωμένα αλλά και κατά μέσο όρο. Αυτό το αποτέλεσμα αξιολογήθηκε σαν αντίκτυπο της προτίμησης των βιομηχανιών και των ίδιων των καταναλωτών αλλά και ταυτόχρονα της διαφοράς του κόστους των χρωμάτων. Επίσης, με βάση τη βιβλιογραφία τα μικροπλαστικά όταν είναι για μεγάλη χρονική περίοδο ελεύθερα στο περιβάλλον και στις εξωτερικές συνθήκες, μπορούν να αποχρωματιστούν, να ξεθωριάσουν ή να παρουσιάσουν ένα ελαφρύ κιτρίνισμα. Κάποιες από αυτές τις συνθήκες που οδηγούν στον αποχρωματισμό είναι η ακτινοβολία του ήλιου, η υγρασία και η μηχανική τριβή του νερού και του αέρα.

Όσον αφορά στην ταξινόμηση των μικροπλαστικών με βάση το σχήμα παρατηρήθηκε όπως αναφέρθηκε, αισθητή διαφορά μεταξύ της αριθμητικής συγκέντρωσης των θραυσμάτων και των πλαστικόσφαιρων. Αυτό μπορεί πιθανόν να οφείλεται εν μέρει στην κύρια προέλευση των πλαστικόσφαιρων, δηλαδή στην προέλευση από τον πρωτογενή τομέα που προορίζονταν για την παραγωγή πλαστικού. Αντίθετα τα θραύσματα προέρχονται από κατακερματισμό ή αποικοδόμηση των ήδη υπαρχόντων πλαστικών που είναι ελεύθερα για μεγάλο χρονικό διάστημα στο περιβάλλον. Η πλήρης απουσία των ινών και των νημάτων από τις δειγματοληψίες μπορεί να οφείλεται στη διαφορά πυκνότητας και μεγέθους σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μικροπλαστικά με αποτέλεσμα να μην μπορούν να συλλεχθούν. Το θέμα αυτό όμως χρειάζεται πιο εκτενή μελέτη και διερεύνηση.

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας μπορούν και αυτά να βάλουν το λιθαράκι τους στην περιβαλλοντική επιστήμη. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των μικροπλαστικών σε μία παραλία ανά όγκο και μάζα άμμου μπορεί να αποτελέσει την αρχή της κατανόησης του προβλήματος και των επιπτώσεων που μπορεί να προκαλέσει μελλοντικά. Επίσης, αυτά τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για

περαιτέρω έρευνες και αναλύσεις σχετικά με την προέλευση, την εξάπλωση και τις επιπτώσεις των μικροπλαστικών στο περιβάλλον.

Επιπλέον, η αύξηση του αριθμού των μικροπλαστικών στις παραλίες είναι σημαντική για την καθημερινή ζωή, καθώς έχει άμεσες επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και των θαλάσσιων οργανισμών. Αυτά τα ευρήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ευαισθητοποίηση τόσο του κοινού όσο και των αρμόδιων αρχών σχετικά με την ανάγκη για δράση, προκειμένου να περιοριστεί αρχικά η χρήση του πλαστικού, που θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της παρουσίας των μικροπλαστικών στο περιβάλλον και την προστασία της υγείας του ανθρώπου και της φύσης.

Η απαγόρευση απόρριψης πλαστικών στο περιβάλλον και ο καθαρισμός του θαλάσσιου περιβάλλοντος από τα πλαστικά και μικροπλαστικά μέσω της μηχανικής συλλογής αυτών είναι αναγκαίος για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος. Ταυτόχρονα είναι αδύνατον να συλλεχθούν μικροπλαστικά από το θαλάσσιο περιβάλλον χωρίς την ταυτόχρονη συλλογή και άλλων υλικών, όπως για παράδειγμα φυκιών, πετρών, πλακτόν κ.ά. Η βασικότερη όμως δράση είναι η μείωση πλαστικών στην πηγή. Η συλλογή αυτών από μόνη της δεν θα μπορέσει να αποδώσει την ώρα που η πηγή του προβλήματος της ρύπανσης με μικροπλαστικά και πλαστικά είναι η ανεξέλεγκτη χρήση και μη περιβαλλοντικά ορθή απόρριψη και επαναχρησιμοποίηση αυτών. Μία εύστοχη παρομοίωση του προβλήματος της αποκατάστασης του περιβάλλοντος μέσω της συλλογής των μικροπλαστικών είναι ένα σπίτι που έχει πλημμυρίσει με νερά, στο οποίο πρώτα γίνεται προσπάθεια να συλλεχθούν τα νερά με σφουγγαρίστρα χωρίς να έχει επιδιορθωθεί και σταματήσει η διαρροή νερού [58]. Αξία της όλης κινητοποίησης και ευαισθητοποίησης είναι να δοθεί έμφαση στο πώς αρχικά θα σταματήσει η εισχώρηση πλαστικών και ταυτόχρονα μικροπλαστικών στο περιβάλλον και στη συνέχεια να εξεταστούν τρόποι καθαρισμού του περιβάλλοντος από αυτά. Σημαντικό ρόλο σε αυτό παίζει ο κάθε άνθρωπος ξεχωριστά σαν μονάδα, γιατί μπορεί να επιλέξει βιωσιμότερες επιλογές υλικών αντί του μίας χρήσεως πλαστικού, αλλά και να προβεί σε σημαντική μείωση του. Προσφέρονται πλέον στη σημερινή εποχή αρκετές εναλλακτικές λύσεις αντικατάστασης του πλαστικού υλικού ή μείωσης του, όπως για παράδειγμα μέσω της χρήσης επαναχρησιμοποιούμενων φιαλών νερού και σακούλων μεταφοράς μέχρι και υλικών που είναι πιο βιώσιμα προς το περιβάλλον ή δεν το επιβαρύνουν (π.χ. μία βιοδιασπώμενη οδοντόβουρτσα από μπαμπού).

Επίσης, όπως είναι γνωστό, τα περισσότερα μικροπλαστικά αστικής προέλευσης μεταφέρονται μέσω του αποχετευτικού δικτύου στα κέντρα επεξεργασίας λυμάτων. Τα τελευταία χρόνια έχουν ήδη αναπτυχθεί τεχνολογίες μείωσης των μικροπλαστικών σε όλες τις διαδικασίες επεξεργασίας λυμάτων. Ταυτόχρονα θα πρέπει ακόμα να αναπτυχθούν τεχνολογίες απομάκρυνσης μικροπλαστικών και κυρίως ινών από την παραγόμενη λυματολάσπη.

Τέλος, αυτή η έρευνα μπορεί να έχει εφαρμογές σε προϊόντα και υπηρεσίες που σχετίζονται με την προστασία του περιβάλλοντος. Οι επιχειρήσεις και οι καταναλωτές μπορούν να επιλέγουν πιο φιλικές προς το περιβάλλον επιλογές και πρακτικές, βασιζόμενοι στην ενημέρωση που παρέχει αυτή η έρευνα μέσω μέσων μαζικής ενημέρωσης ή ακόμα και μέσω προσωπικής έρευνας και ευαισθητοποίησης.

Συνοψίζοντας έγινε επίσης κατανοητό ότι μέσω απλών μεθόδων δειγματοληψίας και εξοπλισμού είναι πολύ εύκολη η εύρεση μικροπλαστικών στο περιβάλλον και ότι αυτό το περιβαλλοντικό πρόβλημα πλέον είναι ολοφάνερο. Όσον αφορά στη προσωπική μου εμπειρία στο κόσμο της υποβρύχιας αλίευσης, οι εικόνες 7.1 έως 7.6 μιλάνε από μόνες τους.

Μία μελλοντική προοπτική και εξέλιξη της εργασίας αυτής είναι :

1. Μελέτη των τοξικών ιδιοτήτων των μικροπλαστικών και πως αυτά θα μπορούσαν να επηρεάσουν τους οργανισμούς της παραλίας αλλά και τον ίδιο τον άνθρωπο.
2. Κατά την δειγματοληψία των μικροπλαστικών δεν παρατηρήθηκαν καθόλου ίνες μικροπλαστικών. Σχετικά με αυτό θα μπορούσε να διεξαχθεί έρευνα με σκοπό τη συλλογή, το διαχωρισμό και τον προσδιορισμό ινών με διαφορετικές μεθόδους δειγματοληψίας και παρατήρησης.
3. Επίσης θα μπορούσε να διεξαχθεί μια μελέτη για την συνεισφορά των μετεωρολογικών παραμέτρων (π.χ. κυματισμός, αέρας, ρεύματα κ.ά.) στη μεταφορά, απόθεση και αυξομείωση της συγκέντρωσης των μικροπλαστικών σε παραλίες καθώς και στον ρυθμό ανανέωσης τους σε αυτές.
4. Επιπλέον θα μπορούσε να διενεργηθεί ανάλυση των μικροπλαστικών με σκοπό την ανακάλυψη του τόπου προέλευσης τους και του χρονικού διαστήματος που ήταν ελεύθερα στο περιβάλλον.

5. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η μικροβιολογική ανάλυση της μικροβιακής κοινότητας που έχει εγκατασταθεί επάνω σε αυτά και μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον, καθώς και η πληροφορία σχετικά με το ποια από αυτά τα μικρόβια μπορεί να προέρχονται από άλλες θάλασσες και τόπους.
6. Επίσης θα μπορούσε να ερευνηθεί με κατάλληλο εργαστηριακό εξοπλισμό ο προσδιορισμός μικρότερων μικροπλαστικών και νανοπλαστικών.
7. Τέλος θα ήταν πολύ ενδιαφέρουσα η μελέτη συσσώρευσης μικροπλαστικών σε θαλάσσιους οργανισμούς.

Το πλαστικό πλέον είναι ένα υλικό που έχει αφήσει αιώνιο αποτύπωμα στο περιβάλλον. Ακόμα και εκατομμύρια χρόνια να περάσουν από την ημέρα που δεν θα παραχθεί άλλο πλαστικό, στην σφαίρα του περιβάλλοντος θα υπάρχουν πλαστικά και μικροπλαστικά. Επίσης, λόγω των βιομηχανικών και χρηστικών πλεονεκτημάτων του, το ανθρώπινο είδος πιθανότατα δεν θα πάψει ποτέ να το χρησιμοποιεί ακόμα και με αυστηρούς νόμους. Είναι ένα υλικό που καλώς ή κακώς βοήθησε πάρα πολύ την ανθρωπότητα σε πολλούς τομείς και την έκανε να εξαρτάται από αυτό. Αυτή τη στιγμή όμως πνίγεται σε αυτό ψάχνοντας τρόπους αντικατάστασης ή μείωσης του. Η ευαισθητοποίηση του κάθε ανθρώπου σαν μονάδα ξεχωριστά και η επιλογή του να μειώσει την χρήση του θα παίξει καθοριστικό ρόλο στα επόμενα χρόνια για την ύπαρξη του υλικού αυτού και την εξυγίανση του περιβάλλοντος.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Matt Simon .(2022). *The World is Drowning in Plastic. Here is How it All Started*. Wired. [online]. Διαθέσιμο από: <https://www.wired.com/story/the-world-is-drowning-in-plastic-heres-how-it-all-started/?ref=upstract.com> . [Προσβάσιμο στις 16/08/2023].
2. Newsroom— HuffPost Greece. (2022). *Η Απίθανη ιστορία του πλαστικού : Πως δημιουργήθηκε το υλικό που <<πνίγει>> τον πλανήτη*. [online]. Διαθέσιμο από: [https://www.huffingtonpost.gr/entry/e-apithane-istoria-toe-plastikoe-pos-demioeryetheke-to-eliko-poe-pniyei-ton-planete\\_gr](https://www.huffingtonpost.gr/entry/e-apithane-istoria-toe-plastikoe-pos-demioeryetheke-to-eliko-poe-pniyei-ton-planete_gr) . [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
3. Wikipedia. (2020). *Πολυμερισμός*. [online]. Διαθέσιμο από: <https://el.wikipedia.org/wiki/Πολυμερισμός> [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
4. Chemicals in our life, 2020. *Δισφαινόλη Α*. ECHA European chemicals agency. [online]. Διαθέσιμο από: <https://chemicalsinourlife.echa.europa.eu/el/bisphenol-a> (Προσβάσιμο στις 16/08/2023)
5. Meteco AE, 2017. *Λίγα λόγια για το πλαστικό*. [online] Διαθέσιμο από: <https://metals.meteco.gr/2017/01/04/liga-logia-gia-to-plastiko> [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
6. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2023. *Ταξινόμηση των πλαστικών*. [online]. Διαθέσιμο από: <https://trade.ec.europa.eu/access-to-markets/el/content/taxinomisi-ton-plastikon> [Προσβάσιμο στις 16/08/2023].
7. Παπαδημητρίου, Σ. (2016). *Ακολουθώντας την γραμμή παραγωγής-Στην βιομηχανία των πλαστικών*. EducationalTvGreece (youtube). Διαθέσιμο από: <https://www.youtube.com/watch?v=QyH-m-h8acg> .[Προσβάσιμο στις 16/08/2023].



8. GReenliving.GR.(2018). *Μαθαίνουμε για τα είδη του πλαστικού*. [online]. Διαθέσιμο από: <https://greenliving.gr/2018/05/23/the-categories-of-plastic/> .[Προσβάσιμο στις 16/08/2023].
9. Hannah R., Roser M. (2022). *Plastic pollution*. Our world in data.[online]. Διαθέσιμο από: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>. [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
10. OECDilibrary. *The effects of the COVID-19 pandemic on plastics use and waste*. [online]. Διαθέσιμο από: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/9e4fd47f-en/index.html?itemId=/content/component/9e4fd47f-en> [Προσβάσιμο στις 16/08/2023].
11. Le Lee K. J., Wong S. F. (2023). *Comparative environmental and socioeconomic assessment on mixed plastic waste management: A Singapore case study*. Science of the total environment 893, 164884. [online]. Διαθέσιμο από: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723035076> [Προσβάσιμο στις 16/08/2023].
12. Guern, C. L., (2019). *When the mermaids cry: The great plastic tide*. Coastal Care [online]. Διαθέσιμο από: [Plastic Pollution \(plastic-pollution.org\)](https://plastic-pollution.org/). [Προσβάσιμο στις 16/08/2023].
13. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2021. *Πλαστικά στους ωκεανούς: στοιχεία, επιπτώσεις και νέοι κανόνες*. [online]. Διαθέσιμο από: <https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/society/20181005STO15110/plastika-stous-okeanous-stoicheia-epiptoseis-kai-neoi-kanones>. [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
14. Fava, M., 2022. *Ocean plastic pollution an overview: data and statistics*. UNESCO. [online]. Διαθέσιμο από: <https://oceanliteracy.unesco.org/plastic-pollution-ocean/>.

[Προσβάσιμο στις 16/08/2023]

15. IUCN. (2021). *Marine plastic pollution*. [online]. Διαθέσιμο από: <https://www.iucn.org/resources/issues-brief/marine-plastic-pollution> .  
[Προσβάσιμο στις 16/08/2023].
16. NRDC. (2022). *Ocean Pollution: The Dirty Facts* [online]. Διαθέσιμο από: <https://www.nrdc.org/stories/ocean-pollution-dirty-facts>. [Προσβάσιμο στις 16/08/2023].
17. Totus environmental. (2022). *End of life plastics: What is the solution ?* [online]. Διαθέσιμο από: <https://totusenvironmental.com/totus-life/article/end-of-life-plastics-what-is-the-solution> . [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
18. Ryan Deer.(2021). *What does closed-Loop recycling mean*. ROADRUNNER. [online]. Διαθέσιμο από: <https://www.roadrunnerwm.com/blog/what-does-it-mean-to-close-the-loop#comments-listing> .[Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
19. Greenagenda. (2018). *Μετατροπή πλαστικών αποβλήτων σε χρησιμοποιημένη ενέργεια*. [online]. Διαθέσιμο από: <https://greenagenda.gr>. [Προσβάσιμο στις 16/08/2023].
20. WWF. (2022). *Is biodegradable and compostable plastic good for the environment ? Not necessarily* [online]. Διαθέσιμο από: <https://www.worldwildlife.org/blogs/sustainability-works/posts/is-biodegradable-and-compostable-plastic-good-for-the-environment-not-necessarily> [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
21. European Commission. *Biobased, biodegradable, and compostable plastics* [online]. Διαθέσιμο από: [https://environment.ec.europa.eu/topics/plastics/biobased-biodegradable-and-compostable-plastics\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/plastics/biobased-biodegradable-and-compostable-plastics_en) . [Προσβάσιμο στις 16/08/2023].

22. Newsroom.(2021). Έρευνα για τα «δίχτυα – φαντάσματα». CNN. [online]. Διαθέσιμο από: <https://www.cnn.gr/perivallon/story/268104/ereyna-gia-ta-dixtya-fantasma-poy-stoixeionoun-tis-aktes-tis-xavais> . [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
23. Thermie.gr.(2019). Δίχτυα γεμάτα με ψάρια αλλά και πλαστικό θγάζουν οι τράτες. Επικαιρότητα. [online]. Διαθέσιμο από: <https://thermie.gr/3694-2/> . [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
24. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. (2023). Πλαστικά απόβλητα και ανακύκλωση στην ΕΕ: γεγονότα και αριθμητικά στοιχεία. Επικαιρότητα. [online]. Διαθέσιμο από: [https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/society/20181212STO21610/plastika-apovlita-kai-anakuklosi-stin-ee-gegonota-kai-arithmitika-stoicheia#ssh\\_slides](https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/society/20181212STO21610/plastika-apovlita-kai-anakuklosi-stin-ee-gegonota-kai-arithmitika-stoicheia#ssh_slides) . [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
25. Layra Parker.(2016). *We made plastic. We depend on it. Now We are drowning on it.* WWF.[online]. Διαθέσιμο από: <https://www.nationalgeographic.com/magazine/article/plastic-planet-waste-pollution-trash-crisis> [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
26. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. (2023). Κυκλική οικονομία: χρησιμοποιήσετο ξανά. Επικαιρότητα [online]. Διαθέσιμο από: <https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/economy/20151201STO05603/kukliki-oikonomia-chrisimopoiise-to-xana> [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
27. European environment agency. (2023). *Microplastics from textiles: towards a circular economy for textiles in Europe.* [online]. Διαθέσιμο από: <https://www.eea.europa.eu/publications/microplastics-from-textiles-towards-a> [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]

28. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (2018). *Μικροπλαστικά: πηγές, επιπτώσεις , λύσεις*. Επικαιρότητα. [online]. Διαθέσιμο από: <https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/priorities/kukliki-oikonomia-kai-meiosi-apovliton/20181116STO19217/mikroplastika-piges-epiptoseis-luseis> . [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
29. Horiba scientific. *Where the microplastics come from?* [online]. Διαθέσιμο από: <https://www.horiba.com/ind/scientific/resources/science-in-action/where-do-microplastics-come-from/#:~:text=Synthetic%20textiles%20are%20the%20single,Why%3F> [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
30. Ali Shah A., Hasan F., Hammed A., Ahmed S., (2008). *Biological degradation of plastics: a comprehensive review*. [online]. Biotechnology Advances. 26(3) . 246-265. Διαθέσιμο από: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.005> [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
31. Zeenat, Elahi A., Bujhari A D., Shamim S., Rehman A. (2021). *Plastics degradation by microbes: A sustainable approach*. [online]. Journal of king Saud University Science. 22(6). Διαθέσιμο από: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101538> [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
32. Zhang K., Hamidian H. A., Tubic A., Zhang Y., Fang K. H James., Wu Chenxi., Lam K.S Paul. (2021). *Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review*. [online]. Environmental pollution. 274. Διαθέσιμο από: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116554> . [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
33. Tirkey A., Upadhyay L. S. B. (2021). *Microplastics: An overview on separation, identification, and characterization of microplastics*. [online]. Marine pollution bulletin. 170. Διαθέσιμο από: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112604> . [Προσβάσιμο στις 16/08/2023].

34. Andrady A. L. (2017). *The plastic in microplastics: A review. Marine Pollution Bulletin.* [online]. 119 (1). 12-22. Διαθέσιμο από: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082> . [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
35. Gerrite J., Leslie A. H., Tender A. Caroline. Devriese I. L., Vethaak D. A. (2020). *Fragmentation of plastic objects in a laboratory seawater microcosm. Scientific reports.*[online]. 10 (10945). Διαθέσιμο από: [Fragmentation of plastic objects in a laboratory seawater microcosm | Scientific Reports \(nature.com\)](https://doi.org/10.1038/s41598-020-71444-4) . [Προσβάσιμο στις 16/08/2023]
36. Andrady A.L., Barnes P.W., Bournman J.F., Gouin T., Madronich S., White C.C., Zepp R.G., Jansen M.A.A. (2022). *Oxidation and fragmentation of plastics in a changing environment; from UV-radiation to biological degradation.* Science of the total environment.[online]. 851(2). Διαθέσιμο από: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158022> [Προσβάσιμο στις 16/08/2023].
37. Rosal R.(2021). *Morphological description of microplastic particles for environmental fate studies. Marine Pollution Bulletin.*[online]. 171. Διαθέσιμο από: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112716>. [Προσβάσιμο στις 16/08/2023].
38. Agenda.(2020). *This is how much plastic scientists now think is at the bottom of the ocean. World economic Forum.*[online]. Διαθέσιμο από: [How much plastic is in the ocean and what we can do about it? | World Economic Forum \(weforum.org\)](https://www.weforum.org/articles/2020/08/20/how-much-plastic-is-in-the-ocean-and-what-we-can-do-about-it/) [ Προσβάσιμο στις 20/08/2023].
39. Xu Z., Bai X., Ye Z.(2021). *Removal and generation of microplastics in wastewater treatment plants: A review.* Journal of cleaner Production.[online]. 291. Διαθέσιμο από: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125982> [Προσβάσιμο στις 20/08/2023]

40. Gao Z., Chen L., Cizdziel J., Huang Y. (2023). *Research progress on microplastics in wastewater treatment plants: A holistic review*. Journal of environmental management.[online]. 325. Διαθέσιμο από: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116411> [Προσβάσιμο στις 20/08/2023]
41. Sajja M., Qing H., Khan S., Khan A. M., Liu Y., Wang J., Lian F., Wang Faqin., Guo G.(2022). *Microplastics in the soil environment: A critical review*. Environmental Technology and Innovation. [online]. 27. Διαθέσιμο από: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102408> . [Προσβάσιμο στις 20/08/2023]
42. Woods Hole oceanographic institution.(2020). *It is not just the fish swim in the sea, but microplastics also*. I4kompasiana. [online]. Διαθέσιμο από : [Bukan Cuma Ikan yang Berenang di Laut, Mikroplastik Juga Halaman 1 - Kompasiana.com](https://www.kompasiana.com/berang-di-laut-mikroplastik-juga-halaman-1-kompasiana.com) [Προσβάσιμο στις 20/08/2023].
43. Lower St Johns River. *EMERGING CONTAMINANTS: MICROPLASTICS*. [online]. Διαθέσιμο από: [Highlight: Emerging Contaminants: Microplastics | State of the River Report for the Lower St. Johns River Basin \(unf.edu\)](https://www.unf.edu/reports/highlight-emerging-contaminants-microplastics-state-of-the-river-report-for-the-lower-st-johns-river-basin) . [Προσβάσιμο στις 20/08/2023]
44. Ding L., Huang D., Quyang Z., Guo X. (2022). *The effects of microplastics on soil ecosystem: A review*. Current Opinion in environmental science and Heald.[online]. 26. Διαθέσιμο από : <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2022.100344> [Προσβάσιμο στις 20/08/2023]
45. Γρίβα Χ.(2022). *Τα μικροπλαστικά από τον Πλανήτη στην τροφική αλυσίδα*.CNN Greece.[online]. Διαθέσιμο από: <https://www.cnn.gr/perivallon/story/313698/ta-mikroplastika-apo-ton-planiti-stin-trofiki-alytida> [Προσβάσιμο στις 20/08/2023]
46. Laura P.(2023). *Microplastics are in our bodies. How much do they harm us?*. National Geographic.[online]. Διαθέσιμο από: [Microplastics are in our bodies. How much do they harm us? \(nationalgeographic.com\)](https://www.nationalgeographic.com/science/microplastics-are-in-our-bodies-how-much-do-they-harm-us/) [Προσβάσιμο στις 20/08/2023]

47. Leslie A. H., van Velzen J.M Martin., Brandasma H.S., Dick Vethaak A., Garcia-Vallejo J.J., Lamoree M. H. (2022). *Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood*. Environment International. [online]. 163. Διαθέσιμο από: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199> . [Προσβάσιμο στις 20/08/2023]
48. Gola D., Tyagi P. K., Arya A., Chauhan N., Agarwal M., Singh S.K., Gola S. (2021). *The impact of microplastics on marine environment: A review*. Environmental Nanotechnology Monitoring and Management. [online]. Διαθέσιμο από: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100552> [Προσβάσιμο στις 20/08/2023]
49. Schmid C., Cozzarini L., Zambello E.(2021). *Microplastic's story*. Marine pollution bulletin. vol 162. [online]. Διαθέσιμο από : <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111820>. [Προσβάσιμο στις 20/08/2023]
50. Bucknall D., (2020). *Plastics as a materials system in a circular economy*. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. vol. 378, no. 2176, 20190268, [online] Διαθέσιμο από: <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0268> [Προσβάσιμο στις 20/08/2023]
51. Payne J., McKeown P., Jones M. D. (2019). *A circular economy approach to plastic waste*, Polymer Degradation and Stability 165, ISSN 0141-3910. [online]. Διαθέσιμο από: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2019.05.014> [Προσβάσιμο στις 20/08/2023]
52. General Kinematics, (2020). *The life cycle of plastic*. [online] Διαθέσιμο από: <https://www.generalkinematics.com/blog/the-life-cycle-of-plastic/> [Προσβάσιμο στις 20/08/2023]
53. Hermabessiere L., Dehaut A., Paul-Pont I., Lacroix C., Jezequel R., Soudant P., Duflos G., (2017). *Occurrence and effects of plastic additives on marine environments and*

*organisms: A review*. Chemosphere [online] (182), 781-793, ISSN 0045-6535. [online].

Διαθέσιμο από: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.096>

[Προσβάσιμο στις 20/08/2023]

54. Baheti Payal Dr. *How is plastic made? A simple step by step explanation*. BPF. [online].

Διαθέσιμο από: [How Is Plastic Made? A Simple Step-By-Step Explanation \(bpf.co.uk\)](http://www.bpf.co.uk/How-Is-Plastic-Made-A-Simple-Step-By-Step-Explanation).

[Προσβάσιμο στις 20/08/2023]

55. Geyer R., Jambeck J. R., Law K. L., (2017). *Production, use, and fate of all plastics ever made*. Research Article, Science Advances. vol.3, no.7, 1700782. [online].

[Προσβάσιμο στις 20/08/2023]

56. Protagon.(2016). *Τι είναι ο ΧΥΤΑ*. [online]. Διαθέσιμο από : [Τι είναι ο ΧΥΤΑ | Protagon.gr](http://www.protagon.gr)

[Διαθέσιμο στις 20/08/2023]

57. BIONENVIRO(2022). *Reduce, Reuse and Recycle: The Plastic Pollution Survival Guide*.

BIO-ENVIRO. [online]. Διαθέσιμο από: [Reduce, Reuse and Recycle: The Plastic Pollution Survival Guide | BioEnviro](http://www.bioenviro.org/Reduce-Reuse-and-Recycle-The-Plastic-Pollution-Survival-Guide).

[Προσβάσιμο στις 20/08/2023]

58. Καραπαναγιώτη Χ. Κ., 2020. *Μικροπλαστικά*. Εκδόσεις ΕΑΠ 2020, Αθήνα

59. Agrininews, (2022). *Ξεκίνησε το μεγάλο κυνήγι των μικροπλαστικών στην Πάτρα*.

[online]. Διαθέσιμο από: [Ξεκίνησε «το μεγάλο κυνήγι των μικροπλαστικών» στην Πάτρα \(agrinionews.gr\)](http://www.agrinionews.gr)

[Προσβάσιμο στις 01/09/2023].

60. Chatziparaskeva G., Papamichael I., Zorpas A. A. (2022). *Microplastics in the coastal environment of Mediterranean and the impact on sustainability level*. Sustainable Chemistry and Pharmacy, 29, 100768. [online]. Διαθέσιμο από:

<https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100768> . [Προσβάσιμο στις 14/09/2022].



61. GESAMP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Pollution (2015). *Sources, Fate, and Effects of Microplastics in the Marine Environment: A Global Assessment*. International Maritime Organization, London, U.K. [online]. Διαθέσιμο από: <http://www.gesamp.org/publications/reports-and-studies-no-90> . [Προσβάσιμο στις 06/11/2022].
62. MSFD GES Technical Subgroup on Marine Litter (2013) *Monitoring Guidance for Marine Litter in European Seas*. Draft Report of European Commission. Brussels.
63. Scattolon W. (2012). *Interesting fact about the Halton Waste Management Site's Construction*. [online] Διαθέσιμο από : [Προσβάσιμο στις 18/11/2023] <https://haltonrecycles.wordpress.com/2012/09/24/interesting-facts-about-the-halton-waste-management-sites-construction/>
64. Booth M. A., Kubowicz S., Krause B., (2017). *Unrestricted Report Microplastic in global and Norwegian marine environments: Distributions, degradation mechanisms and transport*. Research Gate. [online]. Διαθέσιμο από : [https://www.researchgate.net/publication/324389587\\_M-9182017-Unrestricted\\_Report\\_Microplastic\\_in\\_global\\_and\\_Norwegian\\_marine\\_environment\\_s\\_Distributions\\_degradation\\_mechanisms\\_and\\_transport\\_Authors](https://www.researchgate.net/publication/324389587_M-9182017-Unrestricted_Report_Microplastic_in_global_and_Norwegian_marine_environment_s_Distributions_degradation_mechanisms_and_transport_Authors) . [Προσβάσιμο στις 18/11/2023]
65. Digital Zoot, (2023). *ΣΤ' ΤΑΞΗ - ΦΥΣΙΚΗ – ΕΝΕΡΓΕΙΑ, Φ.Ε. 4: Επεξεργασία του αργού πετρελαίου*. [online]. Διαθέσιμο από : <https://digitalzoot.weebly.com/phiepsilon4-epsilonpiepsilonxiepsilonpsilonrhogammaalphasigma943alpha-tauomicronupsilon-alpha rhogammaomicron973-piepsilontaurhoeepsilonpsilonlambdalpha943omicronupsilon.html> [Προσβάσιμο στις 20/11/2023]