



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

Σχολή Χημικών Μηχανικών και  
Μηχανικών Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

# ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΕΕΛ ΧΑΝΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΛΟΥΚΑ ΗΛΙΑ



ΧΑΝΙΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ, 2023

"Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης".



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

Σχολή Χημικών Μηχανικών και  
Μηχανικών Περιβάλλοντος

**Κατεύθυνση:** Μηχανικών Περιβάλλοντος

# ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΕΕΛ ΧΑΝΙΩΝ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΟΥ**

**ΛΟΥΚΑ ΗΛΙΑ**

*ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:*

ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΓΚΙΚΑΣ ΠΕΤΡΟΣ

ΣΥΡΑΝΙΔΟΥ ΕΥΔΟΚΙΑ

Η παραγωγή των πλαστικών προϊόντων έφερε την επανάσταση στη βιομηχανία στα δεύτερα μισά του εικοστού αιώνα. Η εύκολη μορφοποίηση τους σε οποιοδήποτε σχήμα, η στείριότητα, η δυνατότητα μιας χρήσης καθώς και το χαμηλό κόστος σε σχέση με άλλα υλικά (χάλυβας γυαλί), τα έκανε απολύτως απαραίτητα έχοντας ως αποτέλεσμα την μαζική τους παραγωγή. Η ραγδαία αυτή αύξηση σε παγκόσμιο επίπεδο αποτελεί πλέον μείζον πρόβλημα για το περιβάλλον και τον άνθρωπο λόγω της λανθασμένης τους χρήσης και απόρριψης.

Όσον αφορά τα μικροπλαστικά (MPs) είναι τα πλαστικά σωματίδια με μέγεθος μικρότερο από πέντε χιλιοστά και χωρίζονται σε δύο βασικές ομάδες : τα πρωτογενή και τα δευτερογενή. Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (Ε.Ε.Λ.) αποτελούν μία σημαντική δίοδο των μικροπλαστικών στο περιβάλλον καθώς τα λύματα έπειτα από μία σειρά χημικών και φυσικών διεργασιών καταλήγουν σε αυτό. Ωστόσο δεν είχε προβλεφθεί η υψηλή συγκέντρωση μικροπλαστικών στα λύματα που με τη σειρά τους καταλήγουν και αυτά στους αποδέκτες παρά το μεγάλο ποσοστό απομάκρυνσης κατά την διαδικασία επεξεργασίας τους στις Ε.Ε.Λ..

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ανιχνεύθηκαν και καταγράφηκαν MPs από τα λύματα της Ε.Ε.Λ. Χανίων, πιο συγκεκριμένα από την εκροή της δευτεροβάθμιας δεξαμενής καθίζησης (Δ.Δ.Κ.) με σκοπό να μελετηθεί η χρονική διακύμανση της συγκέντρωσης των MPs το χειμώνα και το καλοκαίρι στο έτος 2020. Θέλαμε να δούμε αν η αύξηση της θερμοκρασίας σε συνδυασμό με την αύξηση του ισοδύναμου πληθυσμού θα έφερνε και την αύξηση της συγκέντρωσης σε MPs.

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά δεκαοχτώ δειγματοληψίες εννέα τον χειμώνα τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο και εννέα το καλοκαίρι τους μήνες Ιούλιο Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Έπειτα σειρά είχε η επεξεργασία των λυμάτων για την απομάκρυνση του υγρού στοιχείου και του οργανικού φορτίου έτσι ώστε να παραμείνουν μόνο τα MPs όπου θεωρήθηκαν οι ίνες και τα θραύσματα. Χωρίστηκαν σε τέσσερις ομάδες ανάλογα το μέγεθος τους με κατώτερο όριο αυτό των 20μm και υπολογίστηκαν τα εξής:

- Η συγκέντρωση των MPs (θραύσματα, ίνες) ανά μήνα
- Η συγκέντρωση των MPs (θραύσματα, ίνες) ανά περίοδο
- Η μέση ημερήσια συγκέντρωση των MPs (θραύσματα, ίνες)

Η μέση ημερήσια συγκέντρωση υπολογίστηκε στα  $13,5 \pm 3,12$  (MPs / L). Τη χειμερινή περίοδο η συγκέντρωση υπολογίστηκε στα  $2 \pm 0,36$  (MPs / L) ενώ στην εαρινή αυξήθηκε δραματικά και η τιμή έφτασε στα  $25 \pm 4,8$  (MPs / L) με την κατηγορία των θραυσμάτων να κατέχει το ογδόντα έξι τοις εκατό (86%) του συνολικού δείγματος και τις ίνες μόλις το δεκατέσσερα τοις εκατό (14%).

## ABSTRACT

The production of plastic products revolutionized industry in the second half of the twentieth century. Their easy molding into any shape, sterility, disposability and low cost compared to other materials (i.e., steel, glass), made them necessary, resulting in their mass production. This rapid increase worldwide is now a major problem for the environment and humans due to their misuse and disposal.

Microplastics (MPs) are plastic particles smaller than five millimeters in size and are divided into two main groups: primary and secondary. Wastewater treatment plants (WWTPs) are an important pathway for microplastics into the environment as wastewater is discharged into the environment after a series of chemical and physical processes. However, the high concentration of microplastics in wastewater, which in turn ends up in the receiving waters despite the high removal rate during the treatment process in biological treatment plants, was not foreseen.

In this thesis, MPs were detected and recorded from the wastewater of the WWTP of Chania, more specifically from the effluent of the secondary sedimentation tank (S. S. T.) in order to study the temporal variation of the concentration of MPs in winter and summer in the year 2020. The present study assessed if the increase in temperature combined with the increase in equivalent population would also increase the concentration of MPs.

A total of eighteen samples were collected, nine in winter (January, February and March) and nine in summer (July, August and September). Then the wastewater was treated to remove the liquid element and organic load so that only the MPs remained. Among the various categories, fibers and fragments were detected. They were divided into four groups according to their size with a lower limit of 20  $\mu\text{m}$  and the following was calculated:

- The concentration of MPs (fragments, fibers) per month
- The concentration of MPs (fragments, fibers) per period
- The average daily concentration of MPs (fragments, fibers)

The mean daily concentration was calculated to be  $13.5 \pm 3.12$  (MPs/L). In the winter season the concentration was estimated at  $2 \pm 0.36$  (MPs/L) while in the spring season the concentration increased dramatically to  $25 \pm 4.8$  (MPs/L) with the fragments category occupying eighty-six percent (86 %) of the total sample and fibers only fourteen percent (14%).

Ξεκινώντας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον ομότιμο καθηγητή, κ. Καλογεράκη Νικόλαο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και μου ανάθεσε το συγκεκριμένο θέμα.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω την μεταδιδακτορική ερευνήτρια, Συρανίδου Ευδοκία, για την καθημερινή της βοήθεια τόσο στο πειραματικό όσο και στο κομμάτι της συγγραφής της διπλωματικής εργασίας. Σημαντική βοήθεια μου παρείχαν επίσης οι υποψήφιοι διδάκτορες Καρκανοραχάκη Αικατερίνη και Σερίδου Πετρούλα όσον αφορά την εξοικείωση του πειραματικού εξοπλισμού, των κανόνων ασφαλείας στο χώρο του εργαστηρίου καθώς και τις συμβουλές που μου παρείχαν επί καθημερινής βάσεως στα προβλήματα που προέκυπταν.

Τέλος οφείλω να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, που μου έδωσε την ευκαιρία να φοιτήσω στο Πολυτεχνείο Κρήτης και συνέβαλλαν τα μέγιστα στο να ολοκληρώσω τις σπουδές μου στη σχολή των Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT .....	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	11
1.1.ΤΑ ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΑΙ Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ.....	11
1.2. ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΑ.....	12
1.3. ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ .....	13
1.4. ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟΥΣ ΥΔΡΟΒΙΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ .....	14
1.5. ΠΗΓΕΣ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ .....	14
1.6. ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ .....	15
1.7. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ, ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΤΥΧΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	16
1.8. ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΕ ΕΙΣΡΟΗ, ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΙ ΙΛΥ.....	17
ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	22
2.1.ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ .....	22
2.2.ΠΡΟ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	22
2.2.1.ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΟΣΚΙΝΩΝ.....	23
2.2.2.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ FENTON ΚΑΙ ΧΩΝΕΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 30 % ΚΑΙ FENTON .....	23
2.2.3.ΔΙΗΘΗΣΗ.....	23
2.2.4.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΗΚΗ NILE RED ΣΤΑ ΦΙΛΤΡΑ .....	24
2.2.5.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ COD ΚΑΙ TN.....	24
2.3.ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ .....	24
2.3.1.ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ .....	24
2.3.2.ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ IMAGEJ .....	25
2.4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ .....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	28
3.1. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ Ε.Ε.Λ. ΧΑΝΙΩΝ .....	28
3.1.1. ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ .....	29
3.1.2. ΘΡΑΥΣΜΑΤΑ.....	36
3.1.3. ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΑ .....	43
3.2. ΕΛΕΓΧΟΣ TN ΚΑΙ COD ΣΤΑ ΛΥΜΑΤΑ .....	49
3.2. ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	50
3.4. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΧΑΝΙΩΝ.....	51

3.5. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΕ Ε.Ε.Λ. ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ .....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	63



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 Πυκνότητα κοινών πλαστικών πολυμερών .....	17
Πίνακας 1.2 Μέση περιεκτικότητα μικροπλαστικών σε εισροή και απόβλητα παγκοσμίως .....	20
Πίνακας 1.3 Αφθονία μικροπλαστικών στη ιλύ λυμάτων παγκοσμίως .....	21
Πίνακας 3.1 Δεδομένα μελέτης κατασκευής της Ε.Ε.Λ. Χανίων .....	28
Πίνακας 3.2 Συνολικά αποτελέσματα .....	28
Πίνακας 3.3 Αποτελέσματα συγκέντρωσης ινών .....	29
Πίνακας 3.4 Αποτελέσματα μηνιαίας συγκέντρωσης ινών .....	33
Πίνακας 3.5 Αποτελέσματα συγκέντρωσης θραυσμάτων .....	36
Πίνακας 3.6 Αποτελέσματα μηνιαίας συγκέντρωσης θραυσμάτων .....	39
Πίνακας 3.7 Αποτελέσματα συγκέντρωσης μικροπλαστικών .....	43
Πίνακας 3.8 Αποτελέσματα μηνιαίας συγκέντρωσης μικροπλαστικών .....	46
Πίνακας 3.10 Συγκεντρώσεις TN και COD στα λύματα .....	49
Πίνακας 3.11 Αφίξεις και διανυκτερεύσεις τα έτη 2019 και 2020 .....	50
Πίνακας 3.12 Συγκέντρωση μικροπλαστικών στην εκροή της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας σε Ε.Ε.Λ. του εξωτερικού .....	52
Πίνακας 7.1 Πίνακες διακύμανσης .....	63

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 3.1 Συνολική συγκέντρωση ινών στις δύο περιόδους εκφρασμένη σε ποσοστά .....	30
Διάγραμμα 3.2 Συνολική συγκέντρωση ινών στις δύο περιόδους .....	30
Διάγραμμα 3.3 Συγκέντρωση ινών στην κλάση 20 – 80 $\mu\text{m}$ .....	31
Διάγραμμα 3.4 Συγκέντρωση ινών στην κλάση 80 - 200 $\mu\text{m}$ .....	31
Διάγραμμα 3.5 Συγκέντρωση ινών στη κλάση 200 - 500 $\mu\text{m}$ .....	32
Διάγραμμα 3.6 Συγκέντρωση ινών στη κλάση >500 $\mu\text{m}$ .....	32
Διάγραμμα 3.7 Καμπύλη μηνιαίας συγκέντρωσης ινών .....	33
Διάγραμμα 3.8 Μηνιαία συγκέντρωση ινών εκφρασμένη σε ποσοστά .....	33
Διάγραμμα 3.9 Μηνιαία συγκέντρωση ινών .....	34
Διάγραμμα 3.10 Μηνιαία συγκέντρωση ινών στην κλάση 20 - 80 $\mu\text{m}$ .....	34
Διάγραμμα 3.11 Μηνιαία συγκέντρωση ινών στην κλάση 80-200 $\mu\text{m}$ .....	35
Διάγραμμα 3.12 Μηνιαία συγκέντρωση ινών στην κλάση 200 - 500 $\mu\text{m}$ .....	35
Διάγραμμα 3.13 Μηνιαία συγκέντρωση ινών στην κλάση >500 $\mu\text{m}$ .....	35
Διάγραμμα 3.14 Συνολική συγκέντρωση θραυσμάτων στις δύο περιόδους εκφρασμένη σε ποσοστά .....	37
Διάγραμμα 3.15 Συνολική συγκέντρωση θραυσμάτων στις δύο περιόδους .....	37
Διάγραμμα 3.16 Συγκέντρωση θραυσμάτων στη κλάση 20 - 80 $\mu\text{m}$ .....	38
Διάγραμμα 3.17 Συγκέντρωση θραυσμάτων στη κλάση 80 - 200 $\mu\text{m}$ .....	38
Διάγραμμα 3.18 Συγκέντρωση θραυσμάτων στη κλάση 200 - 500 $\mu\text{m}$ .....	38
Διάγραμμα 3.19 Συγκέντρωση θραυσμάτων στη κλάση >500 $\mu\text{m}$ .....	39
Διάγραμμα 3.20 Καμπύλη μηνιαίας συγκέντρωσης θραυσμάτων .....	40
Διάγραμμα 3.21 Μηνιαία συγκέντρωση θραυσμάτων εκφρασμένη σε ποσοστά .....	40
Διάγραμμα 3.22 Μηνιαία συγκέντρωση θραυσμάτων .....	40
Διάγραμμα 3.23 Μηνιαία συγκέντρωση θραυσμάτων στη κλάση 20 - 80 $\mu\text{m}$ .....	41
Διάγραμμα 3.24 Μηνιαία συγκέντρωση θραυσμάτων στη κλάση 80 - 200 $\mu\text{m}$ .....	41
Διάγραμμα 3.25 Μηνιαία συγκέντρωση θραυσμάτων στη κλάση 200 - 500 $\mu\text{m}$ .....	42
Διάγραμμα 3.26 Μηνιαία συγκέντρωση θραυσμάτων στη κλάση >500 $\mu\text{m}$ .....	42
Διάγραμμα 3.27 Συνολική συγκέντρωση μικροπλαστικών στις δύο περιόδους εκφρασμένη σε ποσοστά .....	43
Διάγραμμα 3.28 Συνολική συγκέντρωση μικροπλαστικών στις δύο περιόδους .....	44
Διάγραμμα 3.29 Συγκέντρωση μικροπλαστικών στη κλάση 20 - 80 $\mu\text{m}$ .....	44

Διάγραμμα 3.30 Συγκέντρωση μικροπλαστικών στη κλάση 80 - 200 $\mu\text{m}$ .....	44
Διάγραμμα 3.31 Συγκέντρωση μικροπλαστικών στη κλάση 200 - 500 $\mu\text{m}$ .....	45
Διάγραμμα 3.32 Συγκέντρωση μικροπλαστικών στη κλάση >500 $\mu\text{m}$ .....	45
Διάγραμμα 3.33 Καμπύλη μηνιαίας συγκέντρωσης μικροπλαστικών .....	46
Διάγραμμα 3.34 Μηνιαία συγκέντρωση μικροπλαστικών εκφρασμένη σε ποσοστά.....	46
Διάγραμμα 3.35 Μηνιαία συγκέντρωση μικροπλαστικών .....	47
Διάγραμμα 3.36 Μηνιαία συγκέντρωση μικροπλαστικών στην κλάση 20 - 80 $\mu\text{m}$ .....	47
Διάγραμμα 3.37 Μηνιαία συγκέντρωση μικροπλαστικών στην κλάση 80 - 200 $\mu\text{m}$ .....	48
Διάγραμμα 3.38 Μηνιαία συγκέντρωση μικροπλαστικών στην κλάση 200 - 500 $\mu\text{m}$ .....	48
Διάγραμμα 3.39 Μηνιαία συγκέντρωση μικροπλαστικών στην κλάση >500 $\mu\text{m}$ .....	48
Διάγραμμα 3.41 Αφίξεις και διανυκτερεύσεις σε μορφή γραφήματος .....	51
Διάγραμμα 3.42 Κλιματικά δεδομένα Χανίων .....	51

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 Το μικροσκόπιο και στερεοσκόπιο LEICA.....	25
Εικόνα 2.2 Οι εντολές που πραγματοποιήθηκαν στο λογισμικό ImageJ .....	26
Εικόνα 2.3 Τα φύλλα καταγραφής των δεδομένων στο λογισμικό Excel .....	27
Εικόνα 2.4 Τελικοί πίνακες των αποτελεσμάτων στο λογισμικό Excel.....	27
Εικόνα 3.1 Συνθετικές ίνες που ανιχνεύθηκαν .....	29
Εικόνα 3.2 Θραύσματα που ανιχνεύθηκαν .....	36

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1.ΤΑ ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΑΙ Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Η αυξανόμενη παρουσία πλαστικών απορριμμάτων στο περιβάλλον έχει οδηγήσει σε παγκόσμια ανησυχία για την ανθρώπινη εξάρτηση από αυτό το πανταχού παρόν υλικό. Η παραγωγή πλαστικού έφερε επανάσταση στον κόσμο των υλικών, εισάγοντας οικονομικά προσιτά προϊόντα από άμεσα διαθέσιμες πρώτες ύλες. Η μαζική παραγωγή πλαστικών προϊόντων ξεκίνησε μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, με περίπου 1,5 εκατομμύρια τόνους (Mt) να παράγονται το 1950. Το 2015, υπολογίστηκε ότι 7.800 Mt πλαστικού είχε παραχθεί από το 1950. Επί του παρόντος, παράγονται πάνω από 335 Mt πλαστικού ετησίως, με αυτόν τον ρυθμό να αυξάνεται. Τα πλαστικά θερμαίνονται και μορφοποιούνται (μαζί με πρόσθετα συμπεριλαμβανομένων πληρωτικών, χρωστικών, σταθεροποιητών και επιβραδυντικών φλόγας) σε απεριόριστο αριθμό σχημάτων αναλόγως με την επιθυμητή λειτουργία τους (Plastics Europe, 2020).

Τα πλαστικά μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλες ομάδες: Θερμοσκληρυνόμενα και Θερμοπλαστικά. Τα Θερμοσκληρυνόμενα πλαστικά παράγονται από πολυμερή που σχηματίζουν μη αναστρέψιμους δεσμούς και επομένως δεν μπορούν να λιώσουν και να ξανασχηματιστούν μετά τη χρήση. Τα κοινά Θερμοσκληρυνόμενα πλαστικά είναι οι αφροί πολυουρεθάνης και οι εποξειδικές ρητίνες. Τα θερμοπλαστικά είναι εκείνα που μπορούν να ρευστοποιούνται συνεχώς, και επομένως μπορούν να ανακυκλωθούν (Brydson, 1999). Τα θερμοπλαστικά αποτελούν την πλειοψηφία των καταναλωτικών αγαθών και αναμένεται να υπάρχουν στην πλειονότητα των περιβαλλοντικών δειγμάτων (Burns & Boxall, 2018). Τα κοινά θερμοπλαστικά περιλαμβάνουν το πολυαιθυλένιο, το πολυπροπυλένιο, το πολυστυρένιο και το πολυβινυλοχλωρίδιο (Shen & Worrell, 2014).

Το πλαστικό μιας χρήσης είναι ιδιαίτερα περιζήτητο για σειρότητα και ευκολία, σε σύγκριση με πιο ακριβά εναλλακτικά υλικά, όπως το γυαλί και ο χάλυβας. Οι συσκευασίες έχουν γίνει η μεγαλύτερη αγορά πλαστικών (Jambeck et al, 2015). Η παγκόσμια στροφή από τα επαναχρησιμοποιήσιμα σε προϊόντα μιας χρήσης αύξησε τη μάζα του πλαστικού στα αστικά στερεά απόβλητα στο 10% το 2005, σε σύγκριση με λιγότερο από 1% το 1960. Περίπου το ήμισυ του συνόλου του πλαστικού που παράγεται ετησίως (περίπου 150 Mt) πετιούνται κάθε χρόνο (Garcia & Robertson, 2017). Από το σύνολο του πλαστικού που έχει παραχθεί μέχρι σήμερα, υπολογίζεται ότι μόνο το 30% του πλαστικού εξακολουθεί να χρησιμοποιείται (Geyer et al, 2017).

Ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες (για παράδειγμα, η Δανία και η Σουηδία) αποτεφρώνουν την πλειονότητα των αστικών στερεών αποβλήτων τους, συμπεριλαμβανομένων των πλαστικών. Η αποτέφρωση μικτών πλαστικών μειώνει το κόστος για τη διαλογή και τον καθαρισμό, καθώς και τον χώρο υγειονομικής ταφής. Επίσης ανακτάται ενέργεια κατά την αποτέφρωση, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η αποτέφρωση πλαστικού μπορεί να απελευθερώσει μια σειρά από τοξικές χημικές ουσίες στην ατμόσφαιρα, συμπεριλαμβανομένων

πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων, φθαλικών ενώσεων και διοξινών (Hopewell et al, 2009).

Περίπου 4,8 – 12,7 Mt πλαστικού αναμένεται να απορρίπτονται στον ωκεανό κάθε χρόνο, κυρίως λόγω ακατάλληλης διάθεσης (Jambeck et al, 2015). Υπολογίζεται ότι 260 δισεκατομμύρια τόνοι (Bt) πλαστικής ρύπανσης υπάρχουν ήδη στον ωκεανό (Eriksen et al, 2014). Όλο το πλαστικό που παράγεται μέχρι σήμερα (το οποίο δεν έχει αποτεφρωθεί) έχει υπολογιστεί ότι εξακολουθεί να υπάρχει σε σωματιδιακές μορφές στο περιβάλλον, ειδικά όταν θάβεται σε χερσαία και υδάτινα ιζήματα όπου η υποβάθμιση είναι περιορισμένη.

Η ανακύκλωση ενός τόνου πλαστικού μπορεί να εξοικονομήσει έως και 130 εκατομμύρια kJ ενέργειας, σε αντίθεση με την κατασκευή νέων πλαστικών προϊόντων. Αυτή η εξοικονόμηση ισοδυναμεί με 3,5 δισεκατομμύρια βαρέλια αργού πετρελαίου ετησίως (Garcia & Robertson, 2017). Η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση θερμοπλαστικών είναι δύσκολη και ανεπιθύμητη λόγω της πολύπλοκης σύνθεσης και το χαμηλό κόστος παραγωγής νέων προϊόντων. Οι ακαθαρσίες που λειτουργούν ως φραγμοί στην ανακύκλωση πλαστικών περιλαμβάνουν ξένα υλικά (μη πλαστικά συστατικά όπως οργανικό και βιολογικό υλικό (για παράδειγμα τρόφιμα, βρωμιά και γυαλί), μη στοχευμένο πλαστικό (συμπεριλαμβανομένων μιγμάτων πολυμερών και πολυπλαστικών προϊόντων), χημικά ακαθαρσίες και πρόσθετα. Ο διαχωρισμός και ο καθαρισμός διαφορετικών πολυμερών είναι δαπανηροί και χρονοβόροι. Η επανάκτηση και η εκ νέου χύτευση πλαστικών είναι επίσης ενεργοβόρα και συχνά παράγει ένα πολυμερές φτωχότερης ποιότητας. Περίπου το 18% των απορριμμάτων πλαστικών ανακυκλώνεται ετησίως (Garcia & Robertson, 2017).

Το πολυαιθυλένιο και το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο είναι τα δύο πιο κοινά ανακυκλωμένα πλαστικά πολυμερή (Hopewell et al, 2009). Τα ανακυκλωμένα πλαστικά προϊόντα είναι συνήθως εκείνα που απαιτούν μικρή μηχανική αντοχή, όπως οι σακούλες για ψώνια και οι συσκευασίες τροφίμων. Τα προϊόντα από ανακυκλωμένο πλαστικό συχνά περιέχουν ένα εξωτερικό και εσωτερικό στρώμα από νέο πλαστικό, για εξασφάλιση στεριότητας για εφαρμογές ποιότητας τροφίμων. Η προσθήκη ανακυκλωμένου πλαστικού σε παρθένο πολυμερές θα μειώσει ορισμένες φυσικές ιδιότητες όπως το χρώμα, τη διαύγεια ή την αντοχή σε κρούση. Το πλαστικό μπορεί επίσης να ανακυκλωθεί για άλλους σκοπούς, όπως σε σκυρόδεμα και δρόμους, και το σύστημα ανακύκλωσης μαλακών πλαστικών που παράγει προϊόντα «πλαστικής ξυλείας», συμπεριλαμβανομένων παγκάκια πάρκων και κολώνες. Αυτά τα προϊόντα σηματοδοτούν το τέλος της διαδικασίας ανακύκλωσης, καθώς πολλαπλοί τύποι πολυμερών αναμειγνύονται και δεν αναμένεται ή δεν μπορούν να ανακυκλωθούν περαιτέρω (Hopewell et al, 2009).

## 1.2. ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΑ

Τα μικροπλαστικά ορίζονται ως πλαστικά σωματίδια μεγέθους μικρότερου από 5 mm και υποδιαιρούνται σε «πρωτογενή» και «δευτερογενή» (Arthur et al, 2009). Τα πρωτογενή μικροπλαστικά είναι σκόπιμα παραγόμενα πλαστικά σωματίδια που χρησιμοποιούνται σε διάφορους οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς σκοπούς ως λειαντικά, συμπεριλαμβανομένων χρήσεων σε

προϊόντα προσωπικής φροντίδας (που ονομάζονται «μικροσφαιρίδια»), πέλλετ προ παραγωγής (που ονομάζονται «nurdles») και ψεκασμό (Arthur et al, 2009).

Τα δευτερογενή μικροπλαστικά σχηματίζονται από την περιβαλλοντική υποβάθμιση των πλαστικών απορριμμάτων με φωτολυτικές, μηχανικές και βιολογικές διεργασίες (Wu et al, 2017). Πολύπλοκοι συνδυασμοί των περιβαλλοντικών συνθηκών, μαζί με τον μεμονωμένο τύπο πολυμερούς και το σχήμα του προϊόντος, καθιστούν τον κατακερματισμό του πλαστικού δύσκολο να κατανοηθεί (Song et al, 2017). Ο κατακερματισμός του πλαστικού από τη φθορά του χρώματος, τη φθορά των ελαστικών του οχήματος, και την απελευθέρωση ινών από τη γενική φθορά και το πλύσιμο συνθετικών υφασμάτων και ρούχων μπορούν επίσης να δημιουργήσουν μικροπλαστικά (Andrady, 2011). Η έρευνα για τις μικροΐνες έχει περιοριστεί από πολλές προκλήσεις που σχετίζονται με την ταυτοποίηση και τη μέτρησή τους, συμπεριλαμβανομένης της επιμόλυνσης των δειγμάτων από μικροπλαστικά περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας (Wesch et al, 2017).

### 1.3. ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Τα μικροπλαστικά είναι πανταχού παρόντα στο περιβάλλον. Υπάρχει μια μεγάλη και συνεχώς αυξανόμενη βιβλιογραφία σχετικά με τη ρύπανση από μικροπλαστικά σε θαλάσσια περιβάλλοντα σε όλο τον κόσμο. Λίγες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί σε περιβάλλοντα εσωτερικών υδάτων, με την πλειονότητα αυτών να επικεντρώνονται σε μεγάλες λίμνες και ποτάμια σε κατοικημένες περιοχές. Υπάρχουν περιορισμένα διαθέσιμα δεδομένα για χερσαία εδάφη στη βιβλιογραφία, όπου οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 0,020 – 0,463 σωματίδια/m<sup>2</sup> στις λίμνες (Eriksen et al., 2013) και από 0,055 – 0,938 σωματίδια/m<sup>3</sup> στα ποτάμια (Lechner et al, 2014).

Οι συγκεντρώσεις μικροπλαστικών στα θαλάσσια επιφανειακά ύδατα ακολουθούν ευρεία κατανομή. Τα μικροπλαστικά είναι πιο άφθονα γύρω από τις παράκτιες πόλεις και τις κλειστές περιοχές όπως τα λιμάνια και οι εκβολές ποταμών. Η αφθονία μικροπλαστικών στα επιφανειακά ύδατα στη Βρετανική Κολομβία και στον Βορειοανατολικό Ειρηνικό Ωκεανό κυμαινόταν από 8 – 9180 σωματίδια/m<sup>3</sup> (σε 34 περιοχές), όπου η συγκέντρωση των σωματιδίων βρέθηκε να είναι 4 – 27 φορές μεγαλύτερη σε περιοχές πιο κοντά στην ακτή σε αντίθεση με εκείνα των υπεράκτιων περιοχών (Desforjes et al., 2014). Τα θαλάσσια ιζήματα λειτουργούν ως τελικός αποδέκτης για τα μικροπλαστικά σωματίδια, τα οποία στο υδάτινο περιβάλλον, μπορεί να είναι λιγότερο πλεούμενα με την πάροδο του χρόνου καθώς πραγματοποιούνται αποθέσεις βιολογικού υλικού. Αντίθετα, μικρή διαφορά βρέθηκε μεταξύ των συγκεντρώσεων των ιζημάτων παραλίας (93 σωματίδια/kg ξηρό βάρος) και υπεράκτιων ιζημάτων (97 σωματίδια/kg ξηρό βάρος) σε μια μελέτη σε όλη την ακτή του Βελγίου (Claessens et al, 2011).

Λόγω της πλευστότητας τους, τα μικροπλαστικά μεταφέρονται εύκολα σε μεγάλες αποστάσεις από τα ωκεάνια ρεύματα. Μικροπλαστικά σωματίδια έχει βρεθεί ότι συσσωρεύονται και στις πέντε ωκεάνιες περιοχές. Ιδιαίτερη ανησυχία προκαλούν τα μικροπλαστικά που έχουν ανακαλυφθεί σε

απομακρυσμένες περιοχές, με λίγες ανθρωπογενείς πιέσεις. Για παράδειγμα, οι συγκεντρώσεις μικροπλαστικών σωματιδίων κυμαίνονταν από 0,0032 – 1,18 σωματίδια/m<sup>3</sup> θαλασσινού νερού στη Θάλασσα Ross, κοντά στην Ανταρκτική (Cincinelli et al, 2017). Ο αρκτικός θαλάσσιος πάγος βρέθηκε να περιέχει συγκεντρώσεις 38 – 234 σωματιδίων/m<sup>3</sup> (Obbard et al, 2014).

#### **1.4. ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟΥΣ ΥΔΡΟΒΙΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ**

Η πανταχού παρουσία μικροπλαστικών αποτελεί απειλή για μια σειρά υδρόβιων οργανισμών, οι οποίοι μπορούν να μπερδέψουν αυτά τα σωματίδια ως τροφή με βάση το χρώμα και το μέγεθος ή να τρέφονται αδιακρίτως με αυτά. Λόγω του συνεχούς κατακερματισμού τους, τα μικροπλαστικά είναι βιοδιαθέσιμα σε μερικούς από τους μικρότερους θαλάσσιους οργανισμούς όπως το ζωοπλαγκτόν, καθώς και σε μεγαλύτερους, όπως η θαλάσσια μεγαπανίδα (π.χ. φάλαινες) με εύρος που εξαρτάται από τον οργανισμό. Η κατάποση μικροπλαστικών σωματιδίων μέσω τροφικής μεταφοράς από αρπακτικά έχει παρατηρηθεί, ωστόσο, ο βαθμός στον οποίο συμβαίνει αυτό στη φύση δεν είναι καλά κατανοητός. Η κατάποση πλαστικού μπορεί να προκαλέσει σωματικό τραυματισμό στα βράγχια, στο πεπτικό σύστημα και στα εσωτερικά όργανα όπου συσσωρεύονται. Έχει παρατηρηθεί μετατόπιση μικροπλαστικού από το έντερο στους ιστούς και θρόμβοι στο κυκλοφορικό σύστημα δίθυρων και καρκινοειδών. Η αναρρόφηση μικροπλαστικών σε θαλάσσιους οργανισμούς δεν είναι καλά κατανοητή. Τα μεγαλύτερα μικροπλαστικά αφαιρέθηκαν από το έντερο των οργανισμών που τρέφονται μέσω φιλτραρίσματος (όπως οι φάλαινες) πιο γρήγορα από τα μικρότερα σωματίδια. Τα μικρότερα σωματίδια υποτίθεται ότι διατηρούνται στα εσωτερικά όργανα σε αντίθεση με τα μεγαλύτερα σωματίδια (Nelms et al, 2019).

Οι υδρόφοβες επιφάνειες των μικροπλαστικών μπορούν να λειτουργήσουν ως φορείς για την απορρόφηση πολλών κατηγοριών οργανικών ρύπων σε υδάτινα περιβάλλοντα. Εργαστηριακές μελέτες έχουν δείξει ότι αυτοί οι ρυπαντές μπορεί να βιοσυσσωρεύονται στους ιστούς και να προκαλούν τοξική απόκριση, συμπεριλαμβανομένων μειωμένων ρυθμών σίτισης και αυξημένου οξειδωτικού στρες (Galloway, 2015). Λίγα είναι κατανοητά σχετικά με τις άμεσες αποκρίσεις κατάποσης μικροπλαστικών στην ανθρώπινη υγεία, συμπεριλαμβανομένης της έκπλυσης τοξικών πρόσθετων πλαστικού στα ανθρώπινα μεταβολικά συστήματα. Προκαταρκτικά αποτελέσματα από μια μελέτη στην Αυστρία ανίχνευαν μικροπλαστικά σε ανθρώπινα κόπρανα (Schwabl et al, 2018).

#### **1.5. ΠΗΓΕΣ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

Οι πηγές μικροπλαστικών και οι οδοί εισόδου στο περιβάλλον δεν είναι καλά κατανοητές. Υπολογίζεται ότι το 80% του πλαστικού στο θαλάσσιο περιβάλλον εισέρχεται από τη στεριά, ενώ το υπόλοιπο απελευθερώνεται από δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στον ωκεανό. Οι υπεράκτιες



πηγές μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον περιλαμβάνουν τον κατακερματισμό των απορριμμάτων από εμπορικά αλιευτικά και ναυτιλιακά σκάφη, όπως πλαστικά δίχτυα, πετονιές και απόθεμα εμπορευματοκιβωτίων (Jang et al, 2014). Για παράδειγμα, το φορτηγό πλοίο Rena προσάραξε στον ύφαλο Astrolabe/Otaiiti στα ανοικτά των ακτών της Tauranga, στη Νέα Ζηλανδία, στις 5 Οκτωβρίου 2011, χάνοντας το περιεχόμενο ενός αριθμού εμπορευματοκιβωτίων, τα οποία περιείχαν πλαστικά νήματα, το οποίο από το 2017, συνέχισε να ξεβράζεται στην ακτή (McLean, 2018).

Πηγές μικροπλαστικών από το χερσαίο περιβάλλον περιλαμβάνουν σκουπίδια και απόρριψη πλαστικών απορριμμάτων, διάβρωση προϊόντων που περιέχουν πλαστικό (συμπεριλαμβανομένων των φώτων οχημάτων και των ελαστικών) και αντικείμενα που παρασέρνονται από τον άνεμο. Τα αστικά δίκτυα όμβριων και λυμάτων μπορεί να κατευθύνουν μικροπλαστικά σε υδάτινες οδούς και ωκεανούς (Dris et al, 2015). Λόγω της μεγάλης οικιακής και εμπορικής χρήσης προϊόντων που περιέχουν μικροπλαστικά, οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (WWTP) αποτελούν σημαντική πηγή μικροπλαστικών για το περιβάλλον, με περιορισμένες μελέτες να έχουν δημοσιευτεί. Επί του παρόντος, παγκοσμίως, υπάρχει περιορισμένη κατανόηση της συμπεριφοράς και της τύχης των μικροπλαστικών κατά τη διαδικασία επεξεργασίας λυμάτων. Αν και οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων δεν σχεδιάστηκαν για την αφαίρεση μικροπλαστικών κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, η τρέχουσα έρευνα έχει αναφέρει αποτελεσματικότητες απομάκρυνσης άνω του 99% από τα τελικά λύματα. Ενώ το εύρος μεγεθών των κόσκινων που φιλτράρουν τα δείγματα λυμάτων αναφέρθηκε σε αυτές τις μελέτες, τα συγκεκριμένα κατώτερα και ανώτερα μεγέθη μικροπλαστικών σωματιδίων που ανιχνεύθηκαν ωστόσο δεν αναφέρονται. Παρά τα σχετικά υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης, τα επίπεδα μικροπλαστικών που εκτιμάται ότι απελευθερώνονται από τα λύματα παραμένουν σημαντική πηγή για το περιβάλλον, λόγω των μεγάλων όγκων εκροών που απελευθερώνονται στο περιβάλλον κάθε χρόνο (Ziajahromi et al, 2017).

Ο βαθμός στον οποίο μπορούν να αφαιρεθούν τα μικροπλαστικά εξαρτάται από το επίπεδο επεξεργασίας που λαμβάνουν τα λύματα. Η πλειονότητα των μικροπλαστικών σωματιδίων, κυρίως μικροϊνών, αφαιρούνται κατά την αρχική επεξεργασία με παγίδευση και συσσώρευση στη παραγόμενη ιλύ, ή κομποστοποιούνται πριν από την εφαρμογή τους στη γη ως βελτιωτικό του εδάφους. Αυτά τα βιοστερεά μπορεί να είναι πηγή μικροπλαστικών στο χερσαίο περιβάλλον και στη συνέχεια στα υδάτινα περιβάλλοντα μέσω της έκπλυσης των υπόγειων υδάτων και της απορροής (Ziajahromi et al, 2017).

## **1.6. ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ**

Τα αστικά και βιομηχανικά λύματα οδηγούνται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, όπου υποβάλλονται σε επεξεργασία χρησιμοποιώντας μια σειρά διαφορετικών φυσικών, χημικών και

βιολογικών διεργασιών, πριν από την απόρριψη στο περιβάλλον ως λύματα. Η εισροή λυμάτων αποτελείται επίσης από εισροή από επιφανειακά όμβρια ύδατα και διείσδυση από υπόγεια ύδατα. Τα λύματα που προκύπτουν μπορεί να απορρίπτονται σε υδάτινα οικοσυστήματα, συμπεριλαμβανομένων των ποταμών, των υδροτόπων, των εκβολών ποταμών και των ακτών. Τα λύματα μπορούν επίσης να αρδεύονται στη γη ως πηγή νερού πλούσια σε θρεπτικά συστατικά (Stuetz & Stephenson, 2009).

Οι κοινές φυσικές και χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας περιλαμβάνουν την πρωτογενή διαλογή για την απομάκρυνση μεγάλων κομματιών υλικών και απορριμμάτων, την καθίζηση βαρύτερων υλικών, την απομάκρυνση από την επιφάνεια ελαφρύτερων υλικών (όπως λίπη, λίπος και οργανική ύλη), την πήξη - κροκίδωση για την προσρόφηση οργανικών ρύπων και τη διήθηση για την απομάκρυνση λεπτών σωματιδίων. Οι τυπικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας συχνά αξιοποιούν πρωτογενή και δευτερογενή επεξεργασία, η οποία περιλαμβάνει αφαίρεση μεγάλων στερεών υλικών και δευτερογενή πέψη αιωρούμενης και διαλυμένης οργανικής ιλύος από μικροοργανισμούς, ακολουθούμενη από απολύμανση για να σκοτωθούν τα παθογόνα. Τριτοβάθμια επεξεργασία όπως η μικροδιήθηση, η χλωρίωση και ο οζονισμός χρησιμοποιούνται για την περαιτέρω στόχευση μικροβιολογικών ρύπων, συχνά πριν από την απόρριψη σε ευαίσθητα οικοσυστήματα όπως οι εκβολές ποταμών και οι υγρότοποι. Η ιλύς, ένα υποπροϊόν πλούσιο σε οργανική ύλη, απομακρύνεται σε όλη τη διαδικασία επεξεργασίας. Αυτή μπορεί να τύχει περαιτέρω επεξεργασίας για την απομάκρυνση παθογόνων μικροοργανισμών, ακολουθούμενη από εντατική ξήρανση ώστε να είναι κατάλληλη για εφαρμογή στο έδαφος ή εναπόθεση σε ΧΥΤΑ (Stuetz & Stephenson, 2009).

Οι διαδικασίες επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας δεν έχουν σχεδιαστεί για την αφαίρεση μικροπλαστικών. Τα φίλτρα διαλογής κυμαίνονται από χονδροειδή (13 – 25 mm), έως λεπτά (3 – 6 mm). Οι σαρωτές που αξιοποιούνται μετακινούνται μηχανικά για να αποξέσουν οργανικό και ανόργανο υλικό σε χώρους υγειονομικής ταφής, για να μειωθεί το φράξιμο των φίλτρων. Μικροπλαστικά μικρότερα από το μέγεθος των σιτών μπορούν να παρακάμψουν τα φίλτρα (Talvitie et al, 2017).

### **1.7. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ, ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΤΥΧΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

Η πυκνότητα των μεμονωμένων τύπων πολυμερών μπορεί να επηρεάσει την τύχη των μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον (Πίνακας 1) (Morét-Ferguson et al, (2010). Στο θαλασσινό νερό, σωματίδια υψηλότερης πυκνότητας (μεγαλύτερη από 1,02 g/mL) βυθίζονται στον πυθμένα της θάλασσας και συσσωρεύονται σε ιζήματα. Σωματίδια μεγαλύτερα από την πυκνότητα των λυμάτων (όπως πολυαμίδιο/νάιλον, χλωριούχο πολυβινύλιο και τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο) σχεδόν κατακρατούνται πλήρως στη ιλύ των λυμάτων κατά την πρωτογενή και δευτερογενή επεξεργασία. Τα σωματίδια υψηλότερης πυκνότητας προβλέπεται ότι θα καθιζάνουν και θα αφαιρούνται σε λεκάνες καθίζησης καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Μικροπλαστικά



σωματίδια χαμηλότερης πυκνότητας θεωρείται ότι θα επιπλέουν στην επιφάνεια ή θα παγιδεύονται σε επιφανειακούς κρόκους και μπορούν να αφαιρεθούν κατά τη διάρκεια καθαρισμού της επιφάνειας. Μπορεί να παραμένουν επίσης αιωρούμενα σε όλη τη στήλη του νερού, με τη δυνατότητα να ταξιδεύουν κατά τη διαδικασία επεξεργασίας (Morét-Ferguson et al, (2010).

#### Πίνακας 1.1 Πυκνότητα κοινών πλαστικών πολυμερών

Η πυκνότητα των μικροπλαστικών σωματιδίων μπορεί να μεταβληθεί καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας επεξεργασίας λυμάτων, κυρίως από την απορρόφηση οργανικού υλικού και την ανάπτυξη βιοφίλμ. Το βιοφίλμ μπορεί να αυξήσει την πυκνότητα των σωματιδίων, προκαλώντας τη βύθιση και την καθίζηση των σωματιδίων στον πυθμένα. Μεγαλύτερος χρόνος παραμονής στη μονάδα επεξεργασίας αυξάνει την πιθανότητα εποικισμού της επιφάνειας από βακτήρια και επηρεάζει

	Πυκνότητα (g/mL)		παραπέρα την απορρόφηση άλλων ρύπων που σχετίζονται με τα λύματα (Hammer et al, 2012).
Πολυπροπυλένιο (PP)	0.85	–	
	0.92		
Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE)	0.89	–	Η φωτοοξειδωτική αποικοδόμηση από την υπεριώδη ακτινοβολία (UV) διευκολύνει την διάσπαση κοινών
Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE)	0.93	–	πολυμερών στο περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένων των
Πολυστυρένιο(PS)	0.94	–	LDPE, HDPE και PP. Τα χαμηλά επίπεδα οξυγόνου, η
	0.97		βιορρύπανση, η παρουσία ιζημάτων και η υψηλή
Πολυαμίδιο/Νάιλον (6)	1.04	–	θολότητα στη στήλη του νερού μειώνουν την έκθεση στην
	1.08		υπεριώδη ακτινοβολία. Η υποβάθμιση από την υπεριώδη
πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)	1.15	–	ακτινοβολία βρέθηκε ότι είναι αποτελεσματική στην
	1.16		επιφάνεια της στήλης νερού και στις ακτές, αλλά είναι πιο
Πολυαιθυλένιο τερεφθαλικό/πολυεστέρας (PET)	1.41	–	αργή σε μεγαλύτερα βάθη στη στήλη του νερού, εάν τα
	1.41		

μικροπλαστικά είναι θαμμένα σε ίζημα ή έδαφος, ή επισκιάζονται από ύδατα χαμηλής διαύγειας, όπως αυτά των εγκαταστάσεων επεξεργασίας. Η φυσική αποδόμηση μπορεί να υποβοηθηθεί από τη δράση των κυμάτων, τις αναταράξεις του νερού και την τριβή σωματιδίων. Ορισμένοι μικροοργανισμοί είναι ικανοί να βιοαποδομήσουν τα πλαστικά σε συστατικά όπως το νερό, το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα, και αυτό μπορεί να συμβεί στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Η βιοαποδόμηση των πολυμερών στο θαλάσσιο περιβάλλον βρέθηκε ότι είναι μια αργή διαδικασία, όπου κομμάτια LDPE, HDPE και PP βυθισμένα σε βάθος 3 m σε θαλασσινό νερό για 6 μήνες έχασαν 1,5 - 2,5%, 0,5 - 0,8% και 0,5 - 0,6% της μάζας τους αντίστοιχα (Hammer et al, 2012).

### 1.8. ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΕ ΕΙΣΡΟΗ, ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΙ ΙΛΥ

Μια σειρά από μελέτες έχουν αξιολογήσει την τύχη των μικροπλαστικών σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας, αναλύοντας την αφθονία τους σε ακατέργαστα εισερχόμενα, επεξεργασμένα λύματα και ιλύ (Πίνακες 2,3). Η περιεκτικότητα στην εισροή κυμαίνονταν από 1 – 7216 σωματίδια/L, και στα απόβλητα κυμαίνονταν από ~0,0007 – 81 σωματίδια/L (Πίνακας 2). Η περιεκτικότητα στη λάσπη κυμαίνονταν από 0,113 – 170.900 σωματίδια/kg (ξηρό βάρος) και 510 – 760 σωματίδια/kg (υγρό

βάρος, Πίνακας 2). Η οπτική αναγνώριση χρησιμοποιήθηκε μόνο από μία μελέτη, ενώ οι υπόλοιπες χρησιμοποίησαν έναν συνδυασμό οπτικής ανάλυσης με φασματοσκοπία υπέρυθρου μετασχηματισμού Fourier (FTIR) ή φασματοσκοπία Raman για επιβεβαίωση. Η οπτική επιθεώρηση των σωματιδίων μπορεί να οδηγήσει σε μεροληψία και υπερεκτίμηση ή υποεκτίμηση. Δυσκολίες προκύπτουν κατά την οπτική διάκριση μεταξύ μη πλαστικών και φυσικών ινών που υπάρχουν στα λύματα και κατά την προσπάθεια αναγνώρισης μικρότερων σωματιδίων και μιας σειράς χρωμάτων.

Έχουν αναφερθεί υψηλές αποδόσεις απομάκρυνσης από τα λύματα (από 72 – 99,9%), υποδηλώνοντας ότι ένα σημαντικό ποσοστό μικροπλαστικών σωματιδίων από την εισροή αφαιρείται κατά τη διαδικασία επεξεργασίας. Αυτό έχει οδηγήσει σε συζήτηση σχετικά με το εάν οι μονάδες επεξεργασίας λυμάτων αποτελούν σημαντική πηγή μικροπλαστικών για το περιβάλλον. Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης τους, οι Carr et al. (2016) υποστήριξαν ότι η συμβολή μικροπλαστικών στο υδάτινο περιβάλλον από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας ήταν ελάχιστη, με προβλεπόμενη ημερήσια απόρριψη περίπου 930.000 σωματιδίων σε επεξεργασμένα λύματα και 1,09 δισεκατομμύρια σωματίδια που διατηρούνται στη ιλύ (και επομένως υπάρχουν στα βιοστερεά). Μια δεύτερη μελέτη που αξιολογεί μια μικρή εγκατάσταση επεξεργασίας που εξυπηρετεί 12.000 άτομα στη Σουηδία προέβλεψε ότι περίπου 1.500 μικροπλαστικά σωματίδια απελευθερώνονταν στο περιβάλλον με τα λύματα κάθε ώρα, συνολικά 36.000 σωματίδια την ημέρα. Μια τρίτη μελέτη στη Σκωτία υπολόγισε ότι 65 εκατομμύρια μικροπλαστικά σωματίδια απελευθερώνονταν κάθε μέρα από μια εγκατάσταση επεξεργασίας (Magnusson and Norén, 2014). Μια μελέτη στην Αυστραλία συνέκρινε τη διαφορά στην περιεκτικότητα μικροπλαστικών μεταξύ πρωτογενών, δευτερογενών και τριτογενών λυμάτων από τρεις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων. Η περιεκτικότητα των μικροπλαστικών σωματιδίων μειώθηκε από 1,54 σε 0,48 και 0,28 σωματίδια/L αντίστοιχα, γεγονός που υποδηλώνει ότι τα μικροπλαστικά αφαιρούνται σε πολλαπλά στάδια κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας (Ziajahromi et al. 2017) .

Πολλές από τις μελέτες απομάκρυνσης (Πίνακες 2 και 3) δεν έλαβαν υπόψη την απελευθέρωση μερικώς επεξεργασμένων (ή κατά καιρούς, μη επεξεργασμένων) λυμάτων κατά τη διάρκεια συμβάντων υψηλής βροχόπτωσης. Με βάση την εγκατάσταση επεξεργασίας που διερευνήθηκε από τους Murphy et al. (2016), επιπλέον 620 εκατομμύρια μικροπλαστικά σωματίδια θα μπορούσαν να απελευθερωθούν την ημέρα (κατά μέσο όρο στη διάρκεια του έτους) από μη επεξεργασμένα λύματα από καταιγίδες. Λίγα είναι κατανοητά σχετικά με την περιεκτικότητα των μικροπλαστικών στις απότομες εισροές καταιγίδων σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας, αλλά ενώ ο όγκος του νερού αυξάνεται, η αναλογία των μικροπλαστικών που εισέρχονται σε αυτές ενδέχεται να μην αυξηθεί απαραίτητα.

Η μεταβλητότητα στους ρυθμούς ροής και στη συγκέντρωση μικροπλαστικών υποδηλώνει ότι πρέπει να ληφθούν υπόψη η σύνθετη δειγματοληψία κατά τη διάρκεια της ημέρας και η χρονική δειγματοληψία κατά τη διάρκεια ενός έτους (ενώ λαμβάνεται υπόψη για ακραία καιρικά φαινόμενα). Σε μια ανασκόπηση των μεθόδων δειγματοληψίας φαρμακευτικών προϊόντων και προϊόντων φροντίδας (PPCPs) και παράνομων ναρκωτικών, οι Ort et al. (2010) πρότειναν η δειγματοληψία να

λαμβάνει χώρα σε διαδοχικές ημέρες για να ληφθεί υπόψη ο χρόνος κατακράτησης υδραυλικών και στερεών κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, ο οποίος μπορεί να κυμαίνεται από λίγες ώρες έως αρκετές ημέρες. Οι μελέτες μικροπλαστικών που αναθεωρήθηκαν υπολόγισαν τον ειδικό χρόνο συγκράτησης του υδραυλικού συστήματος κάθε μονάδας επεξεργασίας από εισροή σε εκροή.

Πίνακας 1.2 Μέση περιεκτικότητα μικροπλαστικών σε εισροή και απόβλητα παγκοσμίως

Χώρα (Αριθμός μονάδων που εξετάστη κε)	Εύρος μεγέθους σωματιδίων (μm)	Επεξεργασία	Μέθοδος αναγνώρισης	Περιεκτικότητα εισροής (σωματίδια /L)	Περιεκτικότητα εκροής (σωματίδια /L)	Αποδοτικότητα απομάκρυνσης (%)	Πηγή
Ιταλία (1)	10 – 5,000	Τριτογενής	Visual and FTIR	2.5	0,4	84	Magni et al. 2019
Γερμανία (1)	10 – 5,000	Δευτερογενής	Visual and Raman		7.9-10		Wolff et al. 2019
Δανία (10)	10 – 500	Τριτογενής	Visual and FTIR	7216	54	99.3	Simon et al. 2018
Φινλανδία (1)	250 – 5,000	Τριτογενής	Visual and FTIR/Raman	57.6	1	98.3	Lares et al. 2018
Ολλανδία (7)	10 – 5,000		Visual and FTIR	68-910	54-81	72	Leslie et al. 2017
Αυστραλία (3)	>25	Πρωτογενής Δευτερογενής Τριτογενής	Visual and FTIR		1.54, 0.48, 0.28		Ziajahromi et al. 2017
Η.Π.Α. (8)	20 – 400	Τριτογενής	Visual and FTIR	1	~0.0007	99.9	Carr et al. 2016
Σκωτία (1)	>65	Δευτερογενής	Visual and FTIR	15.7 +/- 5.23	0.25 +/- 0.04	98.41	Murphy et al. 2016
Γαλλία (1)	100 – 5,000	Πρωτογενής και βιολογική	Visual	260-320	14 – 50	83.9-95	Dris et al. 2015
Φινλανδία (1)	20 – 200	Τριτογενής	Visual and FTIR	430	8.6	98	Talvitie et al. 2015
Σουηδία (1)	>300	Μηχανική, χημική βιολογική	Visual and FTIR	15	0.008	99.9	Magnusson and Norén, 2014
Αυστραλία (2)		Τριτογενής	Visual and FTIR		1		Browne et al. 2011

Πίνακας 1.3 Αφθονία μικροπλαστικών στη ιλύ λυμάτων παγκοσμίως

Χώρα (Αριθμός μονάδων που εξετάστηκε)	Εύρος μεγέθους σωματιδίων (μm)	Επεξεργασία	Αναγνώριση	Περιεκτικότητα ιλύος (σωματίδια/kg)	Πηγή
Ιταλία (1)	10 – 5,000	Τριτογενής	Visual and FTIR	0.113 (ξηρό βάρος)	Magni et al. 2019
Φινλανδία (1)	250 – 5,000	Τριτογενής	Visual and FTIR/Raman	23,000 – 170,900 (ξηρό βάρος)	Lares et al. 2018
Ολλανδία (7)	10 – 5,000	Αναερόβια χώνευση, σταθεροποίηση με ασβέστη, θερμική ξήρανση	Visual and FTIR	510 – 760 (υγρό βάρος)	Leslie et al. 2017
Ιρλανδία (7)	>250	Πρωτογενής Δευτερογενής Τριτογενής	Visual and FTIR	4,196 – 15,385 (ξηρό βάρος)	Ziajahromi et al. 2017
Η.Π.Α. (8)	20 – 400	Τριτογενής	Visual and FTIR	1,000 (ξηρό βάρος)	Carr et al. 2016
Σουηδία (1)	>300	Μηχανική, χημική βιολογική	Visual and FTIR	720 (υγρό βάρος)	Magnusson and Norén, 2014

## ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η μελέτη της χρονικής διακύμανσης της συγκέντρωσης των μικροπλαστικών στα λύματα της εκροής της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας της Ε.Ε.Λ. Χανίων. Για την μελέτη αυτή έγιναν οι απαραίτητες ισάριθμες δειγματοληψίες τις δύο εποχές του έτους 2020 (χειμώνας και καλοκαίρι) με στόχο να δούμε αν τη θερινή περίοδο όπου υπάρχει κατακόρυφη αύξηση των ισοδύναμων κατοίκων λόγω της υψηλής επισκεψιμότητας της ευρύτερης περιοχής θα υπάρξει και ανάλογη αύξηση της συγκέντρωσης των MPs στα λύματα. Πιο συγκεκριμένα τα MPs που ανιχνεύθηκαν, έπειτα των απαραίτητων εργασιών για την απουσία του υγρού στοιχείου κατηγοριοποιήθηκαν σε τέσσερις ομάδες ανάλογα το μέγεθος τους με στόχο την κατανόηση των πηγών των μικροπλαστικών, την εκτίμηση της ποσότητας που οδηγείται στο υδάτινο περιβάλλον καθώς και τις επιπτώσεις που έχουν στο περιβάλλον και στον άνθρωπο .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Οι ΕΕΛ είναι ζωτικής σημασίας για το περιβάλλον και κατά συνέπεια για τον άνθρωπο έχοντας τελικά προϊόντα:

- Την εναπόθεση μεγάλου ποσοστού επεξεργασμένων λυμάτων στον κύριο μη ευαίσθητο αποδέκτη (θάλασσα) σύμφωνα με τα νομοθετικά πλαίσια .
- Την επαναχρησιμοποίηση ποσοστού αυτών και στις καλλιέργειες .
- Την παραγωγή βιοαερίου για την κάλυψη αναγκών της λειτουργίας των εγκαταστάσεων.

Τα επιθυμητά αυτά προϊόντα αποσκοπούν στην προστασία του θαλάσσιου οικοσυστήματος , στην αιφόρο ανάπτυξη των περιοχών και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής (Δ.Ε.Υ.Α. ΧΑΝΙΩΝ, 2021). Αυτά επιτυγχάνονται με την αποτελεσματική απομάκρυνση :

- της άμμου
- των στερεών
- του οργανικού φορτίου
- των παθογόνων μικροοργανισμών

Παρά την άκρως σημαντική συνεισφορά των ΕΕΛ στην προστασία του οικοσυστήματος από τη ρύπανση, έχουν καταλήξει να είναι κέντρο συλλογής μικροπλαστικών, συνεπώς αποτελούν σημειακές πηγές για το περιβάλλον. Βέβαια είναι άξιο αναφοράς πως επιτυγχάνουν αρκετά μεγάλο ποσοστό απομάκρυνσης αυτών από τα μη επεξεργασμένα λύματα, παρόλα αυτά δεν παύουν να εναποθέτουν σημαντικές ποσότητες μικροπλαστικών στους αποδέκτες (Conley et al., 2019). Επομένως οφείλουμε να τα ανιχνεύσουμε και να τα καταγράψουμε όχι μόνο στην είσοδο και στην έξοδο των ΕΕΛ αλλά και στην διάρκεια της επεξεργασίας τους. Για να επιτευχθεί ο σκοπός της εργασίας αυτής τα τρία στάδια είναι τα εξής :

1. η συλλογή δειγμάτων
2. η προ-επεξεργασία
3. η οπτική ανάλυση και καταγραφή των δεδομένων που θα προκύψουν

### 2.1.ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Η συλλογή δειγμάτων πραγματοποιήθηκε στην εκροή της δευτεροβάθμιας δεξαμενής καθίζησης της ΕΕΛ Χανίων όπου έχει δυναμικότητα εκατό εβδομήντα χιλιάδων (170.000) ισοδύναμων κατοίκων έπειτα από την ολοκλήρωση της τρίτης φάσης των έργων το 2016. Η δεξαμενή καθίζησης αποτελεί το προτελευταίο στάδιο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας των λυμάτων πριν οδηγηθούν στη δεξαμενή χλωρίωσης και έπειτα στον υδάτινο αποδέκτη .

Με σκοπό την πλήρη εικόνα της συγκέντρωσης των μικροπλαστικών στην συγκεκριμένη διαδικασία οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν τη χειμερινή και εαρινή περίοδο του έτους 2020. Πιο συγκεκριμένα διενεργήθηκαν τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο για τη χειμερινή περίοδο και όσον αφορά την εαρινή, τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Κάθε μήνας περιείχε τρεις δειγματοληψίες τις πρώτες πρωινές ώρες με συνολικό αριθμό τις δεκαοκτώ για ολόκληρο το έτος.

Τα δείγματα αντλήθηκαν με τη χρήση ενός αυτοσχέδιου κονταριού από το κανάλι και με τη βοήθεια ενός γυάλινου χωνιού τοποθετήθηκαν σε σιδερένια δοχεία χωρητικότητας πέντε λίτρων (5L). Η ποσότητα των λυμάτων που θεωρήθηκε επαρκές δείγμα για την επεξεργασία ήταν αυτή των πενήντα λίτρων (50L). Για την αποφυγή επιμόλυνσης των δειγμάτων θεωρήθηκε κατάλληλη η χρήση των γυάλινων δοχείων αντί των πλαστικών και αξίζει να σημειωθεί ότι πριν από κάθε συλλογή ήταν απαραίτητη η σχολαστική πλύση αυτών με αποιονισμένο νερό.

### 2.2.ΠΡΟ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η επεξεργασία των λυμάτων πραγματοποιήθηκε στο Πολυτεχνείο Κρήτης και συγκεκριμένα στα εργαστήρια της σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος.

Τα στάδια που πραγματοποιήθηκαν ήταν τα εξής :

- Φιλτράρισμα των δειγμάτων σε 4 κόσκινα διαφορετικής διαμέτρου πόρων
- Τοποθέτηση των δειγμάτων σε ογκομετρικές φιάλες
- Παρασκευή Fenton
- Προσθήκη  $\text{H}_2\text{O}_2$  30%(w/v) και Fenton και χώνευση αυτών για 24 ώρες
- Διήθηση και εναπόθεση των φίλτρων σε τρυβλία
- Ξήρανση των φίλτρων
- Παρασκευή Nile Red
- Προσθήκη Nile Red στα φίλτρα
- Οπτική παρατήρηση με χρήση στερεοσκοπίου των φίλτρων
- Υπολογισμός ολικού αζώτου (TN) και του χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (COD)

### 2.2.1.ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΟΣΚΙΝΩΝ

Το πρώτο στάδιο της επεξεργασίας ξεκινάει με τα πενήντα λίτρα του δείγματος να φιλτράρονται σε τέσσερα κόσκινα τα οποία είναι τοποθετημένα κάθετα σε φθίνουσα σειρά σε σχέση με το άνοιγμα των πόρων. Πρώτα βρίσκεται το κόσκινο με τη μεγαλύτερη διάμετρο πόρων δηλαδή του 1 mm μετά αυτό των 500μm, στη συνέχεια των 250μm και τέλος των 53μm έχοντας ως στόχο την αφαίρεση του υγρού στοιχείου αλλά την συγκράτηση των μικροπλαστικών.

Έπειτα σειρά έχει η μεταφορά των δειγμάτων που βρίσκονται στα κόσκινα σε ογκομετρικές φιάλες με τη χρήση υδροβολέα που είναι γεμάτος με απιονισμένο νερό. Για την προσεκτική μεταφορά τους σε αυτές είναι απαραίτητη η χρήση λαβίδας και γυάλινου χωνιού όπου στο τέλος σημαντικό είναι να ξεπλυθεί και το γυάλινο χωνί με απιονισμένο νερό καθώς έχουν συγκρατηθεί στοιχεία στα τοιχώματά του.

### 2.2.2.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ FENTON ΚΑΙ ΧΩΝΕΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ $\text{H}_2\text{O}_2$ 30 % ΚΑΙ FENTON

Απαραίτητη διαδικασία έτσι ώστε να είναι δυνατή η χημική ταυτοποίηση των μικροπλαστικών είναι η χώνευση του οργανικού υλικού. Επιτυγχάνεται με τη χρήση  $\text{H}_2\text{O}_2$  30%(w/v) και Fenton στα δείγματα, τα οποία είναι πλούσια σε οργανική ύλη όπου η παρουσία αυτή προκαλεί προβλήματα στη ταυτοποίηση και καταγραφή των μικροπλαστικών στο στερεοσκόπιο (Tagg et al., 2017). Είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος απομάκρυνσης του οργανικού στοιχείου από τα λύματα καθώς τα μικροπλαστικά στη πλειοψηφία τους παραμένουν άθικτα (Okoffo et al., 2019). Επηρεάζει σε μικρό ποσοστό ωστόσο, το μέγεθος των σωματιδίων του πολυαιθυλενίου και του πολυπροπυλενίου και υπάρχει ενδεχόμενο να μην έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα σε δείγματα μεγάλου όγκου (<1 L) (Nuelle et al., 2014). Με τη προσθήκη του Fenton το οργανικό στοιχείο μπορεί να εξαλειφθεί σε πολύ πιο σύντομο χρονικό διάστημα και χωρίς καμία ανεπιθύμητη αλλαγή στα μεγέθη των μικροπλαστικών (Tagg et al., 2017).

Η ποσότητα του Fenton που παρασκευάστηκε στο εργαστήριο ήταν αυτή του μισού λίτρου λόγω των διαθέσιμων ογκομετρικών κυλίνδρων που υπήρχαν. Για την ποσότητα αυτή χρειάστηκαν 499 ml απιονισμένου νερού, 1 ml θειικού οξέος και 7 gr θειικού σιδήρου με τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τη παρασκευή να είναι ένα αριθμημένο σιφώνιο με πουάρ και ο αναλυτικός ζυγός KERN ABJ με ανάλυση τεσσάρων δεκαδικών. Ακριβώς τα ίδια όργανα χρησιμοποιήθηκαν για τη προσθήκη του Fenton και του υπεροξειδίου υδρογόνου συγκέντρωσης 30% ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) στις φιάλες με τα δείγματα σε αναλογία 1 προς 1 όπου και παρέμειναν για χώνευση για 24 ώρες.

### 2.2.3.ΔΙΗΘΗΣΗ

Στην διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται η απομάκρυνση του υγρού στοιχείου του δείγματος με τη χρήση της συσκευής της διήθησης υπό κενό. Στο χωνί Buchner εισέρχεται το μείγμα σε αργό ρυθμό και θέτοντας την αντλία σε λειτουργία δημιουργείται κενό (υπό πίεση) στη φιάλη έχοντας ως αποτέλεσμα το διαχωρισμό του ιζήματος από το υγρό του διαλύματος. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στη τοποθέτηση του φίλτρου πριν την διήθηση και μετά, το οποίο γίνεται με τη χρήση λαβίδας. Τέλος τα φίλτρα τοποθετούνται στα αντίστοιχα τρυβλία και αμέσως μετά στον φούρνο όπου πραγματοποιείται ξήρανση αυτών στους 29 °C για 24 ώρες έτσι ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία από τα φίλτρα. Έπειτα από εργαστηριακές δοκιμές, τα φίλτρα που θεωρήθηκαν κατάλληλα για τη διήθηση ήταν αυτά με διάμετρο πόρων 1,2μm για τα δείγματα από τα κόσκινά των (1mm, 500μm, 250μm) ενώ για το δείγμα των 53μm χρησιμοποιήθηκαν τα φίλτρα με διάμετρο 1,6μm.

#### **2.2.4.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΗΚΗ NILE RED ΣΤΑ ΦΙΛΤΡΑ**

Σημαντική προσθήκη είναι αυτή του 1 ml Nile Red σε κάθε φίλτρο. Η συγκεκριμένη χρωστική ουσία έχει τη τάση να προσκολλάται σε υδρόφοβες ενώσεις και χρησιμοποιείται γιατί διευκολύνει την αναγνώριση των μικροπλαστικών στο μικροσκόπιο και στο στερεοσκόπιο. Για την παρασκευή 200 ml Nile Red με επιθυμητή συγκέντρωση 5 mg/ml απαιτούνται 2 ml Nile Red αρχικής συγκέντρωσης 500 mg/ml και 198 ml ακετόνης. Μετά την προσθήκη αυτή τα δείγματα τοποθετούνται για τελευταία φορά στον φούρνο κάτω από τις ίδιες συνθήκες με μια σημαντική διαφορά, την απουσία φωτός, καθώς είναι απαραίτητη για την καλύτερη διατήρηση των ιδιοτήτων φθορισμού.

#### **2.2.5.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ COD ΚΑΙ TN**

Τελευταίο στάδιο της προ-επεξεργασίας είναι αυτό του υπολογισμού του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) καθώς και του ολικού αζώτου (TN) σε κάθε δειγματοληψία. Χρησιμοποιήθηκε το κιτ δοκιμής COD της εταιρίας LaMotte για τον υπολογισμό του COD και αντίστοιχα για το TN το κιτ LATON-Total.

### **2.3.ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ**

Γενικά η ανάλυση των μικροπλαστικών γίνεται σύμφωνα με τα χημικά και τα φυσικά χαρακτηριστικά τους. Χημικός χαρακτηρισμός είναι αυτός που στοχεύει στην ανάλυση της σύνθεσης των μικροπλαστικών ενώ ο φυσικός στοχεύει στο σχήμα, στο μέγεθος και στο χρώμα αυτών (Sun et al., 2019). Κατάλληλο όργανο για την ανίχνευση και καταγραφή των φυσικών χαρακτηριστικών των μικροπλαστικών είναι το στερεομικροσκόπιο δίνοντας την δυνατότητα στον χειριστή να αντλήσει πληροφορίες σχετικά με τον αριθμό των μικροπλαστικών και το μέγεθος τους έχοντας όμως ένα αρνητικό, αυτό της οπτικής ανάλυσης και εκεί απαιτείται η ικανότητα του ίδιου του χειριστή καθώς δεν έχει μεγάλη δυνατότητα μεγέθυνσης. Σύμφωνα κιόλας με έρευνες έχει παρατηρηθεί και λόγος σφάλματος έως και 70% (Hidalgo-Ruz et al., 2012).

#### **2.3.1.ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ**

Η οπτική ανάλυση χωρίζεται σε δύο στάδια :

- ✓ Ανάλυση στο μικροσκόπιο
- ✓ Ανάλυση στο στερεοσκόπιο

Το μικροσκόπιο διαθέτει λάμπες φθορισμού οι οποίες παρέχουν αξιοπιστία στην αναγνώριση των μικροπλαστικών στα φίλτρα τα οποία περιέχουν Nile Red καθώς τα μικροπλαστικά φθορίζουν σε



αντίθεση με τα υπόλοιπα πετρώματα που έχουν αντέξει και έχουν μείνει άφθαρτα στην προεπεξεργασία. Το στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκε στον εργαστηριακό χώρο της Σχολής.

Το στερεοσκόπιο LEICA MZ7.5 εξυπηρετεί διότι διαθέτει κάμερα LEICA MC 190 HD με αποτέλεσμα να υπάρχει υψηλή ακρίβεια στις φωτογραφίες οι οποίες αποθηκεύονται σε αρχείο TIF παρέχοντας και τη κλίμακα της εκάστοτε φωτογραφίας λόγω του λογισμικού LAS EZ. Η καταμέτρηση αυτή πραγματοποιήθηκε στον χώρο του Μεσογειακού Αγρονομικού Ινστιτούτου Χανίων.

Τα μικροπλαστικά εξ ορισμού είναι τα σωματίδια με μέγεθος κάτω των πέντε χιλιοστών και ταξινομήθηκαν σε δύο βασικές ευδιάκριτες κατηγορίες, τις συνθετικές ίνες και τα θραύσματα.

- Οι συνθετικές ίνες επιλέχθηκαν με βάση τα εξής τρία κριτήρια (Hidalgo-Ruz et al., 2012) :
  1. Ομοιόμορφο πάχος στο μήκος τους
  2. Μη ορατή κυτταρική ή οργανική δομή
  3. Ακανόνιστη διάταξη στο χώρο
- Τα θραύσματα τα οποία έχουν ακανόνιστο και συμπαγές σχήμα.

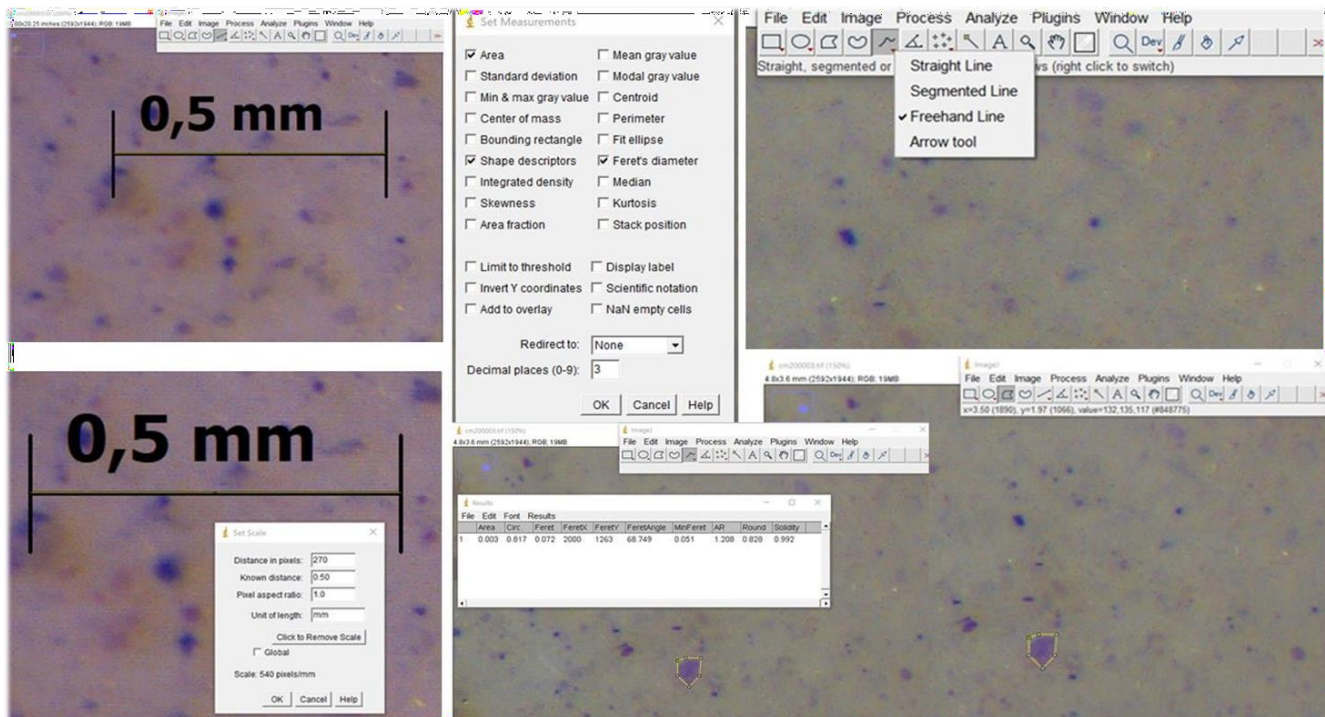


Εικόνα 2.1 Το μικροσκόπιο και στερεοσκόπιο LEICA

### 2.3.2.ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ IMAGEJ

Το συγκεκριμένο λογισμικό μας δίνει τη δυνατότητα να κατηγοριοποιήσουμε τα μικροπλαστικά και να υπολογίσουμε το μέγεθος τους. Πρώτο βήμα είναι η εισαγωγή της κλίμακας της εικόνας στο πρόγραμμα. Αναλυτικότερα επιλέγουμε την εντολή “straight” και σχεδιάζουμε μια ευθεία γραμμή πάνω ακριβώς στην γραμμή της κλίμακας. Έπειτα πηγαίνουμε στην καρτέλα “Analyze” και στην εντολή “Set Scale” συμπληρώνουμε τα κελιά με τον αριθμό και την μονάδα μήκους που έχει ήδη η κλίμακα. Επίσης στην ίδια καρτέλα αλλά στην εντολή “Set Measurements” επιλέγουμε “Feret’s diameter” για να εμφανιστούν τα σωστά αποτελέσματα.

Από αυτή τη στιγμή και μετά είμαστε έτοιμοι υπολογίσουμε τις διαστάσεις για τα μικροπλαστικά, πιο συγκεκριμένα για τις ίνες και τα θραύσματα. Όσον αφορά τα θραύσματα πρώτα επιλέγουμε την επιλογή “polygon” και μετά ακολουθούμε περιμετρικά το σχήμα του. Η τιμή που θα κρατήσουμε και αντιπροσωπεύει το μέγεθος του είναι το “Feret’s diameter” που δηλώνει την απόσταση μεταξύ των πιο απομακρυσμένων σημείων καθώς τα σχήματα τους είναι ακανόνιστα. Αντίστοιχα στις ίνες γίνεται η επιλογή “freehand” και ακολουθούμε με ιδιαίτερη προσοχή το μήκος της κρατώντας την τιμή του “length”.



Εικόνα 2.2 Οι εντολές που πραγματοποιήθηκαν στο λογισμικό ImageJ

## 2.4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Έπειτα την ανίχνευση των μικροπλαστικών σειρά είχε η καταγραφή τους με σκοπό την σωστή εκτίμηση των δεδομένων. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα Excel έχοντας αρχείο για κάθε δειγματοληψία καταγράφοντας σε μία στήλη τις ίνες, δίπλα τα θραύσματα και στην άλλη τα μεγέθη τους. Χωρίστηκε το κάθε αρχείο σε πέντε προγραμματιστικά φύλλα, τέσσερα για κάθε φίλτρο και ένα συνολικό που ήταν τα συνολικά νούμερα της ημέρας. Κατώτερη τιμή θεωρήθηκε το 0,02mm ή 20μm καθώς δεν ήταν δυνατός ο έλεγχος της σύνθεσης των μικροπλαστικών στο μFTIR σε συνδυασμό με το ενδεχόμενο λανθασμένης καταγραφής των σχημάτων των μικροπλαστικών σε αυτά τα μεγέθη στο πρόγραμμα ImageJ.

Από τη στιγμή που θεωρήθηκε κατώτερη τιμή τα 20μm και ανώτερη τα 500μm , καταλήξαμε στις εξής ομάδες σε σχέση με το μέγεθος .

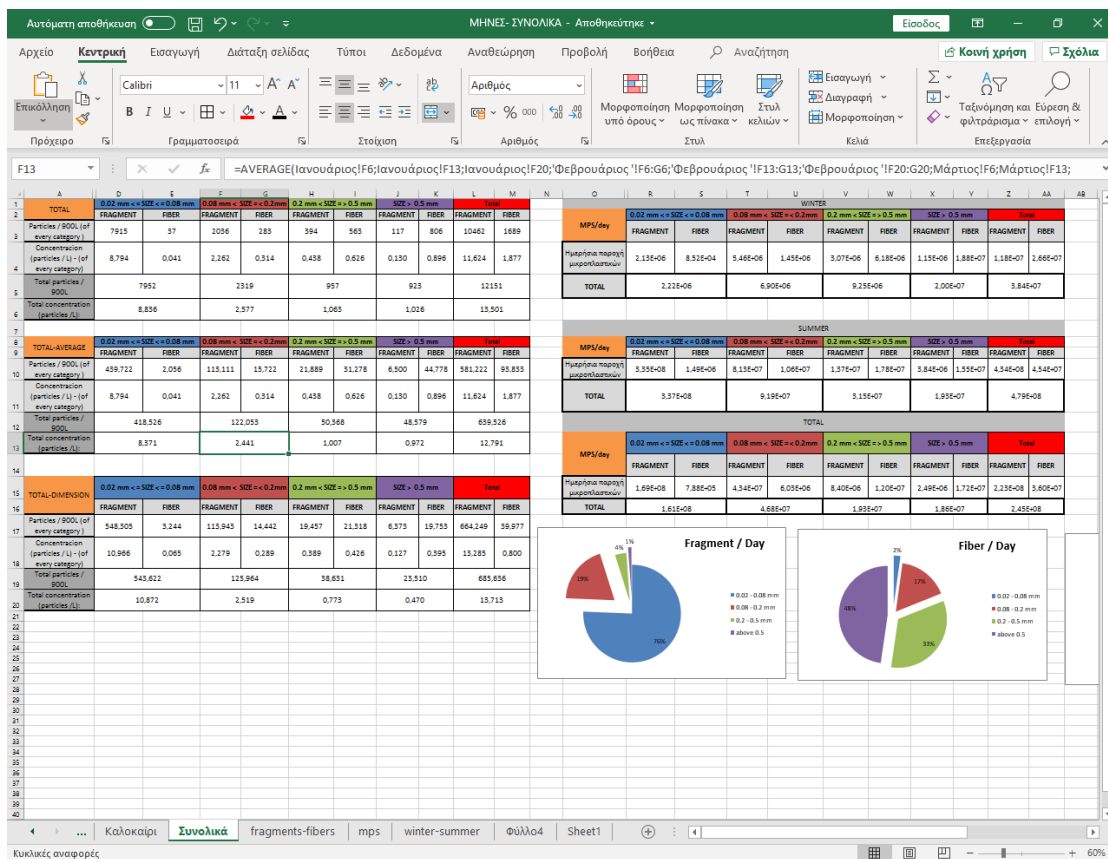
1. 20 – 80 μm
2. 80 – 200 μm
3. 200 – 500 μm
4. > 500 μm

Στη συνέχεια υπολογίστηκε με τις κατάλληλες εντολές η μέση τιμή και η διακύμανση για κάθε μέγεθος στις δειγματοληψίες, στους μήνες, στις δύο περιόδους και συνολικά σε όλο το έτος.

chq-ji-a - Microsoft Excel

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
2	SAMPLE	SHAPE	SIZE (mm)		0.02 mm <= SIZE <= 0.08 mm				0.08 mm < SIZE <= 0.2mm				0.2 mm < SIZE <= 0.5 mm					SIZE > 0.5 mm		
3	CHQ-S-JL-A	FRAGMENT	FIBER		FRAGMENT	FIBER			FRAGMENT	FIBER			FRAGMENT	FIBER			FRAGMENT	FIBER		
4		1	1,881	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	1,881	1	0 -	
5		1	1,086	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	1,086	1	0 -	
6		1	0,975	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0,975	1	0 -	
7		1	1,149	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	1,149	1	0 -	
8		1	1,306	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	1,306	1	0 -	
9		1	0,795	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0,795	1	0 -	
10		1	0,089	0 -	0 -	0 -	0 -	0,089	1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	
11		1	1,003	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	1,003	1	
12		1	0,210	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0,21	1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	
13		1	0,087	0 -	0 -	0 -	0 -	0,087	1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	
14		1	0,042	0,042	1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	
15		1	0,051	0,051	1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	
16		1	0,059	0,059	1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	
17		1	0,210	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0,21	1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	
18		1	0,039	0,039	1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	
19		1	0,142	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0,142	1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	
20		1	0,638	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0,638	1	
21		1	0,211	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0,211	1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	
22		1	1,664	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	1,664	1	0 -	
23		1	0,043	0,043	1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	
24		1	0,058	0,058	1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	
25		1	0,106	0 -	0 -	0 -	0 -	0,106	1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	
26		1	0,043	0,043	1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	

Εικόνα 2.3 Τα φύλλα καταγραφής των δεδομένων στο λογισμικό Excel



Εικόνα 2.4 Τελικοί πίνακες των αποτελεσμάτων στο λογισμικό Excel

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 3.1. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ Ε.Ε.Λ. ΧΑΝΙΩΝ

Για την πλήρη κατανόηση της διακύμανσης των μικροπλαστικών από την εκροή της δευτεροβάθμιας δεξαμενής καθίζησης, συλλέχθηκαν εννιακόσια λίτρα (900 L) λυμάτων στη διάρκεια ενός έτους. Οι δύο βασικές κατηγορίες που ανιχνεύθηκαν και καταγράφηκαν είναι οι ίνες και τα θραύσματα με τα κατώτερο όριο να είναι τα 20 μm όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Σύμφωνα με την μελέτη βάσει της οποίας έγινε ο σχεδιασμός της ΕΕΛ έχουμε τα παρακάτω δεδομένα :

Πίνακας 3.1 Δεδομένα μελέτης κατασκευής της Ε.Ε.Λ. Χανίων

ΕΕΛ ΧΑΝΙΩΝ	2016		2030	
	Χειμώνας	Καλοκαίρι	Χειμώνας	Καλοκαίρι
Ισοδύναμος πληθυσμός	114175	117775	157500	170000
Μέση ημερήσια παροχή (m <sup>3</sup> /day)	20994	26400	28500	31500

Παρατηρείται αρκετά μεγάλη αύξηση της παροχής ανάμεσα στη χειμερινή και την καλοκαιρινή περίοδο και ερευνήθηκε αν θα επηρεαστεί η τιμή της συγκέντρωσης των μικροπλαστικών στα λύματα στον ίδιο ή σε κάποιο βαθμό στην παρούσα διπλωματική. Τελικά βρέθηκε να παρουσιάζει αρκετά μεγάλη αύξηση και αυτό επιβεβαιώνεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.2):

Πίνακας 3.2 Συνολικά αποτελέσματα

TOTAL	Χειμώνας		Καλοκαίρι		Σύνολο	
	FRAGMENT	FIBER	FRAGMENT	FIBER	FRAGMENT	FIBER
Άθροισμα σωματιδίων για κάθε κατηγορία	277	623	10185	1066	10462	1689
Άθροισμα και των δύο κατηγοριών	900		11251		12151	

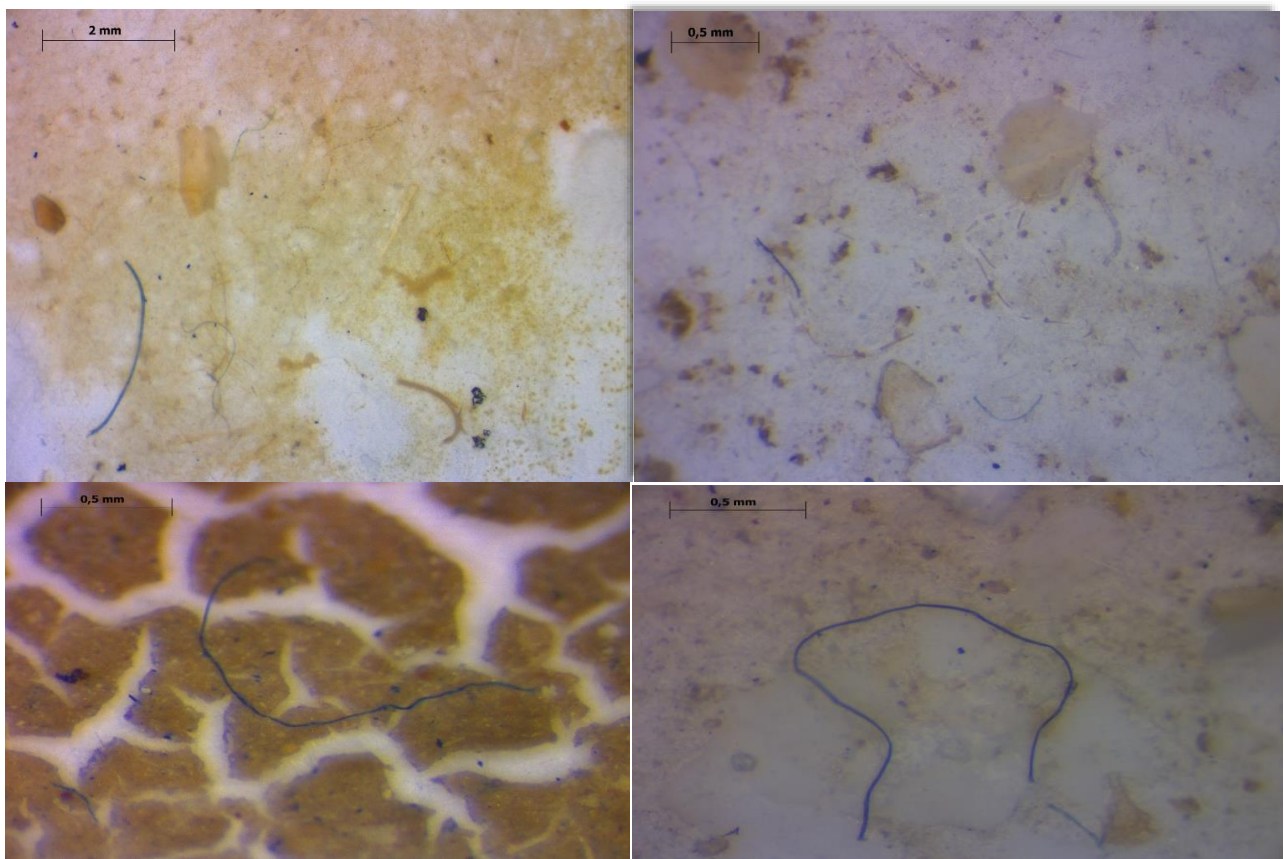


### 3.1.1. ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

Η αύξηση της παροχής που σημειώνεται την καλοκαιρινή περίοδο αυξάνει και τη συγκέντρωση των ινών στα λύματα. Η συγκέντρωση τους μάλιστα διπλασιάστηκε συνολικά και σχεδόν σε όλες τις κλάσεις μεγέθους εκτός από αυτή των >500  $\mu\text{m}$  όπου υπήρξε μια μικρή μείωση το καλοκαίρι. Επίσης οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης βρίσκονται σε αυτό και έρχεται δεύτερη η αμέσως επόμενη σε φθίνουσα σειρά αυτή, των 200  $\mu\text{m}$  – 500  $\mu\text{m}$ .

Πίνακας 3.3 Αποτελέσματα συγκέντρωσης ινών

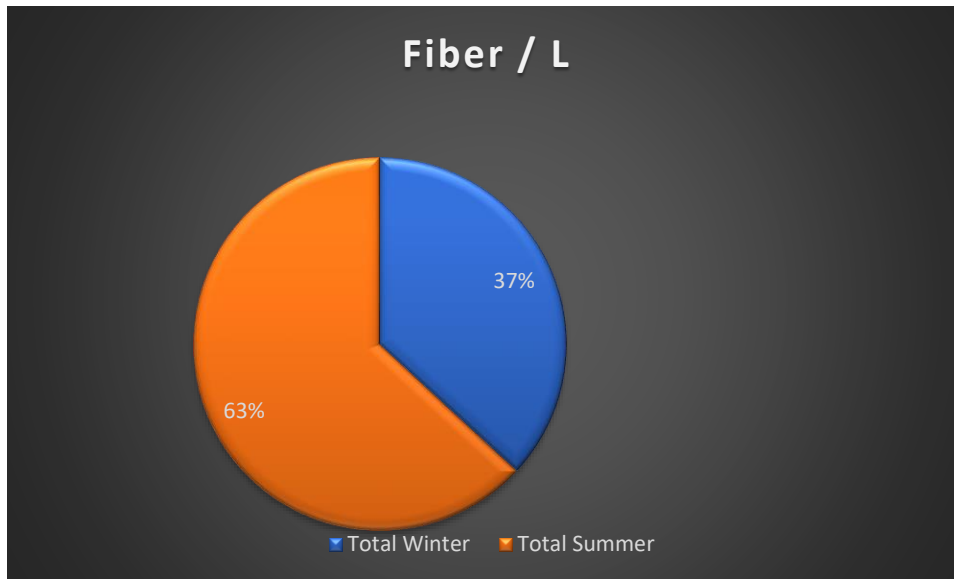
Fiber / Liter	20 - 80 $\mu\text{m}$	80 - 200 $\mu\text{m}$	200 - 500 $\mu\text{m}$	> 500 $\mu\text{m}$	Total
Χειμώνας	0,004	0,076	0,322	0,982	1,384
Καλοκαίρι	0,078	0,053	0,929	0,809	2,369
Σύνολο	0,041	0,314	0,626	0,896	1,877



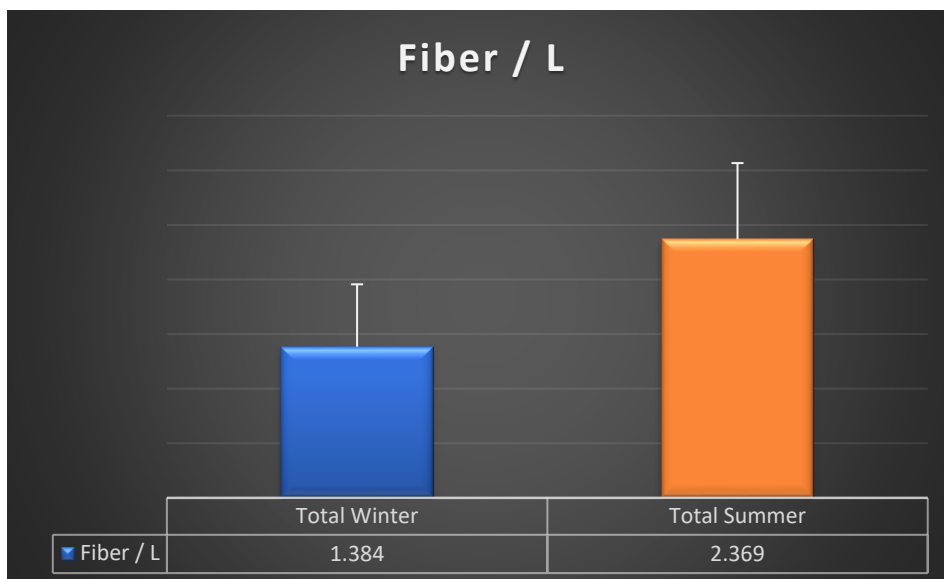
Εικόνα 3.1 Συνθετικές ίνες που ανιχνεύθηκαν

## ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

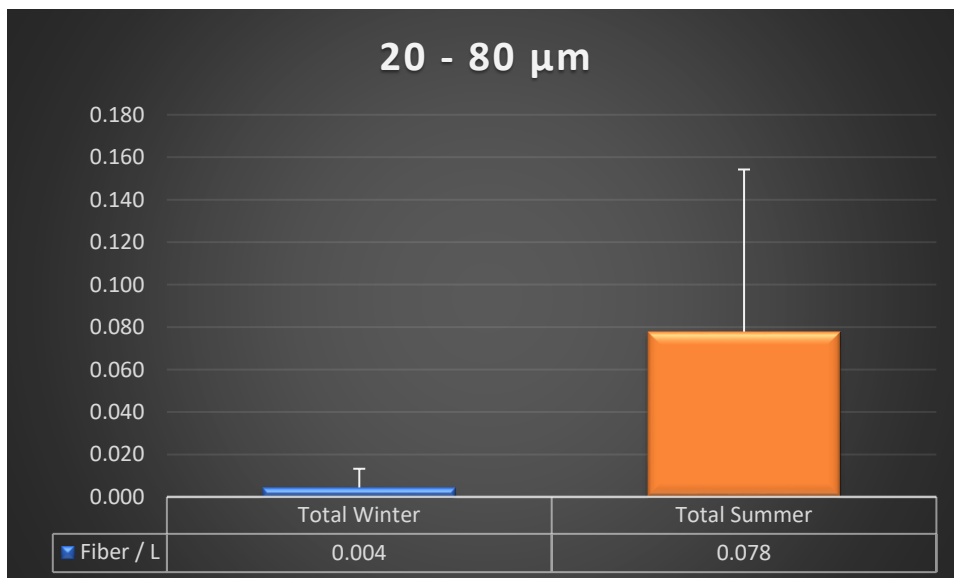
Στη συνέχεια πρόκειται να παρουσιαστεί η συγκέντρωση των ινών τη χειμερινή και την καλοκαιρινή περίοδο. Τα πρώτα δύο διαγράμματα παρουσιάζουν την συνολική συγκέντρωση αρχικά σε ποσοστιαία μορφή και έπειτα σε συγκέντρωση. Τέλος έχουν σειρά και τα τέσσερα διαστήματα τιμών και αυτά σε μορφή διαγράμματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε όλα τα διαγράμματα έχει συμπεριληφθεί η μπάρα σφάλματος. Μεγάλες διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους παρατηρούνται σχεδόν σε όλες τις ομάδες εκτός από αυτή των >500  $\mu\text{m}$ . Σε αυτά τα μεγέθη παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης των ινών και πιο συγκεκριμένα οι μεγαλύτερες είναι στις κλάσεις μεγέθους 200 – 500  $\mu\text{m}$  και 80 – 200  $\mu\text{m}$ . Αντιθέτως στην τελευταία ομάδα, αυτή των >500 $\mu\text{m}$  υπάρχει μείωση της συγκέντρωσης το καλοκαίρι σε σχέση με το χειμώνα.



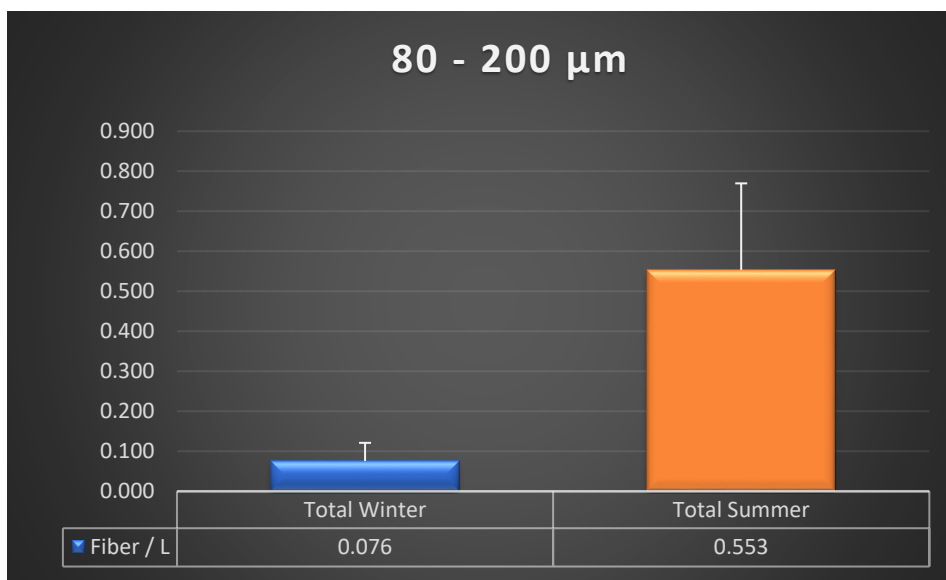
Διάγραμμα 3.1 Συνολική συγκέντρωση ινών στις δύο περιόδους εκφρασμένη σε ποσοστά



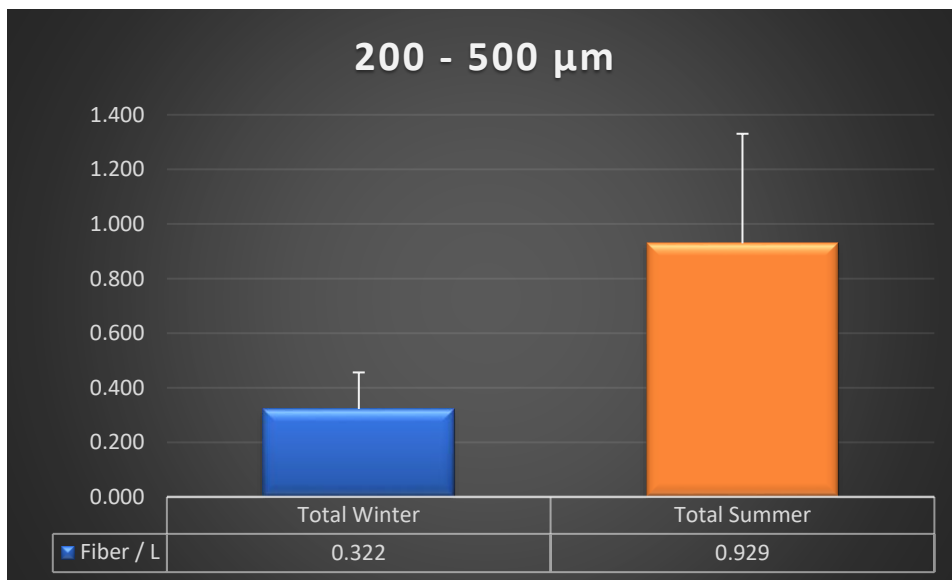
Διάγραμμα 3.2 Συνολική συγκέντρωση ινών στις δύο περιόδους



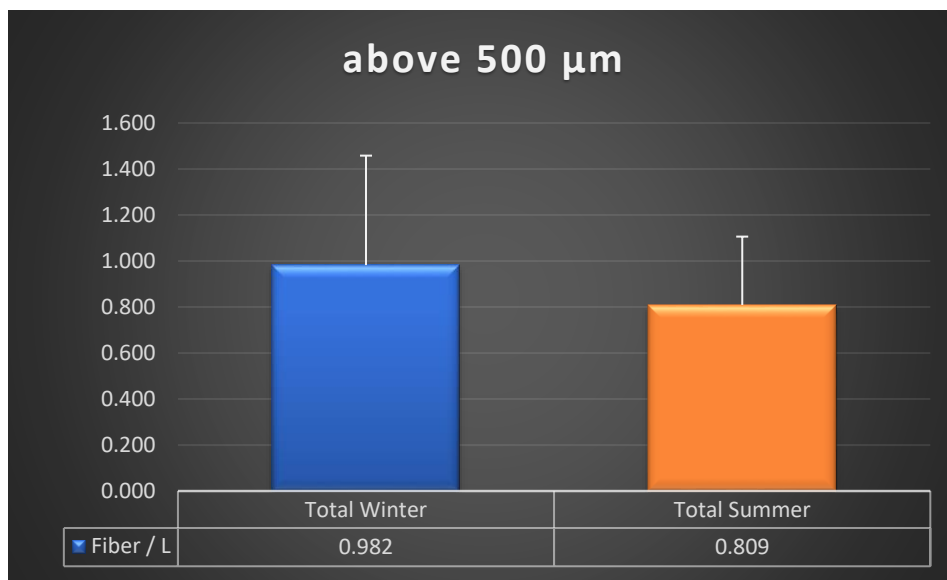
Διάγραμμα 3.3 Συγκέντρωση ινών στην κλάση 20 – 80  $\mu\text{m}$



Διάγραμμα 3.4 Συγκέντρωση ινών στην κλάση 80 - 200  $\mu\text{m}$



Διάγραμμα 3.5 Συγκέντρωση ινών στη κλάση 200 - 500  $\mu\text{m}$



Διάγραμμα 3.6 Συγκέντρωση ινών στη κλάση >500  $\mu\text{m}$

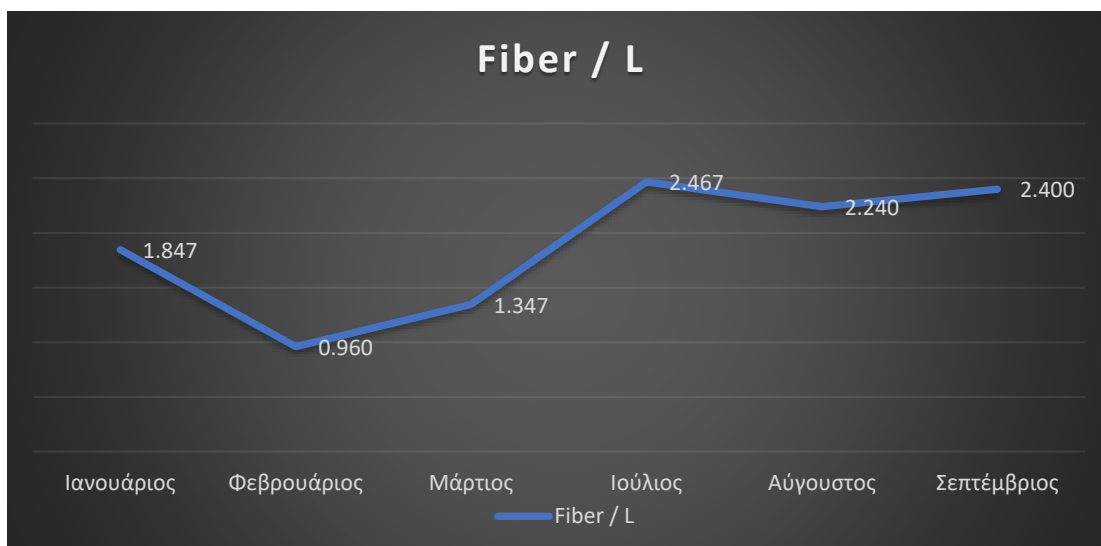
## ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των ινών κάθε μήνα και για τις δύο περιόδους με σκοπό την περαιτέρω ανάλυση της χρονικής διακύμανσης και κατανόηση αυτής. Ακολουθεί ο πίνακας της μηνιαίας συγκέντρωσης των ινών αναλυτικά σε κάθε ομάδα και μετά το διάγραμμα με τις συνολικές τιμές ανά μήνα. Παρατηρούμε πως την πιο υψηλή συγκέντρωση την έχει ο μήνας Ιούλιος και τη χαμηλότερη ο μήνας Φεβρουάριος.

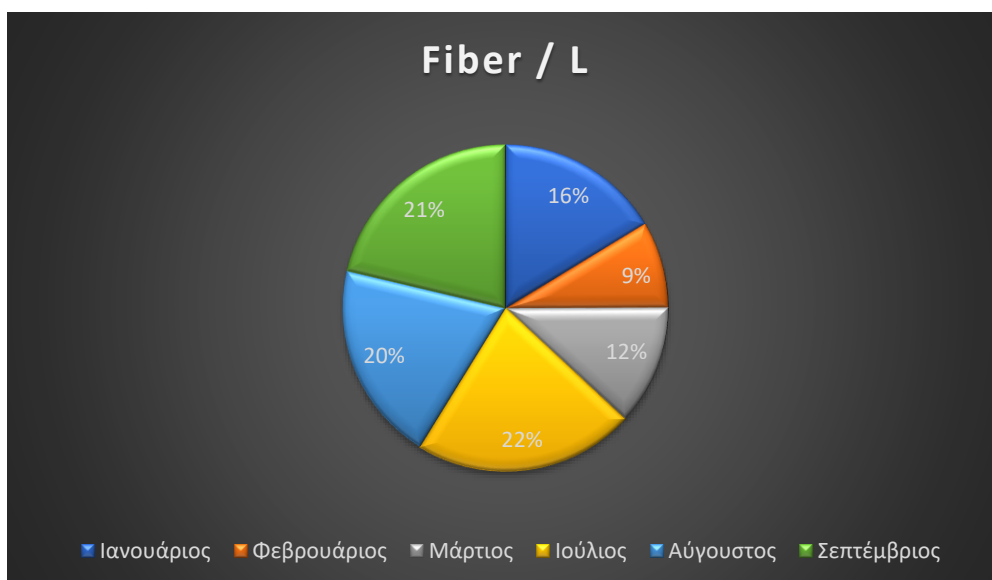


Πίνακας 3.4 Αποτελέσματα μηνιαίας συγκέντρωσης ινών

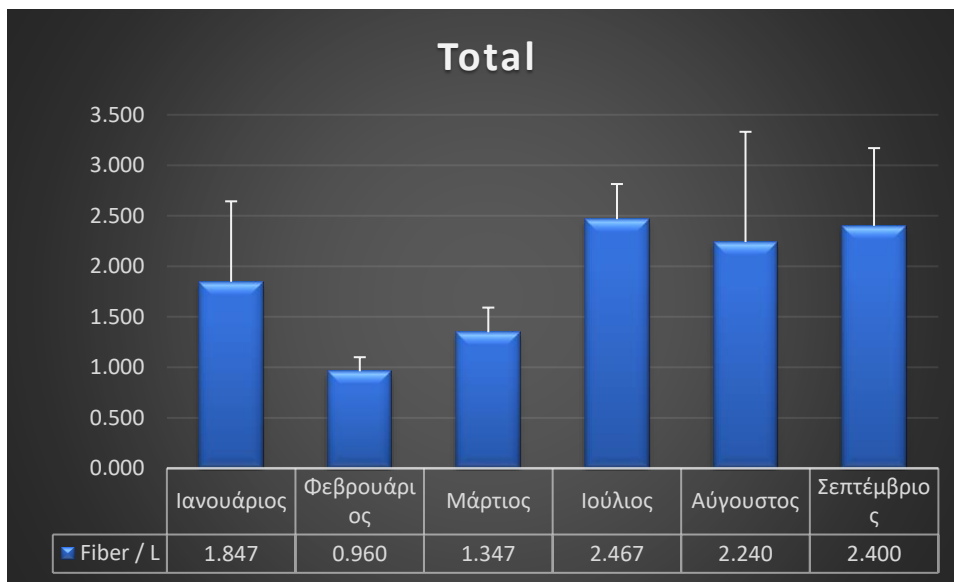
FIBER / L	20 - 80 $\mu\text{m}$	80 - 200 $\mu\text{m}$	200 - 500 $\mu\text{m}$	above 500 $\mu\text{m}$	Total
Ιανουάριος	0,000	0,100	0,460	1,287	1,847
Φεβρουάριος	0,013	0,053	0,273	0,620	0,960
Μάρτιος	0,000	0,073	0,233	1,040	1,347
Ιούλιος	0,120	0,587	0,927	0,833	2,467
Αύγουστος	0,087	0,453	0,867	0,833	2,240
Σεπτέμβριος	0,027	0,620	0,993	0,760	2,400



Διάγραμμα 3.7 Καμπύλη μηνιαίας συγκέντρωσης ινών

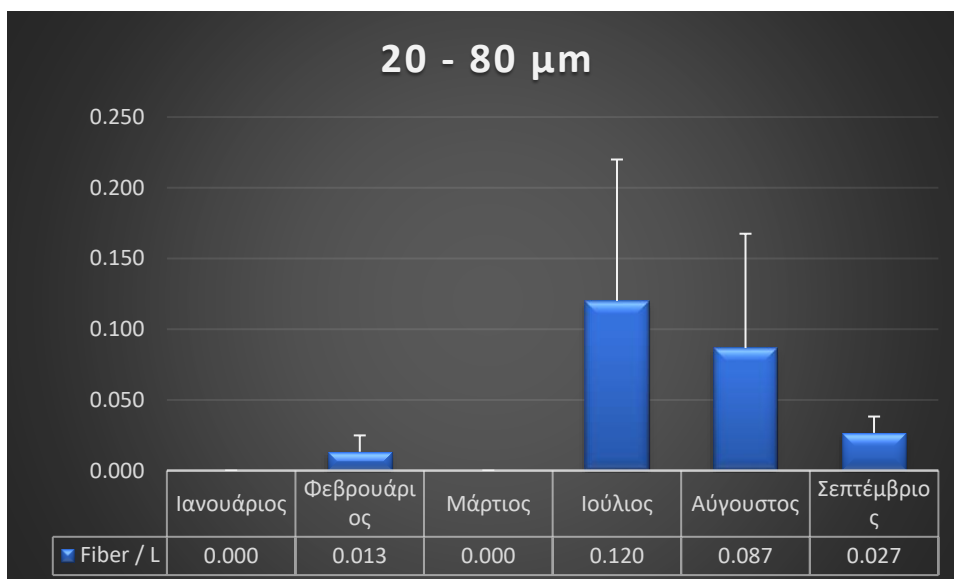


Διάγραμμα 3.8 Μηνιαία συγκέντρωση ινών εκφρασμένη σε ποσοστά

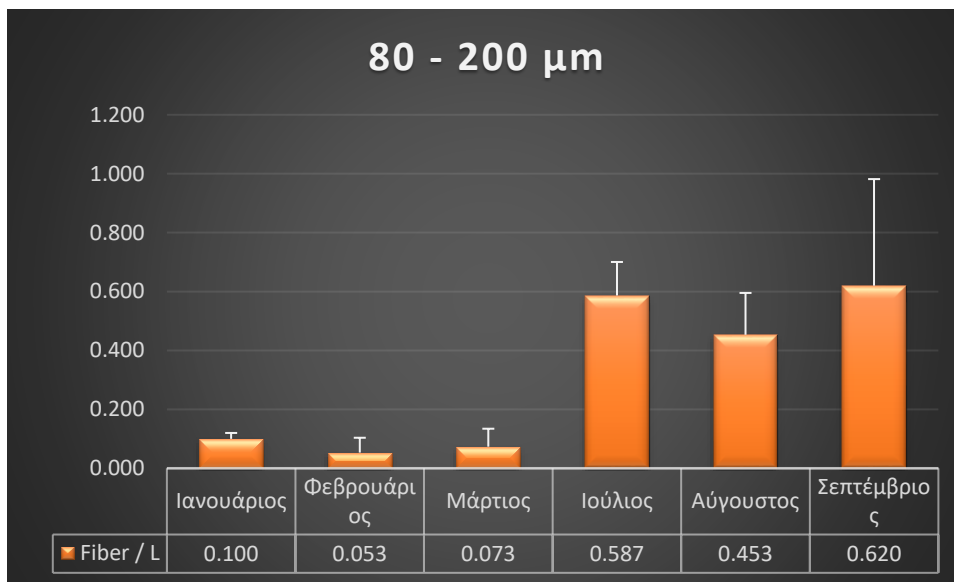


Διάγραμμα 3.9 Μηνιαία συγκέντρωση ινών

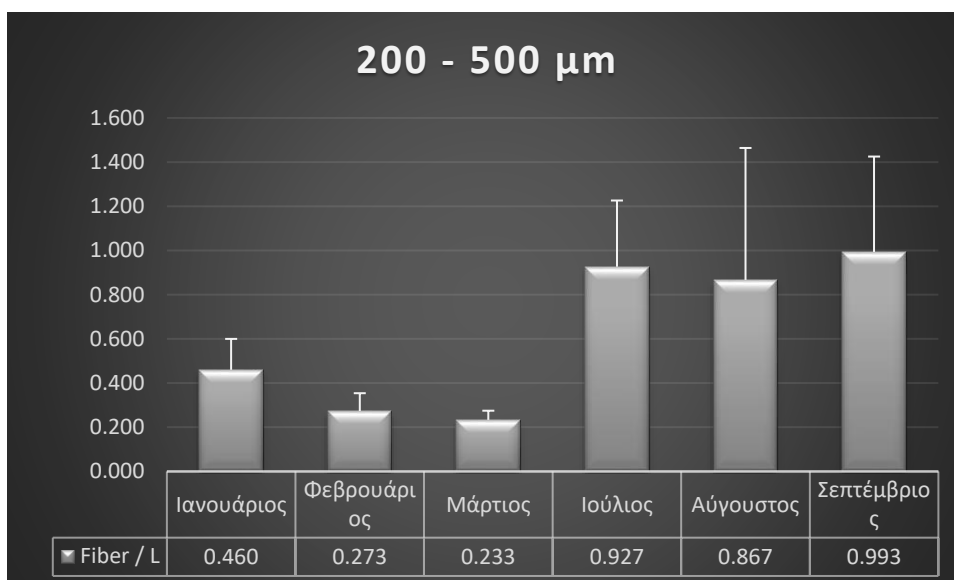
Ακολουθεί η παρουσίαση της μηνιαίας συγκέντρωσης των συνθετικών ινών σε κάθε ομάδα μεγέθους που έχουν χωριστεί. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις περισσότερες ομάδες υπάρχει αύξηση τους θερινούς μήνες εκτός από την >500μm, όπου ο μήνας Ιανουάριος έχει την μεγαλύτερη συγκέντρωση σε σχέση με τους υπόλοιπους. Επίσης η συγκέντρωση των ινών με μέγεθος 20 – 80 μm τους μήνες Ιανουάριο και Μάρτιο εμφανίζουν μηδενικές τιμές καθώς δεν καταγράφηκε ούτε μια ίνα.



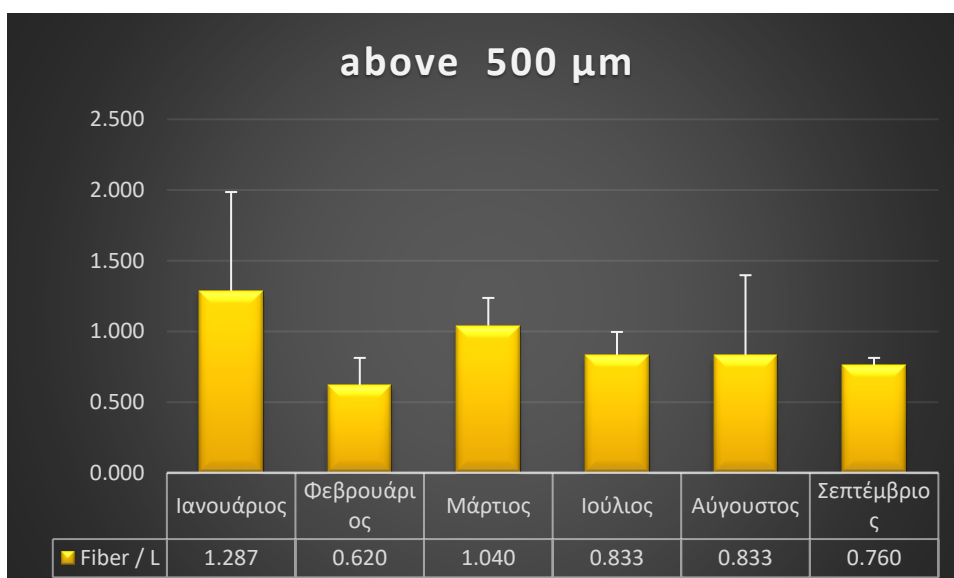
Διάγραμμα 3.10 Μηνιαία συγκέντρωση ινών στην κλάση 20 - 80 μm



Διάγραμμα 3.11 Μηνιαία συγκέντρωση ινών στην κλάση 80-200  $\mu\text{m}$



Διάγραμμα 3.12 Μηνιαία συγκέντρωση ινών στην κλάση 200 - 500  $\mu\text{m}$



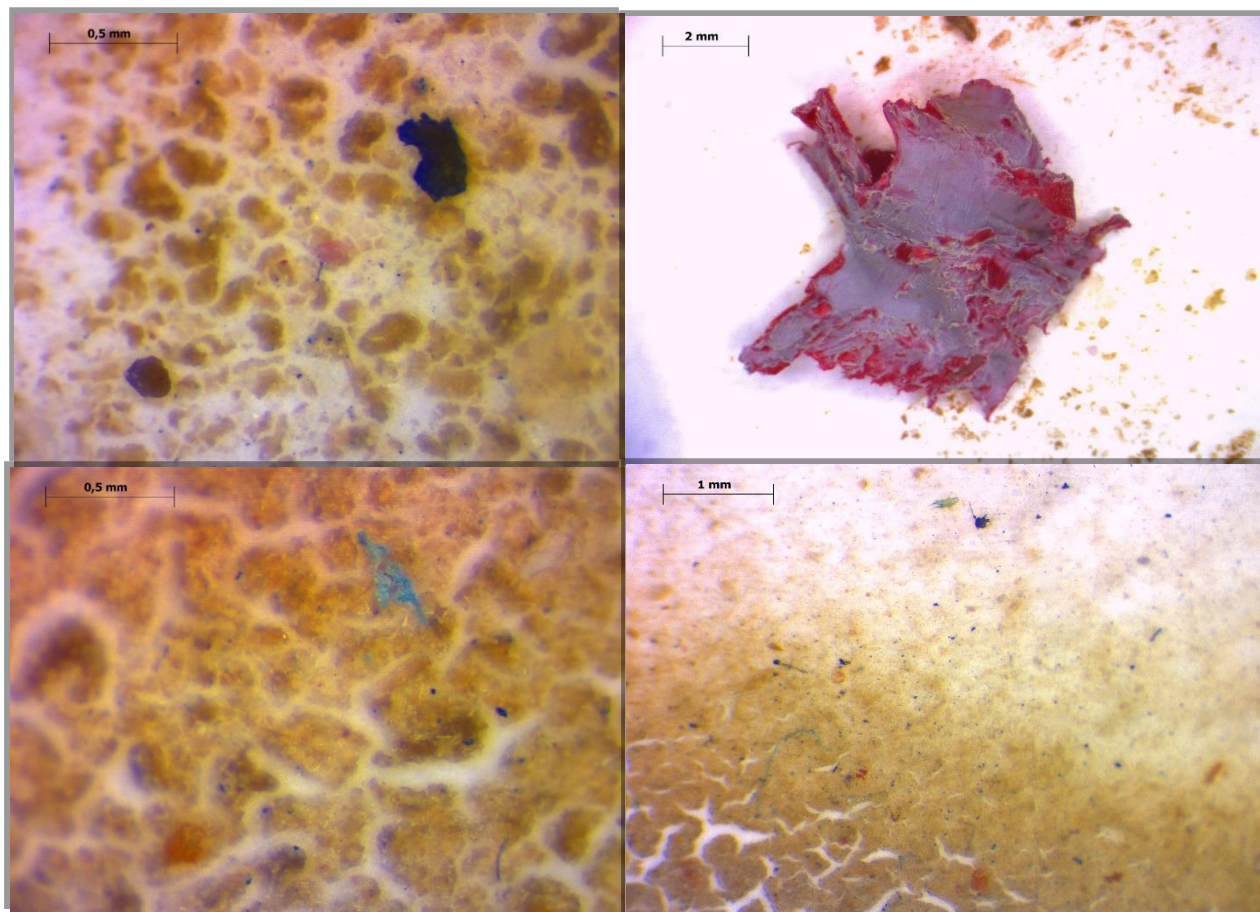
Διάγραμμα 3.13 Μηνιαία συγκέντρωση ινών στην κλάση >500  $\mu\text{m}$

### 3.1.2. ΘΡΑΥΣΜΑΤΑ

Η αύξηση των θραυσμάτων την καλοκαιρινή περίοδο έγινε σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με την αύξηση των συνθετικών ινών. Πιο συγκεκριμένα τα θραύσματα που ανήκουν στη κλάση 20-80μm την καλοκαιρινή περίοδο έχουν ραγδαία αύξηση σε σχέση με την χειμερινή και γίνεται η καταλυτική ομάδα που επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την συνολική αύξηση της συγκέντρωσης των θραυσμάτων ανά λίτρο, όπου είναι είκοσι δύο φορές μεγαλύτερη συγκριτικά με τον χειμώνα.

Πίνακας 3.5 Αποτελέσματα συγκέντρωσης θραυσμάτων

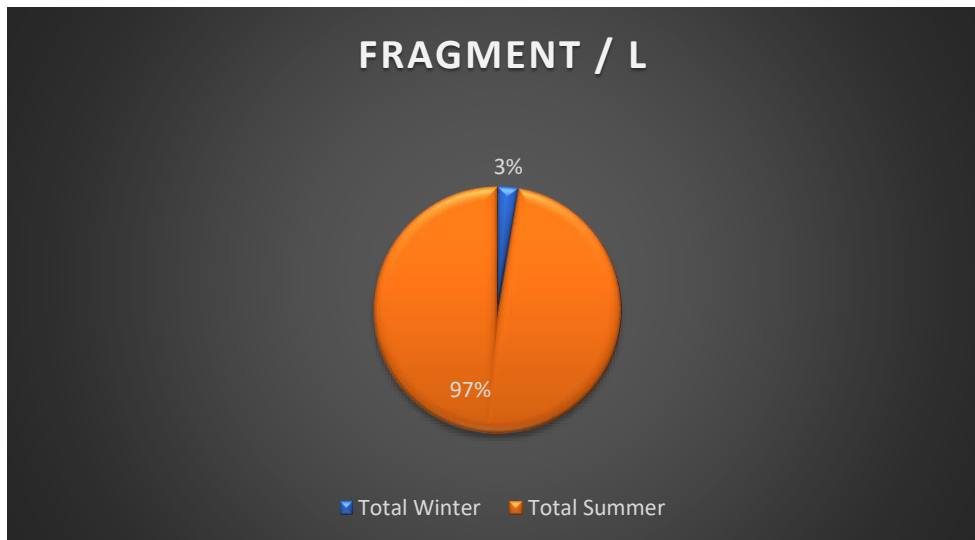
Fragment / Liter	20 - 80 μm	80 - 200 μm	200 - 500 μm	> 500 μm	Total
Χειμώνας	0,111	0,284	0,160	0,060	0,616
Καλοκαίρι	17,478	4,42	0,716	0,200	22,633
Σύνολο	8,794	2,262	0,438	0,130	11,624



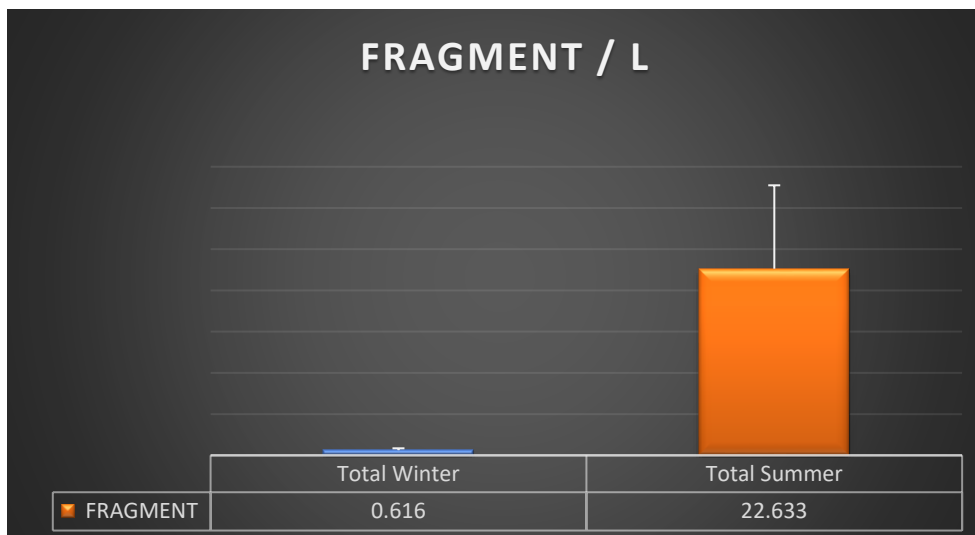
Εικόνα 3.2 Θραύσματα που ανιχνεύθηκαν

## ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

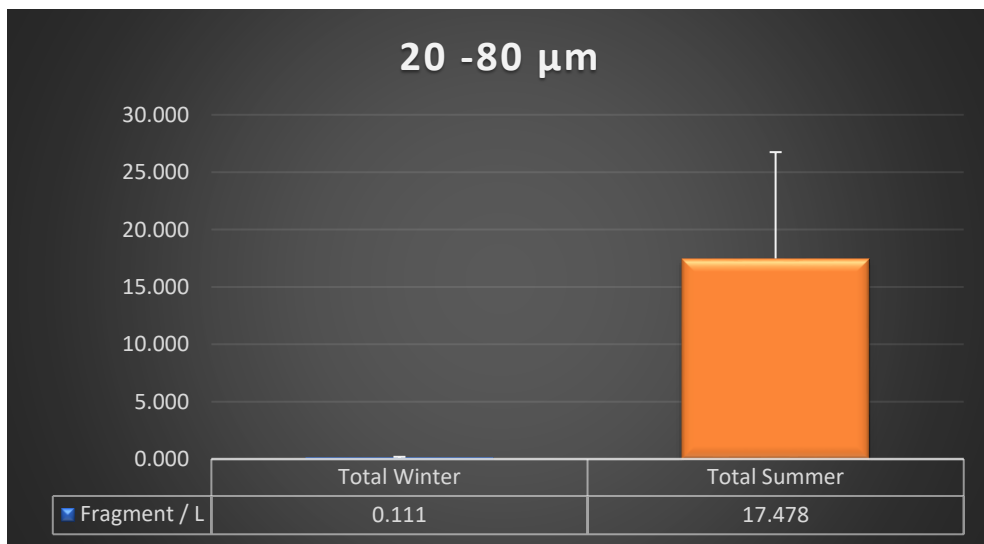
Στη συνέχεια πρόκειται να παρουσιαστεί η συγκέντρωση των θραυσμάτων τη χειμερινή και την εαρινή περίοδο. Σημειώθηκε τεράστια αύξηση το καλοκαίρι στις συγκεντρώσεις των θραυσμάτων. Το ποσοστό φτάνει στο ενενήντα επτά τοις εκατό (97%) και η τιμή της συγκέντρωσης αγγίζει τα είκοσι δύο θραύσματα ανά λίτρο (22 fragments/L). Ακολουθούν τα διαγράμματα που παρουσιάζουν την συνολική συγκέντρωση αρχικά σε ποσοστιαία μορφή και έπειτα με τις τιμές συγκέντρωσης. Τέλος έχουν σειρά και τα τέσσερα διαστήματα τιμών αναλυτικά και αυτά με τις τιμές της συγκέντρωσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε όλα τα ιστογράμματα έχει συμπεριληφθεί η μπάρα σφάλματος.



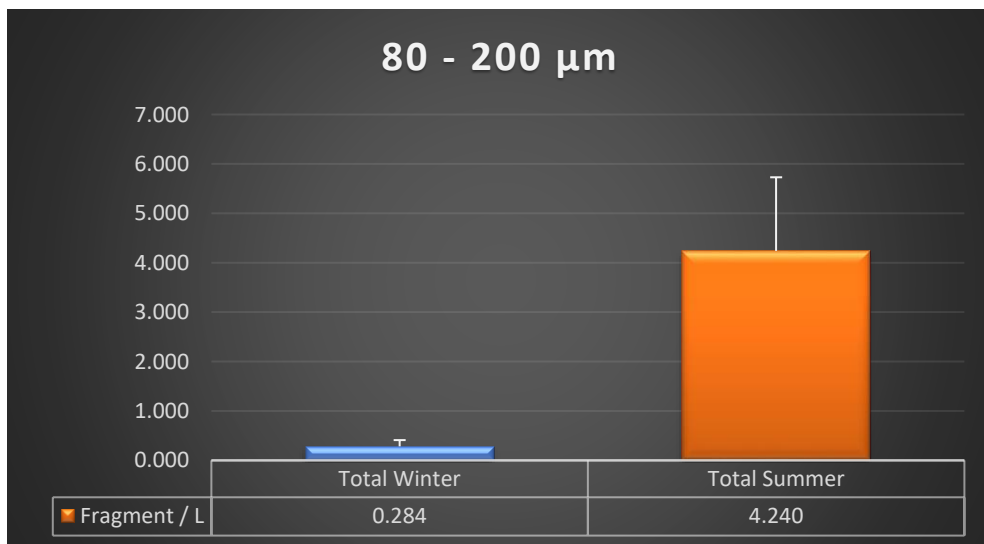
Διάγραμμα 3.14 Συνολική συγκέντρωση θραυσμάτων στις δύο περιόδους εκφρασμένη σε ποσοστά



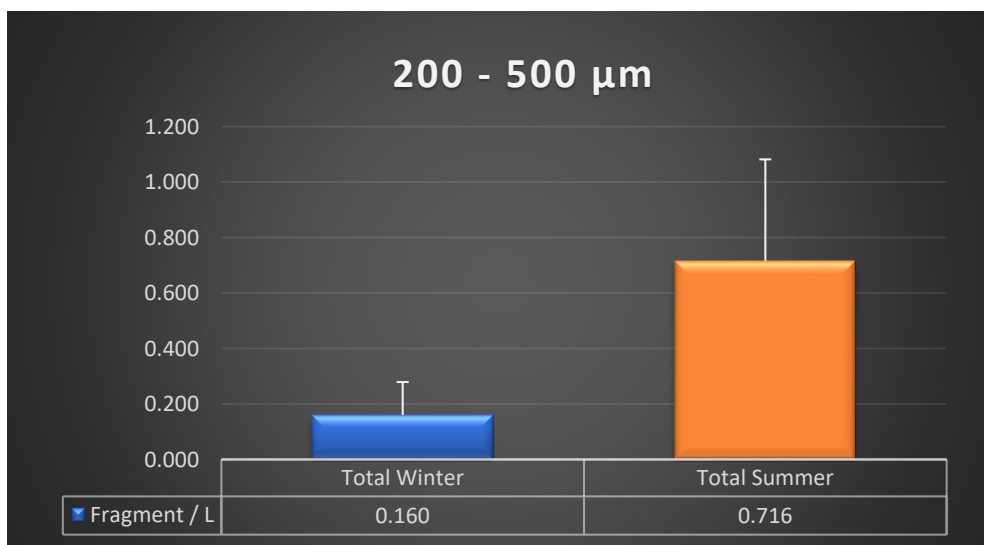
Διάγραμμα 3.15 Συνολική συγκέντρωση θραυσμάτων στις δύο περιόδους



Διάγραμμα 3.16 Συγκέντρωση θραυσμάτων στη κλάση 20 - 80  $\mu\text{m}$



Διάγραμμα 3.17 Συγκέντρωση θραυσμάτων στη κλάση 80 - 200  $\mu\text{m}$



Διάγραμμα 3.18 Συγκέντρωση θραυσμάτων στη κλάση 200 - 500  $\mu\text{m}$



Διάγραμμα 3.19 Συγκέντρωση θραυσμάτων στη κλάση >500  $\mu\text{m}$

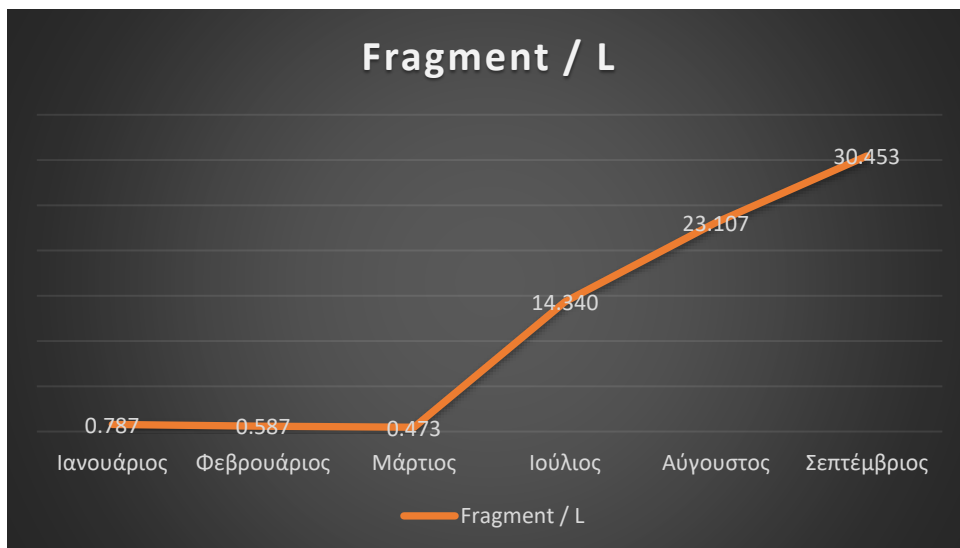
## ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΘΡΑΥΣΜΑΤΩΝ

Στη συγκεκριμένη ενότητα, όπως με τις συνθετικές ίνες, παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των θραυσμάτων κάθε μήνα και για τις δύο περιόδους με σκοπό την περαιτέρω ανάλυση της χρονικής διακύμανσης και κατανόηση αυτής. Ακολουθεί ο πίνακας της μηνιαίας συγκέντρωσης των θραυσμάτων αναλυτικά, έπειτα η καμπύλη της μηνιαίας συγκέντρωσης και μετά το διάγραμμα με τις συνολικές τιμές ανά μήνα εκφρασμένο σε ποσοστά. Παρατηρούμε πως την πιο υψηλή την έχει ο μήνας Σεπτέμβριος και την πιο χαμηλή ο μήνας Μάρτιος.

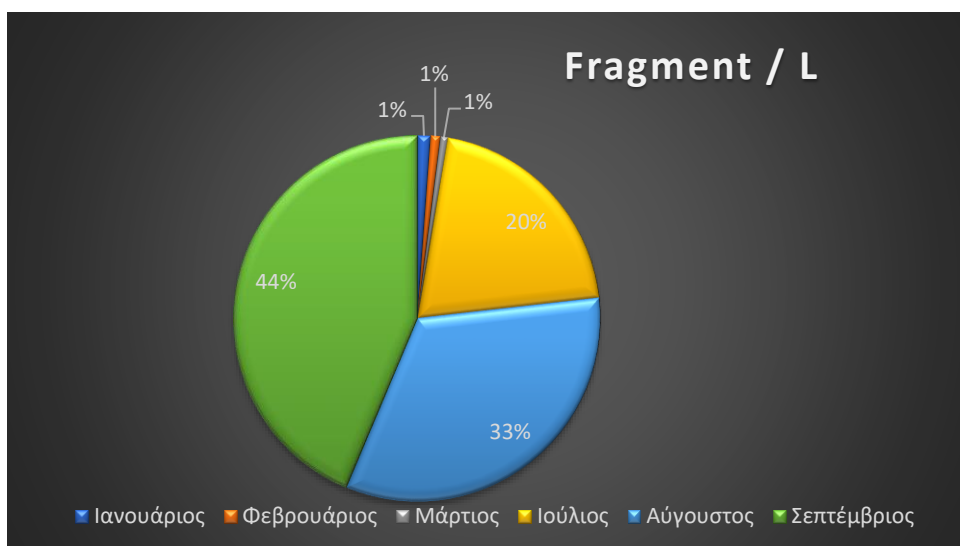
Πίνακας 3.6 Αποτελέσματα μηνιαίας συγκέντρωσης θραυσμάτων

Fragment / Liter	20 - 80 $\mu\text{m}$	80 - 200 $\mu\text{m}$	200 - 500 $\mu\text{m}$	above 500 $\mu\text{m}$	Total
Ιανουάριος	0,100	0,340	0,227	0,120	0,787
Φεβρουάριος	0,107	0,273	0,160	0,047	0,587
Μάρτιος	0,127	0,240	0,093	0,013	0,473
Ιούλιος	9,913	3,213	0,940	0,273	14,340
Αύγουστος	16,927	5,127	0,820	0,233	23,107
Σεπτέμβριος	25,593	4,380	0,387	0,093	30,453

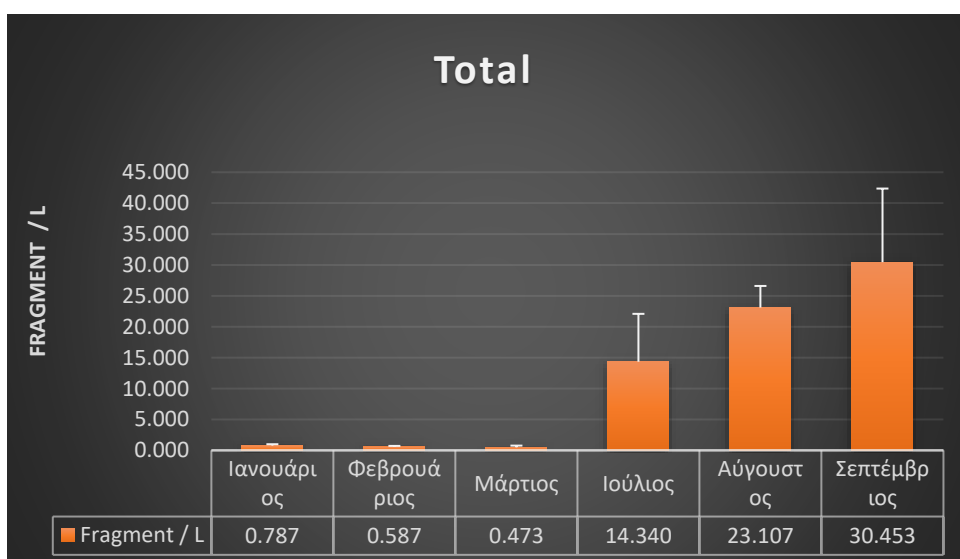




Διάγραμμα 3.20 Καμπύλη μηνιαίας συγκέντρωσης θραυσμάτων



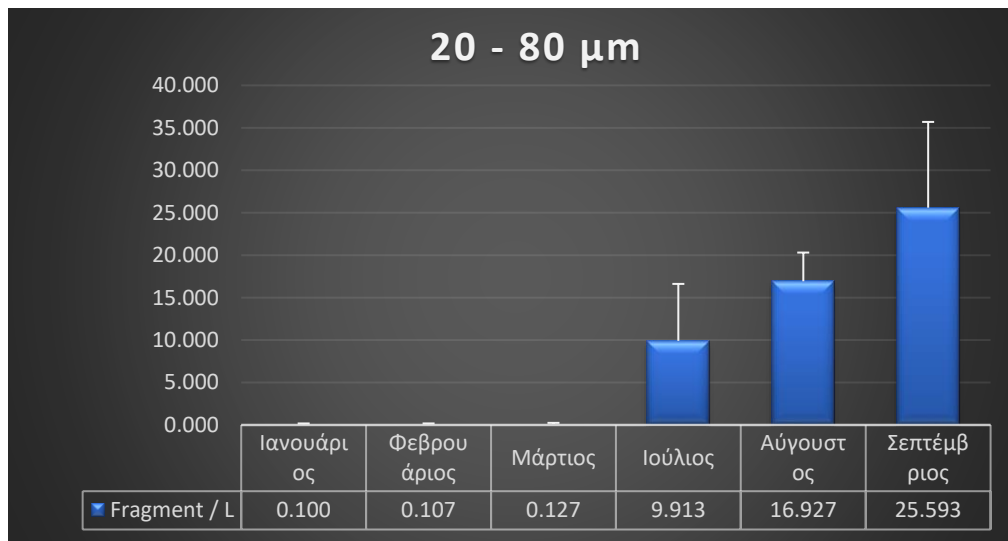
Διάγραμμα 3.21 Μηνιαία συγκέντρωση θραυσμάτων εκφρασμένη σε ποσοστά



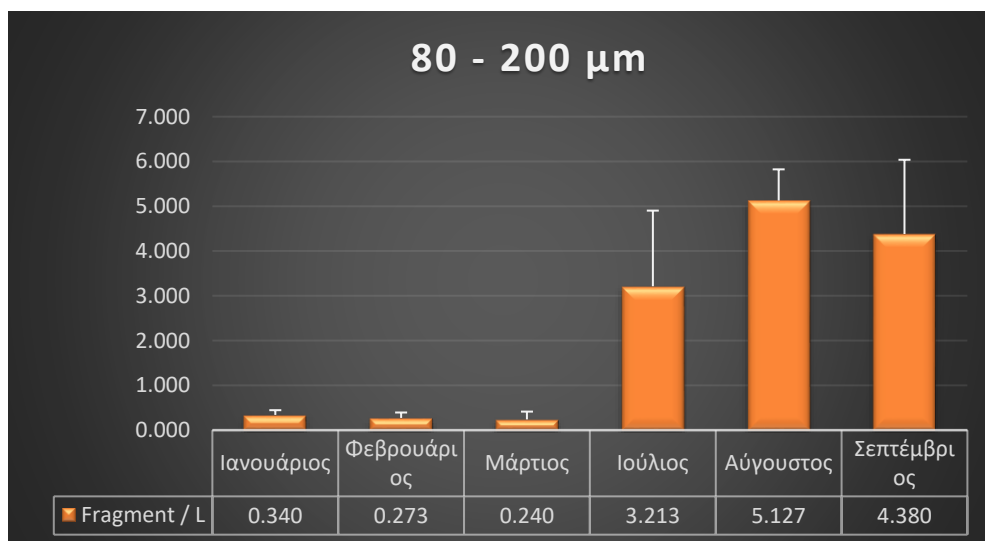
Διάγραμμα 3.22 Μηνιαία συγκέντρωση θραυσμάτων



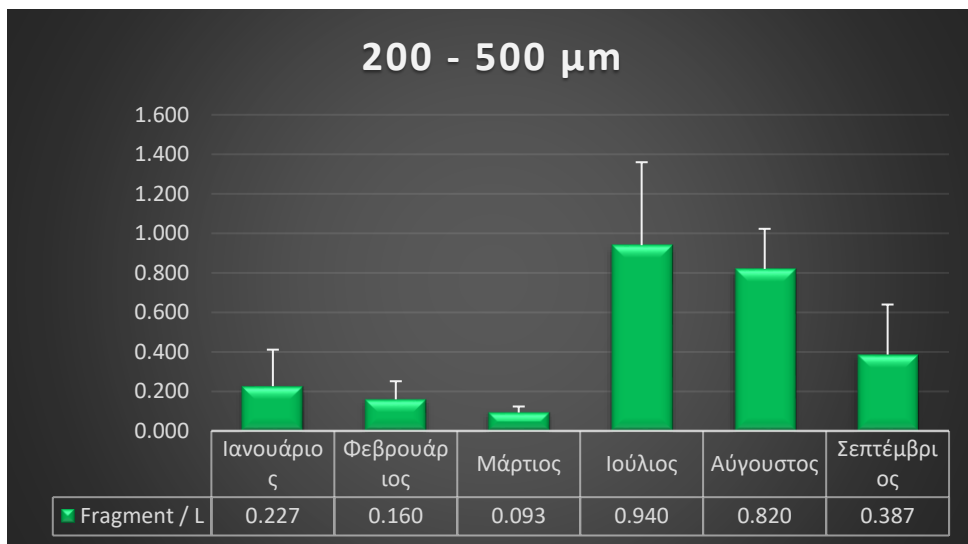
Ακολουθεί η παρουσίαση της μηνιαίας συγκέντρωσης των θραυσμάτων σε κάθε ομάδα μεγέθους που έχουν χωριστεί. Στην κρίσιμη ομάδα 20 – 80  $\mu\text{m}$  υπάρχει κατακόρυφη αύξηση τους θερινούς μήνες με πρώτο τον μήνα Σεπτέμβριο που φτάνει την τιμή των είκοσι έξι θραυσμάτων ανά λίτρο (26 Fragment /l), ενώ στα υπόλοιπα μεγέθη μοιράζονται τις πρώτες θέσεις και οι υπόλοιποι δύο μήνες.



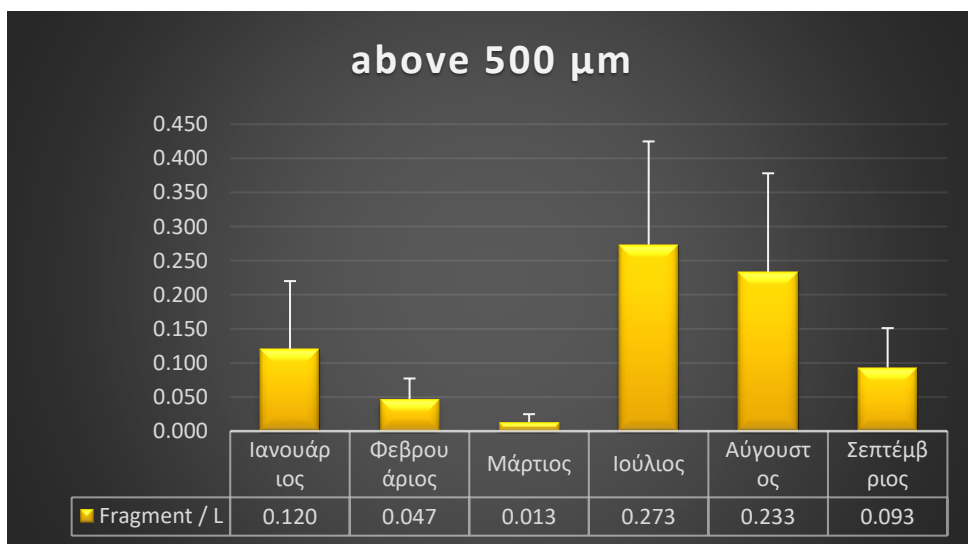
Διάγραμμα 3.23 Μηνιαία συγκέντρωση θραυσμάτων στη κλάση 20 - 80  $\mu\text{m}$



Διάγραμμα 3.24 Μηνιαία συγκέντρωση θραυσμάτων στη κλάση 80 - 200  $\mu\text{m}$



Διάγραμμα 3.25 Μηνιαία συγκέντρωση θραυσμάτων στη κλάση 200 - 500  $\mu\text{m}$



Διάγραμμα 3.26 Μηνιαία συγκέντρωση θραυσμάτων στη κλάση >500  $\mu\text{m}$

### 3.1.3. ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΑ

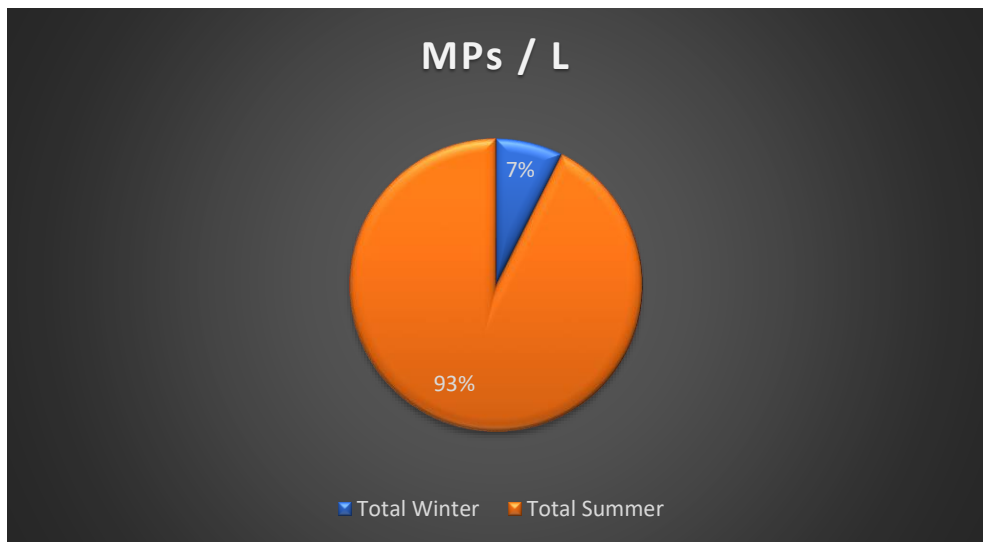
Στην ενότητα αυτή πρόκειται να παρουσιαστούν οι συγκεντρώσεις των μικροπλαστικών με τον ίδιο τρόπο που παρουσιάστηκαν προηγουμένως τα θραύσματα και οι ίνες. Ουσιαστικά τα μικροπλαστικά είναι ο συνδυασμός των ινών και των θραυσμάτων και το πρότυπο συγκέντρωσής τους είναι παρόμοιο με αυτό των θραυσμάτων καθώς κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό στην συνολική δειγματοληψία.

Πίνακας 3.7 Αποτελέσματα συγκέντρωσης μικροπλαστικών

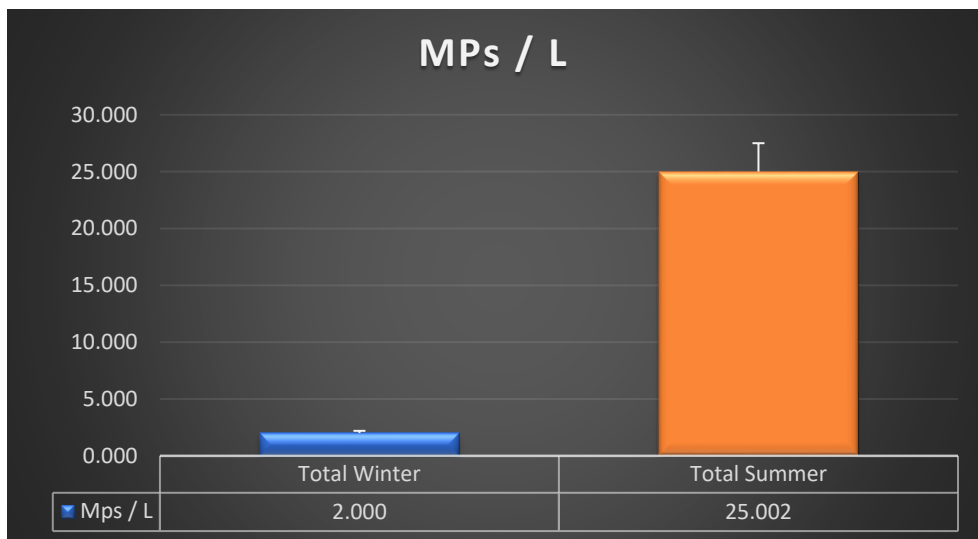
MPs / Liter	20 - 80 $\mu\text{m}$	80 - 200 $\mu\text{m}$	200 - 500 $\mu\text{m}$	> 500 $\mu\text{m}$	Total
Χειμώνας	0,116	0,360	0,482	1,042	2,000
Καλοκαίρι	17,556	4,793	1,644	1,009	25,002
Σύνολο	8,371	2,441	1,007	0,972	12,791

### ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

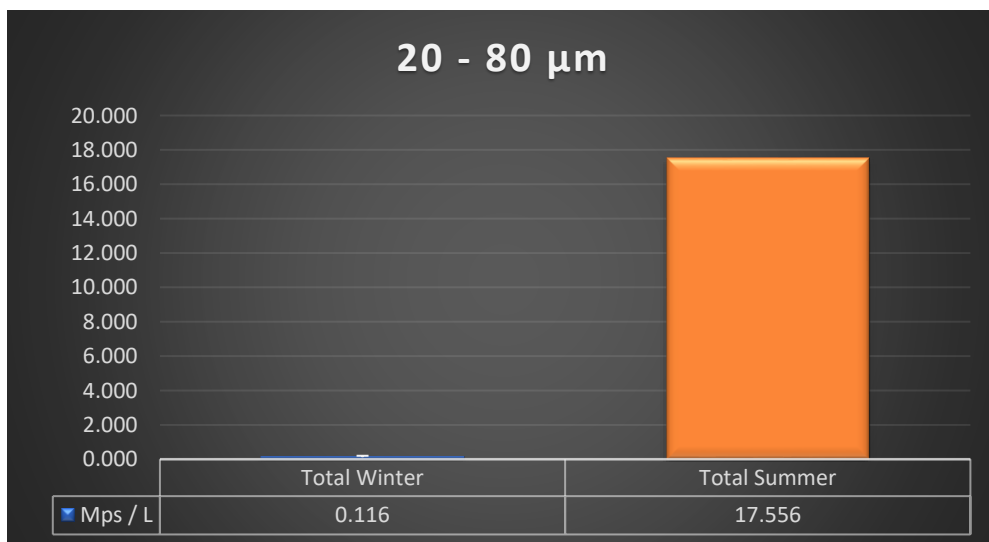
Όπως και στις προηγούμενες ενότητες έτσι και εδώ παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων, ινών και θραυσμάτων το χειμώνα και το καλοκαίρι. Έχοντας βγάλει τα αποτελέσματα των δύο κατηγοριών ξεχωριστά προηγουμένως αντιλαμβανόμαστε ότι στη θερινή περίοδο θα υπάρξει μεγάλη αύξηση των συγκεντρώσεων. Μάλιστα το καλοκαίρι κατέχει το ενενήντα τρία τοις εκατό (93%) του συνολικού δείγματος φτάνοντας σε συγκέντρωση είκοσι πέντε μικροπλαστικά ανά λίτρο (25,002 MPs/l) όπως φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ομάδα >500 $\mu\text{m}$  είναι η μόνη όπου έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση το χειμώνα σε σχέση με το καλοκαίρι.



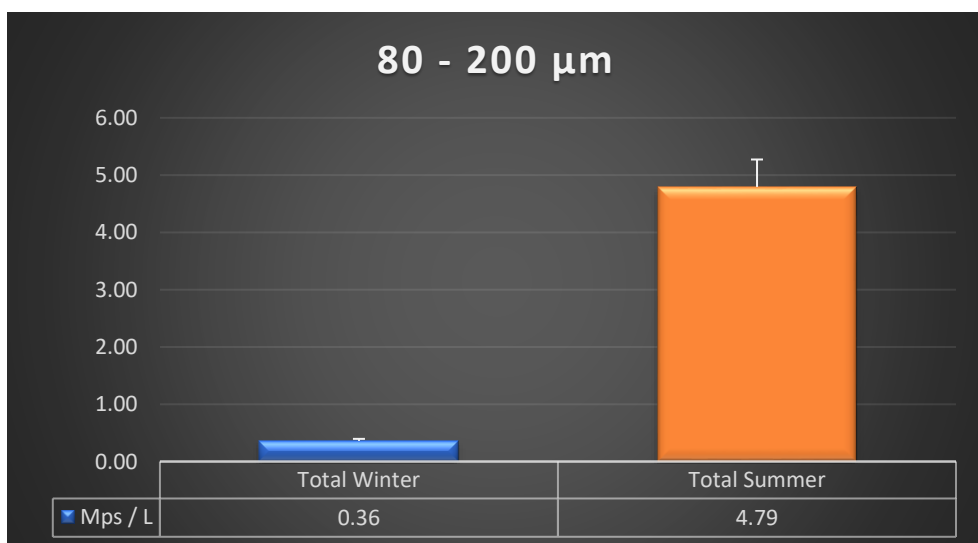
Διάγραμμα 3.27 Συνολική συγκέντρωση μικροπλαστικών στις δύο περιόδους εκφρασμένη σε ποσοστά



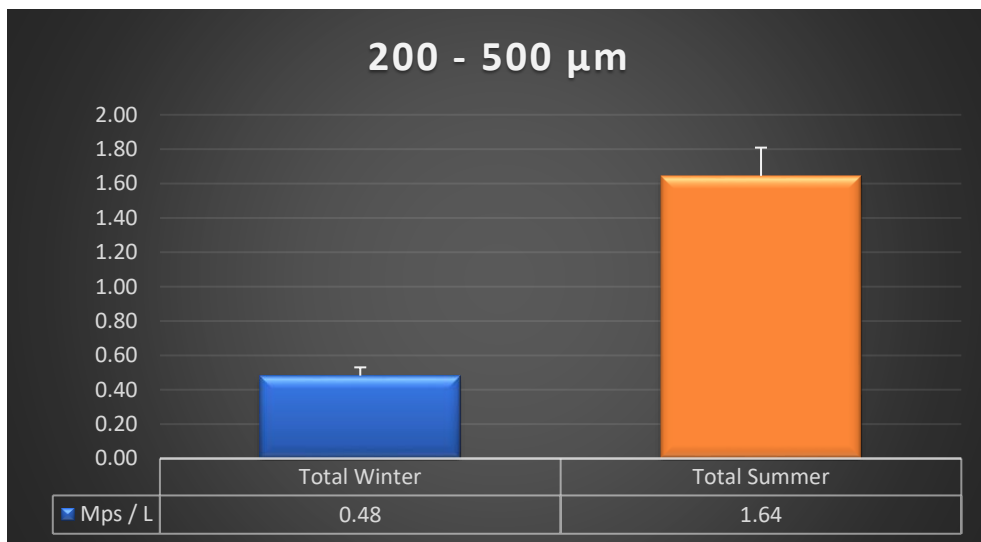
Διάγραμμα 3.28 Συνολική συγκέντρωση μικροπλαστικών στις δύο περιόδους



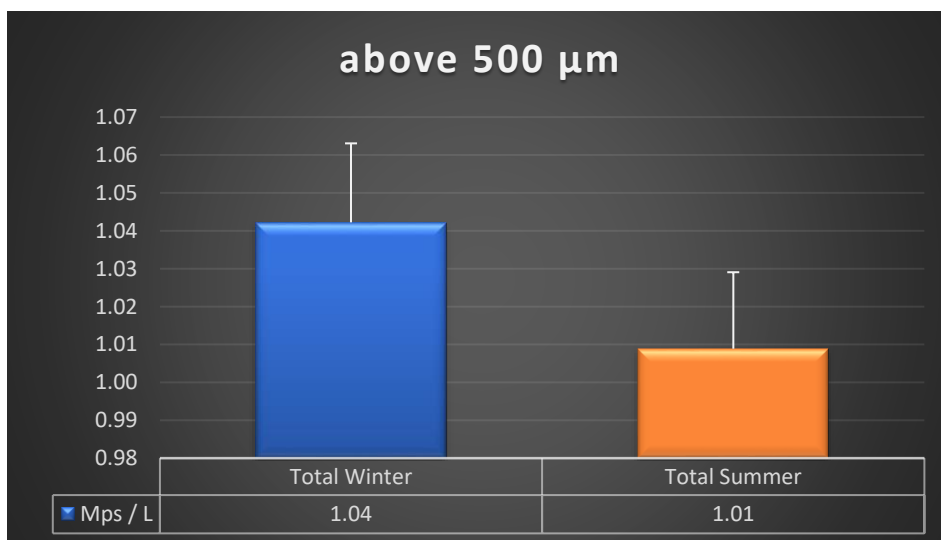
Διάγραμμα 3.29 Συγκέντρωση μικροπλαστικών στη κλάση 20 - 80 μm



Διάγραμμα 3.30 Συγκέντρωση μικροπλαστικών στη κλάση 80 - 200 μm



Διάγραμμα 3.31 Συγκέντρωση μικροπλαστικών στη κλάση 200 - 500  $\mu\text{m}$



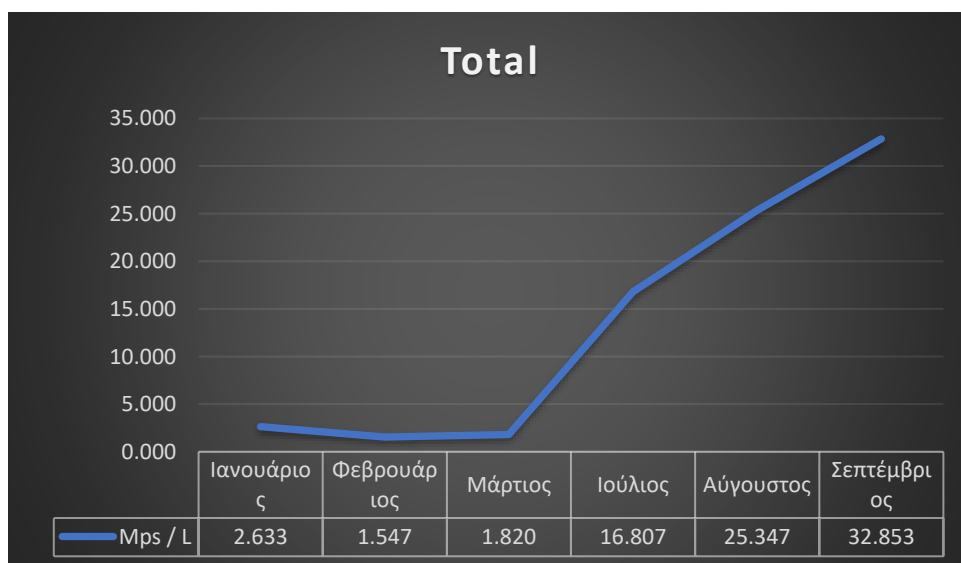
Διάγραμμα 3.32 Συγκέντρωση μικροπλαστικών στη κλάση >500  $\mu\text{m}$

### ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ

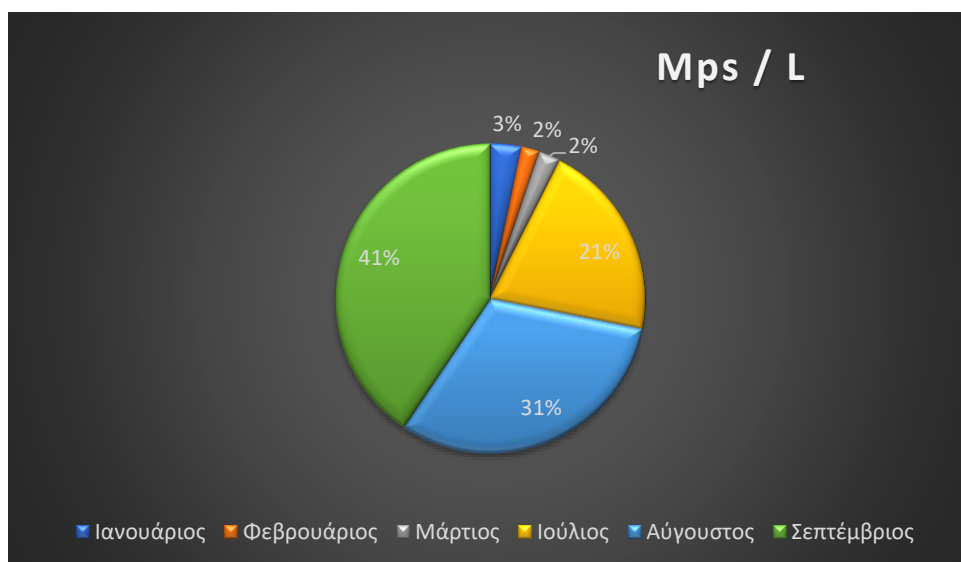
Πρόκειται να παρουσιαστούν οι συγκεντρώσεις των μικροπλαστικών που ανιχνευθήκαν και καταγράφηκαν αναλυτικά για όλους τους μήνες της δειγματοληψίας. Ακολουθούν ο πίνακας της μηνιαίας συγκέντρωσης των μικροπλαστικών σε κάθε διάστημα τιμών καθώς και δύο διαγράμματα με τις συνολικές τιμές του κάθε μήνα πρώτα σε μορφή καμπύλης και μετά εκφρασμένο σε ποσοστά. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει μία κατακόρυφη αύξηση τους θερινούς μήνες όπου ο Σεπτέμβρης κατέχει τη πρώτη θέση με την τιμή της συγκέντρωσης να φτάνει στα είκοσι πέντε σωματίδια ανά λίτρο (25 MPs/l) ενώ ο μήνας Φεβρουάριος με τιμή που αγγίζει το ενάμιση σωματίδιο ανά λίτρο (1,547 MPs/l) να είναι αυτός με τη μικρότερη συγκέντρωση σε ολόκληρο το έτος.

Πίνακας 3.8 Αποτελέσματα μηνιαίας συγκέντρωσης μικροπλαστικών

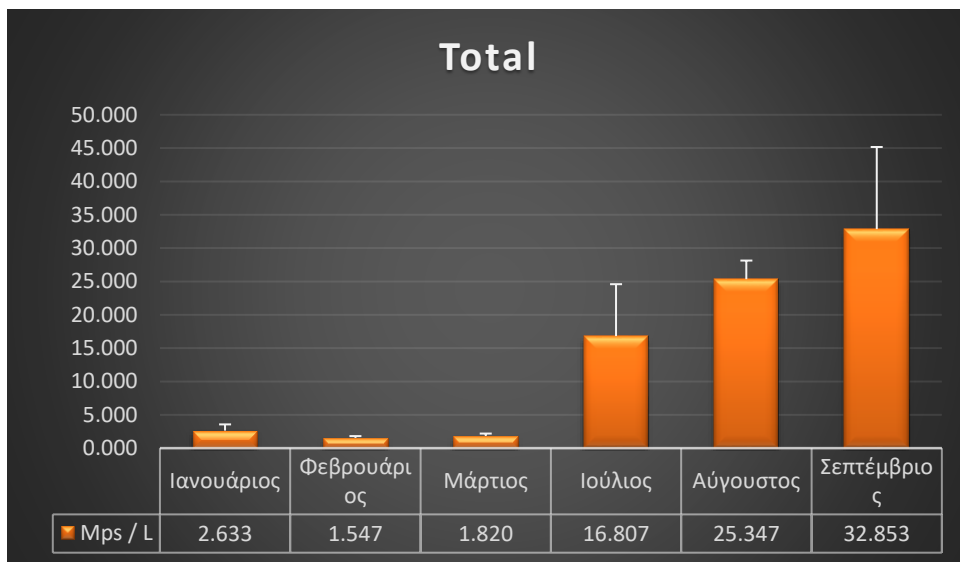
	20 - 80 $\mu\text{m}$	80 - 200 $\mu\text{m}$	200 - 500 $\mu\text{m}$	above 500 $\mu\text{m}$	Total
Ιανουάριος	0,100	0,440	0,687	1,407	2,633
Φεβρουάριος	0,120	0,327	0,433	0,667	1,547
Μάρτιος	0,127	0,313	0,327	1,053	1,820
Ιούλιος	10,033	3,800	1,867	1,107	16,807
Αύγουστος	17,013	5,580	1,687	1,067	25,347
Σεπτέμβριος	25,620	5,000	1,380	0,853	32,853



Διάγραμμα 3.33 Καμπύλη μηνιαίας συγκέντρωσης μικροπλαστικών

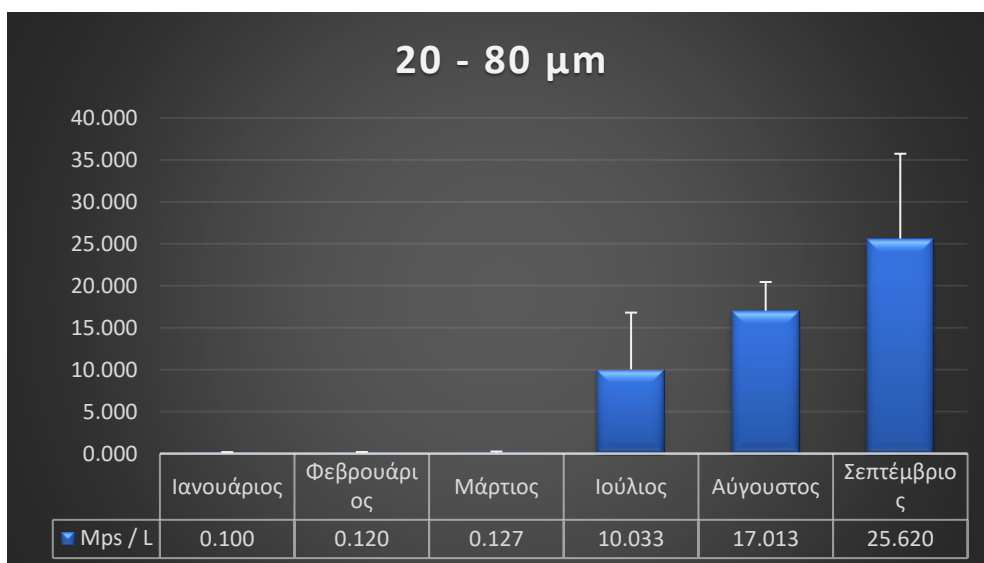


Διάγραμμα 3.34 Μηνιαία συγκέντρωση μικροπλαστικών εκφρασμένη σε ποσοστά



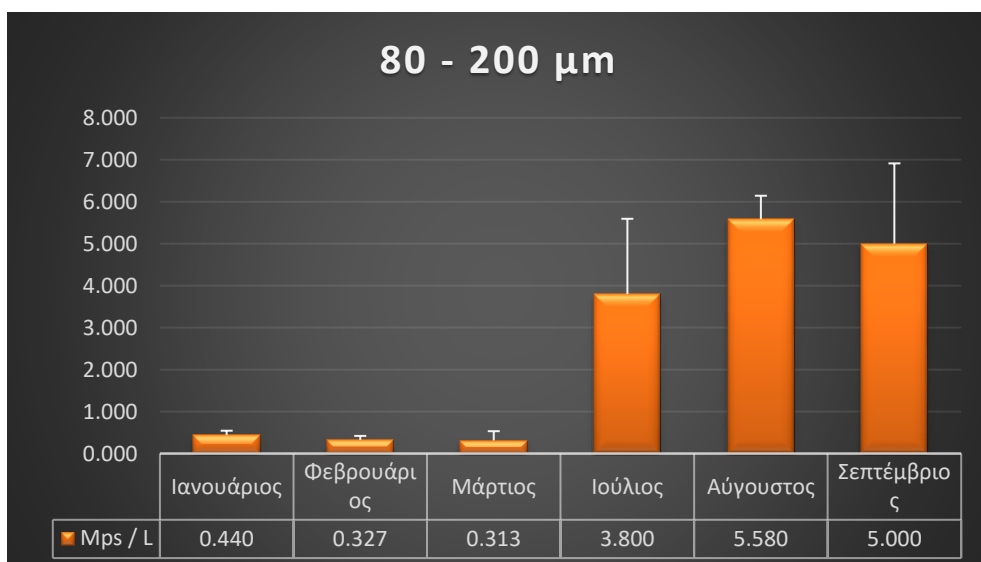
Διάγραμμα 3.35 Μηνιαία συγκέντρωση μικροπλαστικών

Ακολουθεί η περαιτέρω ανάλυση των μηνιαίων συγκεντρώσεων αναλυτικά σε κάθε διάστημα που έχουν χωριστεί. Στην κρίσιμη ομάδα των 20 – 80  $\mu\text{m}$  υπάρχει εκτόξευση τους θερινούς μήνες. Πιο συγκεκριμένα ο μήνας Σεπτεμβρίου είναι καθοριστικός στην υψηλή συγκέντρωση της καλοκαιρινής περιόδου. Αξίζει να σημειωθεί ωστόσο ότι η ομάδα με μεγέθη > 500  $\mu\text{m}$  έχει υψηλότερες τιμές τη χειμερινή περίοδο σε αντίθεση με τις υπόλοιπες όπως παρατηρήθηκε και στην προηγούμενη ενότητα.

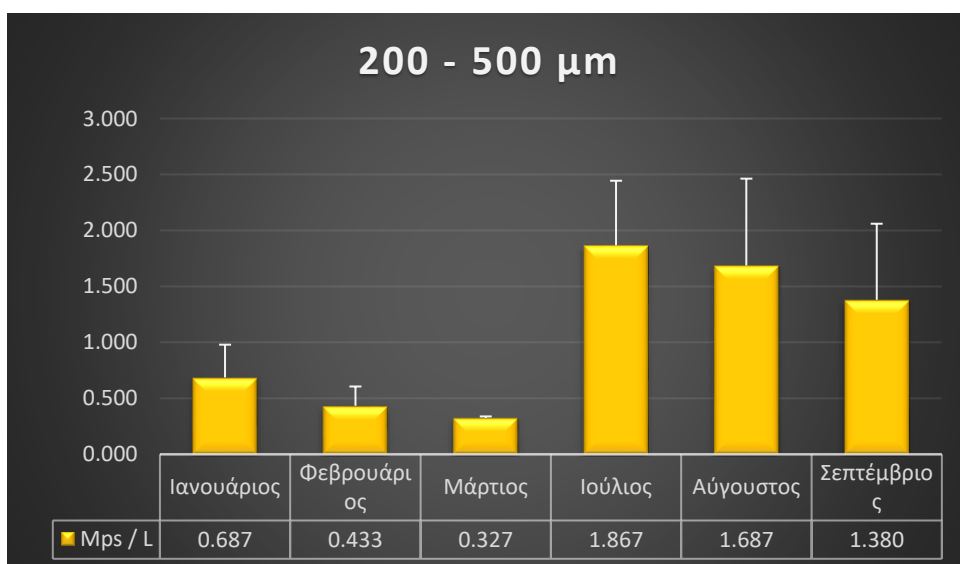


Διάγραμμα 3.36 Μηνιαία συγκέντρωση μικροπλαστικών στην κλάση 20 - 80  $\mu\text{m}$

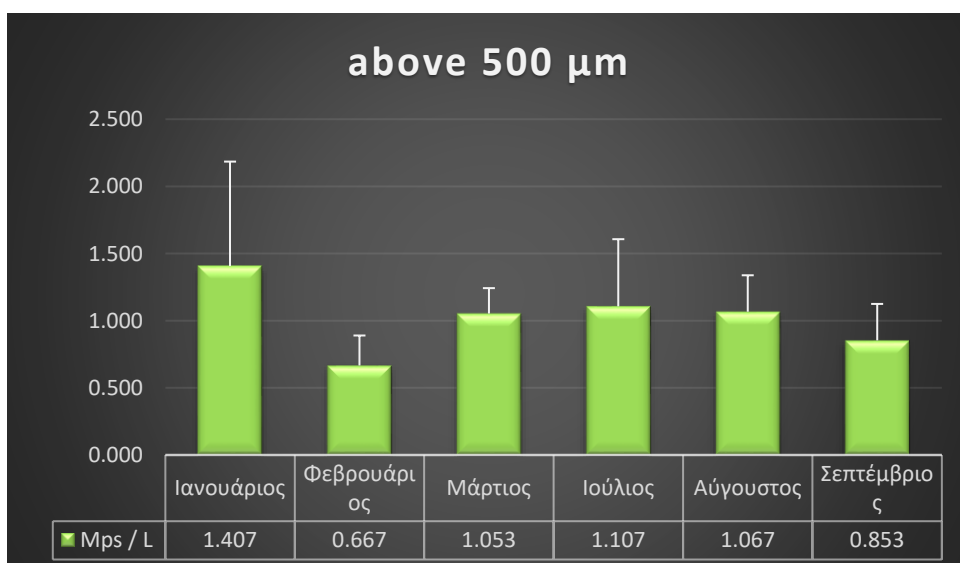




Διάγραμμα 3.37 Μηνιαία συγκέντρωση μικροπλαστικών στην κλάση 80 - 200  $\mu\text{m}$



Διάγραμμα 3.38 Μηνιαία συγκέντρωση μικροπλαστικών στην κλάση 200 - 500  $\mu\text{m}$



Διάγραμμα 3.39 Μηνιαία συγκέντρωση μικροπλαστικών στην κλάση >500  $\mu\text{m}$

TN mg / L

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος
Ημέρα Α	1,46	1,8	8,74	13	11,7	-
Ημέρα Β	1,23	8,82	12,6	8,37	-	-
Ημέρα Γ	1,8	7,16	16	11,7	-	-

COD mg / L

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος
Ημέρα Α	45,9	-	50,1	55	43,1	-
Ημέρα Β	36,8	52	53,3	49,6	40,9	-
Ημέρα Γ	-	53,6	52	47,4	42,7	-

**ΕΛΕΓΧΟΣ TN ΚΑΙ COD ΣΤΑ ΛΥΜΑΤΑ**

Προκειμένου να υπάρξει πλήρης εικόνα για την ποιότητα των λυμάτων στην εκροή της Δ.Δ.Κ. πραγματοποιήθηκε έλεγχος αυτών για τις συγκεντρώσεις ολικού αζώτου (TN) και του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) σε όλα τα δείγματα. Αυτό συμβαίνει διότι τα επεξεργασμένα λύματα στην εκροή της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων πρέπει να πληρούν συγκεκριμένα όρια όσον αφορά τις συγκεντρώσεις του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD), βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD<sub>5</sub>), ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) καθώς και ολικού αζώτου και φωσφόρου τα οποία είναι εργαστηριακές τεχνικές οι οποίες αναπτύχθηκαν για τον προσδιορισμό του οργανικού φορτίου στα απόβλητα. Σύμφωνα με την οδηγία 91/271/ΕΟΚ η οποία ενσωματώθηκε στο Ελληνικό Δίκαιο με την Κ.Υ.Α. 5673/400/1997 τα όρια των επεξεργασμένων λυμάτων που καταλήγουν στους αποδέκτες όσον αφορά το ολικό άζωτο και το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο είναι 15mg/L και 125mg/L αντίστοιχα. Όπως παρατηρούμε στον επόμενο πίνακα με τους δύο ελέγχους που πραγματοποιήθηκαν στις δειγματοληψίες, τα λύματα στην εκροή της βιολογικής επεξεργασίας της εγκατάστασης των Χανίων, ακριβώς πριν το στάδιο της απολύμανσης των λυμάτων με χλωρίωση, βρίσκονται σε πολύ καλή κατάσταση καθώς δεν υπερβαίνουν τα επιθυμητά όρια.

*Πίνακας 3.9 Συγκεντρώσεις TN και COD στα λύματα*

### 3.2. ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στην συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζονται τα τουριστικά δεδομένα της ελληνικής επικράτειας τις χρονιές 2019 και 2020. Παρατηρούμε ότι το 2020 υπήρξε αρκετά μεγάλη πτώση των αφίξεων και των διανυκτερεύσεων σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά, αποτέλεσμα λογικό λόγω της παγκόσμιας έξαρσης του ιού COVID-19. Ο ιός αυτός έφερε παγκόσμια ανησυχία καθώς είχε υψηλή μεταδοτικότητα και θανατηφόρες επιπτώσεις κυρίως στις ευπαθείς ομάδες του παγκόσμιου πληθυσμού. Για την αντιμετώπιση αυτού του πρωτοφανούς ιού όπου έχει εξελιχθεί σε πανδημία και βρίσκεται σε εξέλιξη ακόμη και σήμερα λόγω των συνεχόμενων μεταλλάξεων, ελήφθησαν δραστικά μέτρα παγκόσμιας κλίμακας που επηρέασε σε πολύ μεγάλο βαθμό την κοινωνία. Όλα αυτά έφεραν ως αποτέλεσμα την δραματική μείωση των τουριστών στην χώρα και προφανώς στην Κρήτη, που είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς προορισμούς της Ελλάδας και πιο συγκεκριμένα την πόλη των Χανίων όπου έγινε το αντικείμενο μελέτης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Πίνακας 3.10 Αφίξεις και διανυκτερεύσεις τα έτη 2019 και 2020

(Πηγή : ΕΛΣΤΑΤ)

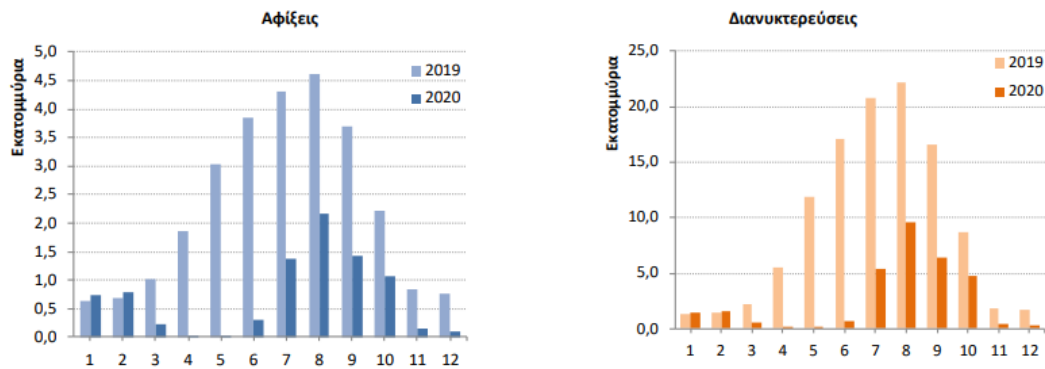
Πίνακας 4. Αφίξεις στα καταλύματα ξενοδοχειακού τύπου και κάμπινγκ, κατά Περιφέρεια, 2019 και 2020

	2019				2020				Μεταβολή % συνόλου 2020/2019
	Σύνολο	Καταλύματα Ξενοδοχειακού τύπου	Κάμπινγκ	Αναλογία % επί του συνόλου	Σύνολο	Καταλύματα Ξενοδοχειακού τύπου	Κάμπινγκ	Αναλογία % επί του συνόλου	
<b>Σύνολο</b>	<b>27.539.434</b>	<b>27.063.766</b>	<b>475.668</b>	<b>100,0</b>	<b>8.418.434</b>	<b>8.209.962</b>	<b>208.472</b>	<b>100,0</b>	<b>-69,4</b>
Αν. Μακεδονία και Θράκη	754.255	720.197	34.058	2,7	256.361	244.831	11.530	3,0	-66,0
Κεντρική Μακεδονία	3.227.544	3.092.167	135.377	11,7	1.039.988	964.095	75.893	12,4	-67,8
Δυτική Μακεδονία <sup>(1)</sup>	152.498	152.498		0,6	62.178	62.178		0,7	-59,2
Ήπειρος	633.486	611.459	22.027	2,3	276.024	270.073	5.951	3,3	-56,4
Θεσσαλία	1.174.990	1.145.714	29.276	4,3	425.503	412.312	13.191	5,1	-63,8
Στερεά Ελλάδα	839.019	817.403	21.616	3,0	320.627	309.064	11.563	3,8	-61,8
Ιόνια νησιά	2.315.832	2.290.210	25.622	8,4	635.042	627.428	7.614	7,5	-72,6
Δυτική Ελλάδα	736.800	704.592	32.208	2,7	285.019	278.112	6.907	3,4	-61,3
Πελοπόννησος	1.581.151	1.492.741	88.410	5,7	647.034	602.434	44.600	7,7	-59,1
Αττική	4.858.779	4.844.993	13.786	17,6	1.333.619	1.331.720	1.899	15,8	-72,6
Βόρειο Αιγαίο <sup>(2)</sup>	401.790	401.790		1,5	93.598	93.598		1,1	-76,7
Νότιο Αιγαίο <sup>(2)</sup>	5.815.159	5.756.216	58.943	21,1	1.626.975	1.603.500	23.475	19,3	-72,0
Κρήτη	5.048.131	5.033.786	14.345	18,3	1.416.466	1.410.617	5.849	16,8	-71,9

Πίνακας 5. Διανυκτερεύσεις στα καταλύματα ξενοδοχειακού τύπου και κάμπινγκ, κατά Περιφέρεια, 2019 και 2020

	2019				2020				Μεταβολή % συνόλου 2020/2019
	Σύνολο	Καταλύματα Ξενοδοχειακού τύπου	Κάμπινγκ	Αναλογία % επί του συνόλου	Σύνολο	Καταλύματα Ξενοδοχειακού τύπου	Κάμπινγκ	Αναλογία % επί του συνόλου	
<b>Σύνολο</b>	<b>111.316.903</b>	<b>109.206.980</b>	<b>2.109.923</b>	<b>100,0</b>	<b>31.275.281</b>	<b>30.376.164</b>	<b>899.117</b>	<b>100,0</b>	<b>-71,9</b>
Αν. Μακεδονία και Θράκη	2.316.806	2.152.142	164.664	2,1	860.926	791.918	69.008	2,8	-62,8
Κεντρική Μακεδονία	11.673.863	10.809.343	864.520	10,5	3.166.641	2.773.076	393.565	10,1	-72,9
Δυτική Μακεδονία <sup>(1)</sup>	312.803	312.803		0,3	140.050	140.050		0,4	-55,2
Ήπειρος	1.634.104	1.558.985	75.119	1,5	663.154	638.628	24.526	2,1	-59,4
Θεσσαλία	2.763.100	2.661.626	101.474	2,5	981.445	933.793	47.652	3,1	-64,5
Στερεά Ελλάδα	2.234.274	2.163.593	70.681	2,0	847.954	799.661	48.293	2,7	-62,0
Ιόνια νησιά	12.917.772	12.790.429	127.343	11,6	3.373.524	3.332.132	41.392	10,8	-73,9
Δυτική Ελλάδα	2.107.757	1.999.273	108.484	1,9	749.918	727.800	22.118	2,4	-64,4
Πελοπόννησος	4.264.205	3.936.868	327.337	3,8	1.633.387	1.458.007	175.380	5,2	-61,7
Αττική	10.291.896	10.260.847	31.049	9,2	2.973.264	2.969.501	3.763	9,5	-71,1
Βόρειο Αιγαίο <sup>(2)</sup>	2.005.706	2.005.706		1,8	498.509	498.509		1,6	-75,1
Νότιο Αιγαίο <sup>(2)</sup>	30.787.732	30.592.824	194.908	27,7	8.287.404	8.229.958	57.446	26,5	-73,1
Κρήτη	28.006.885	27.962.541	44.344	25,2	7.099.105	7.083.131	15.974	22,7	-74,7

Γράφημα 2. Αφίξεις και διανυκτερεύσεις στα καταλύματα ξενοδοχειακού τύπου και κάμπινγκ, κατά μήνα, 2019 και 2020

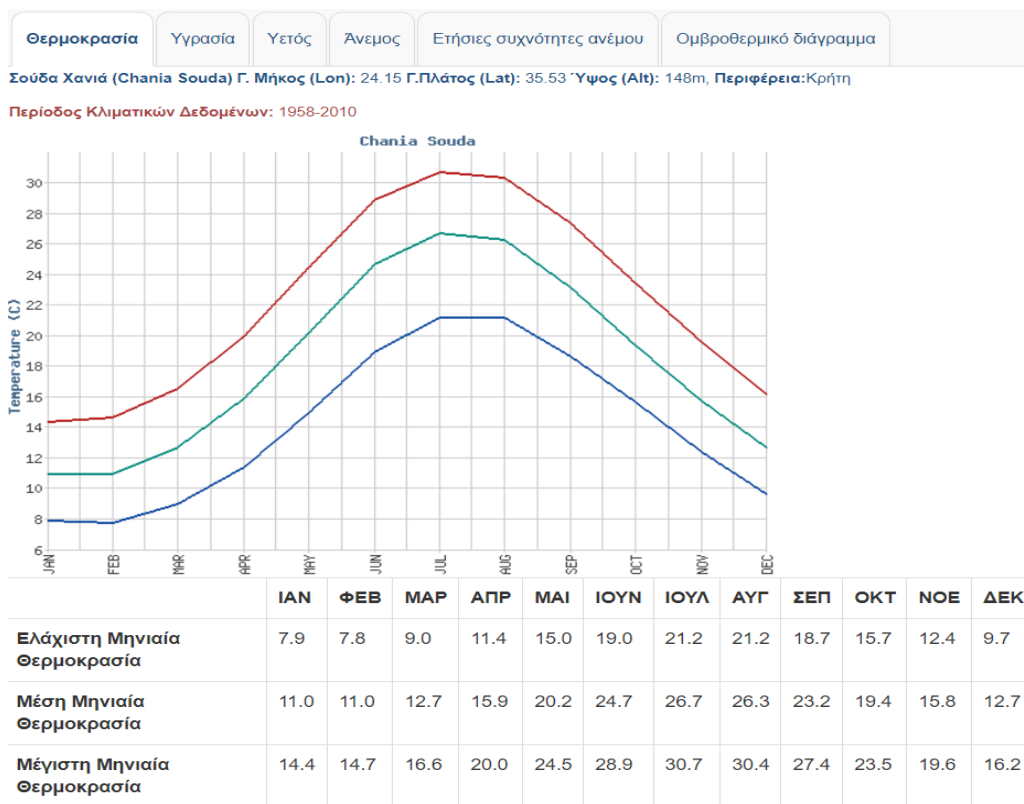


Διάγραμμα 3.40 Αφίξεις και διανυκτερεύσεις σε μορφή γραφήματος

(Πηγή : ΕΛΣΤΑΤ)

### 3.4. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΧΑΝΙΩΝ

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής των Χανίων . Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων που πραγματοποιήθηκε από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ) καταγράφοντας στοιχεία από το 1958 μέχρι το 2010 παρουσιάζοντας την μέση θερμοκρασία για όλους τους μήνες ενός έτους καθώς και τις ελάχιστες και τις υψηλότερες μηνιαίες θερμοκρασίες αυτού.



Διάγραμμα 3.41 Κλιματικά δεδομένα Χανίων

(Πηγή : Ε.Μ.Υ.)

### 3.5. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΕ Ε.Ε.Λ. ΤΟΥ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ

Πίνακας 3.11 Συγκέντρωση μικροπλαστικών στην εκροή της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας σε Ε.Ε.Λ. του εξωτερικού

Χώρα	Εύρος μεγέθους σωματιδίων (μm)	Επεξεργασία	Συγκέντρωση MPs / Liter	COD mg / Liter	Πηγή
Κίνα	422,1 ± 66,3	Δευτερογενής	34,1 ± 9,4	45,7 ± 5,3	Liu et al., 2019
Ισπανία	≥ 25 & ≤ 500	Δευτερογενής	12,8 ± 6,3	-	Edo et al., 2020
Ισραήλ	≥ 0,45	Δευτερογενής	15,62 ± 2,52	-	Ben-David et al., 2021

Παρατηρούμε από τις παραπάνω πηγές ότι η μέση συγκέντρωση μικροπλαστικών διαφέρει από εγκατάσταση σε εγκατάσταση στις δευτεροβάθμιες δεξαμενές καθίζησης. Σύμφωνα με τον πίνακα 3.12 όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μίας εγκατάστασης στην Κίνα η συγκέντρωση της Δ.Δ.Κ. αγγίζει τα 34,1 MPs / L. Σε άλλη έρευνα στο βόρειο Ισραήλ η συγκέντρωση που υπολογίστηκε έπειτα από παρόμοια έρευνα αγγίζει τα 15,62 MPs / L έχοντας ωστόσο τα 0,45 μm ως κατώτερο όριο. Αντίστοιχη έρευνα που παρουσιάζει τα αποτελέσματα ενός βιολογικού καθαρισμού κοντά στη Μαδρίτη η τιμή της συγκέντρωσης αγγίζει τα 12,8 MPs / L με όρια σχεδόν ίδια με τη παρούσα έρευνα, έχοντας μια μικρή διαφορά αυτή του κατώτερου ορίου στα 25μm σε αντίθεση με την δική μας όπου είναι τα 20μm. Τέλος όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των λυμάτων μετά την ολοκλήρωση της δευτεροβάθμιας (βιολογικής) επεξεργασίας, η τιμή του COD παραμένει στα ίδια επίπεδα όσον αφορά τον βιολογικό της Κίνας που έγινε αντίστοιχες μετρήσεις.

Συνεπώς είναι αρκετά δύσκολη η σύγκριση των διάφορων μελετών όσον αφορά τα αποτελέσματα. Αυτό συμβαίνει λόγω των διαφορετικών παραμέτρων που υπάρχουν στις Ε.Ε.Λ. αλλά και στις μελέτες που γίνονται πάνω σε αυτές. Όσον αφορά τις εγκαταστάσεις οι διαφορές οφείλονται στον ισοδύναμο πληθυσμό που εξυπηρετεί η κάθε μία (Blair et al., 2019), τα είδη των λυμάτων που εισέρχονται για επεξεργασία (αστικά, βιομηχανικά) (Sun et al., 2019). Όσον αφορά τις μελέτες οι διαφορές οφείλονται στους τρόπους και τις μεθόδους δειγματοληψίας, προ-επεξεργασίας αλλά και καταγραφής των δειγμάτων (Sun et al., 2019) καθώς και στα όρια των μεγεθών των μικροπλαστικών που καταγράφονται.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η αποτύπωση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων της έρευνας που διεξήχθη στα πλαίσια της εργασίας απέδωσε μια σειρά ενδιαφέροντων ευρημάτων που θα συζητηθούν περαιτέρω στο παρόν κεφάλαιο.

Ένα από τα βασικά ευρήματα της έρευνας είναι η αύξηση της συγκέντρωσης των μικροπλαστικών είτε συνολικά είτε επιμέρους σε σχέση με τις εξεταζόμενες κατηγορίες (ίνες και θραύσματα) που καταλήγουν στην δευτεροβάθμια επεξεργασία τους καλοκαιρινούς μήνες σε σχέση με τους χειμερινούς. Τα αποτελέσματά έδειξαν ότι οι εποχιακές διακυμάνσεις στα χαρακτηριστικά των ροών μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού προκλήθηκαν κυρίως από πλαστικά απορρίμματα που κατακερματίζονται κατά την πρωτογενή επεξεργασία σε μικροπλαστικά θραύσματα και ίνες μικρού-μεσαίου μεγέθους. Μια υπερεκτίμηση αυτών των ροών από την εξεταζόμενη εγκατάσταση θα συνέβαινε εάν είχαν μελετηθεί οι ροές αποκλειστικά από τα δεδομένα που ελήφθησαν το καλοκαίρι.

Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να θεωρηθεί ουσιαστικά αναμενόμενο, δεδομένου ότι η περιοχή όπου βρίσκεται η μονάδα που εστίασε η έρευνα είναι αμιγώς τουριστική, και παρουσιάζει σημαντική αύξηση πληθυσμού από τους εισερχόμενους επισκέπτες το καλοκαίρι. Κατά συνέπεια, τόσο η συνολική παροχή εισόδου όσο και οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις μικροπλαστικών αυξάνονται δραματικά επηρεάζοντας τις πρωτογενείς και δευτερογενείς πηγές προέλευσης.

Πέραν του αναμενόμενου ωστόσο αυτού χαρακτηριστικού οι καταγραφόμενες αυξήσεις στην περιεκτικότητα σε μικροπλαστικά είναι ιδιαίτερα σημαντικές και θα πρέπει να συνδεθούν και με άλλους παράγοντες. Είναι σαφές ότι η αύξηση του πληθυσμού της περιοχής επιφέρει κάποια αύξηση, ωστόσο από μόνη της αδυνατεί να εξηγήσει αυτές τις αυξήσεις που παρατηρήθηκαν. Είναι σαφές ότι οι λόγοι για την σημαντική αυτή αύξηση αφορά κυρίως στον τρόπο κατανάλωσης και απόρριψης πλαστικών, ώστε αυτά να καταλήγουν στην μονάδα επεξεργασίας.

Οι τεράστιες αυξήσεις που σημειώνονται μπορούν συνεπώς να αποδοθούν στους κάτωθι παράγοντες:

- Στις πρωτογενείς πηγές προέλευσης όπου αποτελούν τα προϊόντα ατομικής φροντίδας και υγιεινής όπως τα αφρόλουτρα, οι οδοντόκρεμες, τα προϊόντα μακιγιάζ κλπ (Carr et al. 2016).
- Στις δευτερογενείς πηγές προέλευσης καθώς η θερμοκρασία που είναι σε υψηλά επίπεδα τους καλοκαιρινούς μήνες επιτρέπει σε ταχύτερο ρυθμό την φθορά και τον κατακερματισμό των ελαστικών που χρησιμοποιούνται ή από τους επισκέπτες είτε από τον ντόπιο πληθυσμό για την μεταφορά αυτών.
- Η ραγδαία αύξηση αντικειμένων/εξοπλισμού κατασκευασμένου από πλαστικά για τις ανάγκες εστίασης. Είναι ασφαλής μια εκτίμηση ότι πλήθος πλαστικών ποτηριών, συσκευασιών, εξοπλισμού εστίασης κλπ αξιοποιούνται κυρίως από τους εισερχόμενους τουρίστες στην περιοχή, και πολλά από αυτά απορρίπτονται με τρόπο μη χρηστό, με αποτέλεσμα να καταλήγουν στην ροή προς την μονάδα επεξεργασίας.  
Αφενός η ραγδαία αύξηση της χρήσης των αντικειμένων αυτών και παράλληλα η λαθεμένη ή απρόσεκτη απόρριψη τους μπορούν να εξηγήσουν σε μεγάλο βαθμό την αύξηση των συγκεντρώσεων των μικροπλαστικών που μετρήθηκαν κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.
- Σε σχέση με τις ίνες, είναι σαφές ότι μέρος των αυξανόμενων ποσοτήτων που μετρούνται τους καλοκαιρινούς μήνες μπορούν επίσης να αποδοθούν σε αντίστοιχους παράγοντες.  
Για παράδειγμα, σε σχέση με εξοπλισμό όπως χαρτοπετσέτες, μαντήλια, χαρτί υγιεινής κλπ είναι αναμενόμενο ότι αυξάνεται ραγδαία η χρήση τους, τόσο λόγω της διαμονής όσο και λόγω της αυξημένης λειτουργίας της εστίασης στην περιοχή. Μεγάλο μέρος αυτών συνήθως απορρίπτεται άκριτα σε τουαλέτες ή στο δρόμο, με αποτέλεσμα την αύξηση του στις ροές και την συνεπακόλουθη αύξηση συγκέντρωσης των ινών στα λύματα.

Κατά συνέπεια, και με βάση τα αρχικά συμπεράσματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω, μπορεί να εξαχθεί το ότι η περιοχή παρουσιάζει σημαντικά ζητήματα σε σχέση με την χρήση όσο και την απόρριψη πλαστικών.

Αφενός, και παρά τις εγκυκλίους και νόμους για την μείωση της χρήσης πλαστικών συσκευασιών, σακούλων και εξοπλισμού (όπως ποτήρια, καλαμάκια, πιάτα και μαχαιροπήρουνα), πρέπει να σημειωθεί ότι η εικόνα που αποτυπώνεται δείχνει μια προς την αντίθετη κατεύθυνση συμπεριφορά. Κατά συνέπεια, προκύπτει ένα συμπέρασμα μη συμμόρφωσης με τους ισχύοντες κανονισμούς. Ωστόσο, με δεδομένη την απουσία αντίστοιχων μετρήσεων των προηγούμενων ετών για λόγους σύγκρισης το συμπέρασμα αυτό παρουσιάζεται με μια σχετική διστακτικότητα εδώ.

Αφετέρου, η λαθεμένη (σκοπίμως ή μη) απόρριψη πλαστικών από τους χρήστες τους και ιδιαίτερα τον εισερχόμενο πληθυσμό των επισκεπτών είναι πρόδηλη στα αναφερόμενα μεγέθη. Εάν υπήρχε η αντίστοιχη παιδεία και εφαρμόζονταν σωστές πρακτικές στην απόρριψη των πλαστικών (ανακύκλωση, διαχωρισμός και χρήση αντίστοιχων κάδων) είναι σαφές ότι θα παρατηρούνταν αύξηση αλλά όχι στον βαθμό που παρατηρήθηκε με την ολοκλήρωση της έρευνας. Το τελευταίο συμπέρασμα υποδηλώνει μια σημαντική πηγή προβλήματος στην περιοχή που ενισχύεται από την υφιστάμενη κατάσταση. Παραδείγματος χάριν, στα ακρίτως απορριπτόμενα αντικείμενα που περιέχουν ίνες πλαστικού, προστίθενται πλέον και οι μάσκες προσώπου που είναι απαραίτητες

απέναντι στον COVID-19. Πολλές από αυτές τις μάσκες είναι πιθανό να απορρίπτονται σε λεκάνες τουαλέτας, σε δρόμους κλπ. και να καταλήγουν έτσι στα λύματα προς επεξεργασία, αυξάνοντας το φορτίο των ινών πλαστικού και παράλληλα το ιικό φορτίο που εισέρχεται στα λύματα.

Εστιάζοντας στις επιμέρους κατηγορίες των μικροπλαστικών σε σχέση με το μέγεθος τους, παρατηρείται ότι όλες παρουσιάζουν σημαντικές αυξήσεις πέραν αυτής των  $>500\mu\text{m}$  που παρουσιάζει μείωση. Αυτό ίσως συμβαίνει λόγω των καιρικών συνθηκών που επικρατούν τον χειμώνα όπου οι χαμηλές θερμοκρασίες δεν επιτρέπουν σε τόσο μεγάλο βαθμό τον κατακερματισμό και τη φθορά των μεγαλύτερων πλαστικών θραυσμάτων στο βαθμό που λαμβάνει χώρα την καλοκαιρινή περίοδο.

Η σταθερότητα της χρήσης/απόρριψης αυτών των πλαστικών που αποτελούν πηγή αυτού του μεγέθους μικροπλαστικών αποτυπώνεται επίσης καθαρά στα αντίστοιχα διαγράμματα ανά μήνα τόσο στο σύνολο όσο και στις επιμέρους κατηγορίες. Όλα τα άλλα μεγέθη μικροπλαστικών παρουσιάζουν αύξηση τους καλοκαιρινούς μήνες, σημάδι ότι υπάρχει άμεση συσχέτιση με τον τουρισμό και τον επιπλέον πληθυσμό που φτάνει στην περιοχή.

Η μείωση των συγκεντρώσεων των θραυσμάτων και ινών αυτού του μεγέθους συνεπώς μπορεί να αποδοθεί όχι στην μείωση της χρήσης τους αλλά περισσότερο στα σχεδόν σταθερά επίπεδα χρήσης και απόρριψης ώστε να καταλήξουν στα υπό επεξεργασία λύματα και στην αύξηση της συνολικής ροής των λυμάτων που καταλήγουν στην μονάδα για επεξεργασία. Έτσι μπορούν να αξιοποιηθούν ως βάση σύγκρισης για τις ποσότητες των άλλων μεγεθών που καταγράφονται, στηρίζοντας κατ' ουσία τα συμπεράσματα που αναφέρονται παραπάνω.

Περαιτέρω, και εστιάζοντας στην ανά μήνα εξέλιξη των μεγεθών παρατηρείται ότι ο Σεπτέμβριος αποτελεί στις περισσότερες περιπτώσεις το μήνα όπου καταγράφονται ιδιαίτερα σημαντικές συγκεντρώσεις. Αυτό παρατηρείται τόσο όσον αφορά στο σύνολο των ινών, με εστίαση σε αυτές μέτρου και μεγάλου μεγέθους ενώ αντίστοιχη κατάσταση παρατηρείται στα θραύσματα σε σχέση με το σύνολο, με αντίστροφη όμως αποτυπωμένης κατάστασης σε σχέση με το μέγεθος (υψηλές συγκεντρώσεις σε μικρά μεσαία μεγέθη και μικρές στα μεγάλα). Από τους υπόλοιπους μήνες ο Ιούλιος και Αύγουστος (μήνες που έχει πλήρη τουριστική ανάπτυξη η περιοχή) εμφανίζονται σταθερά να έχουν υψηλές συγκεντρώσεις.

Είναι σαφές από τα ανωτέρω ότι η περιοχή αντιμετωπίζει σαφή προβλήματα διαχείρισης των πλαστικών απορριμμάτων της καθώς μεγάλες ποσότητες αυτών φτάνει στα λύματα τους καλοκαιρινούς μήνες. Η σύνδεση αυτής της αύξησης με το τουρισμό είναι σαφής στα σχετικά δεδομένα. Κατά συνέπεια η ανάγκη για την λήψη μέτρων που θα επιτηρούν και ρυθμίζουν την χρήση των πλαστικών κατά την τουριστική περίοδο καθώς και την σωστή διαχείριση τους από τους επαγγελματίες του κλάδου είναι σημαντική.

Ωστόσο, είναι δύσκολο να προκύψει μια σαφής πρόταση σε σχέση με τους επισκέπτες. Η ενημέρωση πρωτίστως αλλά και πιθανώς η πιο αυστηρή επιτήρηση της απόρριψης ιδιαίτερα πλαστικών σε σημεία που αυτά να καταλήγουν στα λύματα είναι απαραίτητες. Ωστόσο, δεδομένου ότι η χρήση σωστών πρακτικών επαφίεται στην ατομική ευθύνη των επισκεπτών σε μεγάλο βαθμό, είναι δύσκολη η πλήρης και σωστή επιτήρηση. Σε σχέση με αντίστοιχα αποτελέσματα από συναφείς έρευνες που έχουν δημοσιευτεί στην αντίστοιχη βιβλιογραφία, προκύπτει το γενικό συμπέρασμα ότι υφίσταται μια σαφής δυσκολία στην συσχέτιση των τελικών αποτελεσμάτων. Βασικό αίτιο αυτού αποτελεί η μη «συνέπεια» και προτυποποίηση των μεθόδων όσο και των πρωτοκόλλων έρευνας που αξιοποιούνται. Η προτυποποίηση των μεθόδων μπορεί να αποδώσει άμεσα συσχετιζόμενα και συγκρίσιμα αποτελέσματα καθώς και την αναγωγή τους σε πρότυπα μεγέθη που θα επιτρέπουν καλύτερα την σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών ρυθμίσεων.

Για παράδειγμα, το μέγεθος της εγκατάστασης που εξετάστηκε στην παρούσα εργασία ήταν ιδιαίτερα μικρό σε σχέση με αντίστοιχα στην βιβλιογραφία, με τον όγκο του πληθυσμού όσο και των ροών που διαχειρίζονται να είναι σαφώς μικρότεροι από τις περισσότερες. Παράλληλα, η μέθοδος που αξιοποιήθηκε παρόλο που είναι μια από τις ενδεδειγμένες, είναι μία από τις διαφορετικές εκδοχές που έχουν χρησιμοποιηθεί. Κατά συνέπεια είναι δύσκολη έως και αδύνατη η συγκριτική ποσοτικά



αντιστοίχιση των αποτελεσμάτων, και η οποία μπορεί να λάβει χώρα μόνο ποιοτικά. Το μοναδικό δεδομένο που μπορούμε να αντλήσουμε με σιγουριά από τα αποτελέσματα των διαφόρων μελετών είναι ότι η αύξηση του πληθυσμού σε μια περιοχή που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των λυμάτων και της πίεσης ενός βιολογικού σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει μεγάλη αύξηση της συγκέντρωσης των μικροπλαστικών στα δείγματα. Σε συνάφεια με τα προηγούμενως αναφερόμενα συμπεράσματα, οι αυξημένες αυτές συγκεντρώσεις υποστηρίζουν και το γενικό συμπέρασμα ότι στην περιοχή υφίσταται ένα σαφές πρόβλημα σε σχέση με την διαχείριση των πλαστικών απορριμμάτων.

Ενώ τα πλαστικά έχουν φέρει επανάσταση σε βιομηχανίες όπως η ιατρική και η βιομηχανία, οι οικολογικές συνέπειες μπορεί να είναι επιζήμιες για την ποιότητα του νερού και την άγρια ζωή. Αν και οι υφιστάμενοι κανονισμοί περιορίζουν την χρήση πλαστικών σκευών και συσκευασιών, θα μπορούσαν να θεσπιστούν πρόσθετες πολιτικές σχετικά με τη ρύθμιση της ανακύκλωσης πλαστικών σε μια προσπάθεια περαιτέρω μείωσης της ρύπανσης από μικροπλαστικά που εισέρχονται στις πλωτές οδούς. Ωστόσο, επειδή οι μονάδες επεξεργασίας είναι συχνά γνωστές ως «hotspots» για μικροπλαστική ρύπανση, είναι σημαντικό να αναλυθεί και να ρυθμιστεί ομοσπονδιακά η ποσότητα μικροπλαστικών που εξέρχονται από αυτές τις εγκαταστάσεις, ειδικά από εκείνες με πολύ υψηλές απορρίψεις.

Πιο συγκεκριμένα, στη συγκεκριμένη έρευνα η μέση ημερήσια συγκέντρωση των μικροπλαστικών στην εκροή της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας της εγκατάστασης υπολογίστηκε στα  $13,5 \pm 3,12$  (MPs / L). Οι συγκεντρώσεις σε αντίστοιχες έρευνες στο εξωτερικό διαφέρουν καθώς οι τιμές κυμαίνονται στα 1,4 - 34,1 (MPs / L). Την χειμερινή περίοδο η μέση ημερήσια συγκέντρωση αγγίζει τα  $2 \pm 0,7$  (MPs / L) ενώ το καλοκαίρι παρουσίασε μεγάλη αύξηση καθώς έφτασε τα  $25 \pm 4,77$  (MPs / L) καταλήγοντας ότι το 93% του συνολικού δείγματος καταγράφεται το καλοκαίρι. Επίσης οι δύο κύριες κατηγορίες των μικροπλαστικών όπου ανιχνεύθηκαν (θραύσματα – ίνες) έχουν μεγάλη επίσης διαφορά όσον αφορά τη μεταξύ τους συγκέντρωση. Τα θραύσματα κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό (86%) σε αντίθεση με τις ίνες που καταλαμβάνουν μόλις το 14%. Επομένως η κατηγορία των θραυσμάτων είναι ο σημαντικός παράγοντας όπου δικαιολογεί την δραματική αύξηση των μικροπλαστικών την εαρινή περίοδο καθώς τον χειμώνα η συγκέντρωση είναι στα  $0,616 \pm 0,233$  (Particles / Day) ενώ το καλοκαίρι αγγίζει τα  $22,633 \pm 4,21$  (Particles / Day). Στην κατηγορία των συνθετικών ινών ωστόσο, η διακύμανση της συγκέντρωσης ανάμεσα στις δύο περιόδους είναι σε πιο ήπια αύξηση σε σχέση με αυτή των θραυσμάτων καθώς υπήρξε σχεδόν διπλασιασμός αυτής. Πιο συγκεκριμένα το χειμώνα η τιμή της είναι στα  $1,384 \pm 0,552$  (Fiber / Day) και το καλοκαίρι  $2,369 \pm 0,373$  (Fiber / Day). Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις ανάμεσα στα μεγέθη, διαφέρουν στις δύο κατηγορίες. Στη κατηγορία των θραυσμάτων το 95% αυτών ανήκει στα μεγέθη (20 – 200  $\mu\text{m}$ ), με το 76% στην ομάδα (20 – 80  $\mu\text{m}$ ) και το 19% στην ομάδα (80 – 200  $\mu\text{m}$ ). Στην κατηγορία των συνθετικών ινών ωστόσο το 48% ανήκει στην σε μεγέθη (> 500  $\mu\text{m}$ ) με μόλις το 2% στα μεγέθη (20 – 80  $\mu\text{m}$ ). Συνολικά και στις δύο κατηγορίες το 65% ανήκει στα μεγέθη (20 – 80)  $\mu\text{m}$ , ακολουθούν με 19% τα μεγέθη (80 – 200  $\mu\text{m}$ ) και μόλις με 8% οι τελευταίες δύο τάξεις μεγεθών αυτές των (200 – 500  $\mu\text{m}$ ) και (>500  $\mu\text{m}$ ). με Αντίστοιχες έρευνες στο εξωτερικό παρουσίασαν αποτελέσματα που έχουν παρόμοιες και μη συγκεντρώσεις. Πιο συγκεκριμένα οι (Liu et al., 2019) βρήκαν ότι το 65% των μικροπλαστικών ανήκει στα μεγέθη (0,02 – 0,3 mm) με τις ίνες και τα θραύσματα να κατέχουν το 40% αντίστοιχα. Οι Edo et al., 2020 βρήκαν ότι το 48% των μικροπλαστικών ανήκει στα μεγέθη (25 – 104  $\mu\text{m}$ ) όπως και οι Ben-David et al., 2021 όπου το 65% του συνολικού δείγματος ανήκει στα μεγέθη (20 – 150  $\mu\text{m}$ ). Ωστόσο στην τελευταία έρευνα παρατηρήθηκε πως το 73,8% του δείγματος αποτελείται από συνθετικές ίνες και το υπόλοιπο 26,2% από θραύσματα.

Οι οικολογικές επιπτώσεις της μικροπλαστικής ρύπανσης μπορεί να επηρεάσουν οργανισμούς σε όλη την τροφική αλυσίδα, όπως βακτήρια, ψάρια και υδρόβια πτηνά. Επιπλέον, τα πλαστικά μπορούν να βιοσυσσωρεύονται στα ψάρια και να καταναλώνονται από τον άνθρωπο. Σε μια μελέτη, τα μικροπλαστικά σωματίδια φιλοξενούσαν μικροβιακή κοινότητα κοινή με την κοινότητα στα λύματα παρά στα οικοσυστήματα του γλυκού νερού, δημιουργώντας πρόσθετες ανησυχίες για τη δημόσια υγεία και υπογραμμίζοντας τη σημασία της απομάκρυνσης αυτών των ανθρωπογενών αποβλήτων από τα λύματα WWTP πριν από την απόρριψη (Gong et al., 2019).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 62(8), 1596-1605.
- Arthur, C., Baker, J. E., & Bamford, H. A. (2009). Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris, September 9-11, 2008, University of Washington Tacoma, Tacoma, WA, USA.
- Ben-David, E. A., Habibi, M., Haddad, E., Hasanin, M., Angel, D. L., Booth, A. M., & Sabbah, I. (2021). Microplastic distributions in a domestic wastewater treatment plant: Removal efficiency, seasonal variation and influence of sampling technique. *Science of The Total Environment*, 752, 141880. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141880>
- Blair, R. M., Waldron, S., & Gauchotte-Lindsay, C. (2019). Average daily flow of microplastics through a tertiary wastewater treatment plant over a ten-month period. *Water Research*, 163, 114909. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114909>
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environ SciTechnol* 45: 9175–9179.
- Brydson, J. A. (1999). *Plastics materials*. Elsevier.
- Burns, E. E., & Boxall, A. B. (2018). Microplastics in the aquatic environment: Evidence for or against adverse impacts and major knowledge gaps. *Environmental toxicology and chemistry*, 37(11), 2776-2796.
- Carr, S. A., Liu, J., & Tesoro, A. G. (2016). Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water research*, 91, 174-182.
- Cincinelli, A., Scopetani, C., Chelazzi, D., Lombardini, E., Martellini, T., Katsoyiannis, A., ... & Corsolini, S. (2017). Microplastic in the surface waters of the Ross Sea (Antarctica): occurrence, distribution and characterization by FTIR. *Chemosphere*, 175, 391-400.
- Claessens, M., De Meester, S., Van Landuyt, L., De Clerck, K., & Janssen, C. R. (2011). Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine pollution bulletin*, 62(10), 2199-2204.
- Conley, K., Clum, A., Deepe, J., Lane, H., & Beckingham, B. (2019). Wastewater treatment plants as a source of microplastics to an urban estuary: Removal efficiencies and

loading per capita over one year. *Water Research* X, 3, 100030.

<https://doi.org/10.1016/j.wroa.2019.100030>

Desforbes, J. P. W., Galbraith, M., Dangerfield, N., & Ross, P. S. (2014). Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean. *Marine pollution bulletin*, 79(1-2), 94-99.

Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., & Tassin, B. (2015). Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. *Environmental Chemistry*, 12(5), 592-599.

Edo, C., González-Pleiter, M., Leganés, F., Fernández-Piñas, F., & Rosal, R. (2020). Fate of microplastics in wastewater treatment plants and their environmental dispersion with effluent and sludge. *Environmental Pollution*, 259, 113837. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113837>

Enfrin, M., Dumée, L. F., & Lee, J. (2019). Nano/microplastics in water and wastewater treatment processes – origin, impact and potential solutions. *Water Research*, 161, 621–638. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.06.049>

Eriksen, M., Lebreton, L. C., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., ... & Reisser, J. (2014). Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PloS one*, 9(12), e111913.

Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., ... & Amato, S. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine pollution bulletin*, 77(1-2), 177-182.

Estahbanati, S., & Fahrenfeld, N. L. (2016). Influence of wastewater treatment plant discharges on microplastic concentrations in Surface Water. *Chemosphere*, 162, 277–284. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.07.083>

Galloway, T. S. (2015). Micro-and nano-plastics and human health. In *Marine anthropogenic litter* (pp. 343-366). Springer, Cham.

Garcia, J. M., & Robertson, M. L. (2017). The future of plastics recycling. *Science*, 358(6365), 870-872.

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3(7), e1700782.

- Hammer, J., Kraak, M. H., & Parsons, J. R. (2012). Plastics in the marine environment: the dark side of a modern gift. *Reviews of environmental contamination and toxicology*, 1-44.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3060–3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>
- Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115-2126.
- Iyare, P. U., Ouki, S. K., & Bond, T. (2020). Microplastics Removal in wastewater treatment plants: A critical review. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 6(10), 2664–2675. <https://doi.org/10.1039/d0ew00397b>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., ... & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.
- Jang, Y. C., Lee, J., Hong, S., Lee, J. S., Shim, W. J., & Song, Y. K. (2014). Sources of plastic marine debris on beaches of Korea: more from the ocean than the land. *Ocean Science Journal*, 49(2), 151-162.
- Lares, M., Ncibi, M. C., Sillanpää, M., & Sillanpää, M. (2018). Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. *Water research*, 133, 236-246.
- Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., ... & Schludermann, E. (2014). The Danube so colourful: a potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environmental pollution*, 188, 177-181
- Leslie, H. A., Brandsma, S. H., Van Velzen, M. J. M., & Vethaak, A. D. (2017). Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environment international*, 101, 133-142.
- Liu, X., Yuan, W., Di, M., Li, Z., & Wang, J. (2019). Transfer and fate of microplastics during the conventional activated sludge process in one wastewater treatment plant of China. *Chemical Engineering Journal*, 362, 176–182. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.01.033>
- Long, Z., Pan, Z., Wang, W., Ren, J., Yu, X., Lin, L., Lin, H., Chen, H., & Jin, X. (2019). Microplastic abundance, characteristics, and removal in wastewater treatment plants in a coastal city of China. *Water Research*, 155, 255–265. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.028>

Magni, S., Binelli, A., Pittura, L., Avio, C. G., Della Torre, C., Parenti, C. C., ... & Regoli, F. (2019). The fate of microplastics in an Italian Wastewater Treatment Plant. *Science of the total environment*, 652, 602-610.

Magnusson, K., & Norén, F. (2014). Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant.

Mahon, A. M., O'Connell, B., Healy, M. G., O'Connor, I., Officer, R., Nash, R., & Morrison, L. (2017). Microplastics in sewage sludge: effects of treatment. *Environmental Science & Technology*, 51(2), 810-818.

McLean, I. (2018). Analysis of the grounding of the MV Rena in New Zealand, 5 October, 2011. *PeerJ Preprints*, 6, e26542v1.

Morét-Ferguson, S., Law, K. L., Proskurowski, G., Murphy, E. K., Peacock, E. E., & Reddy, C. M. (2010). The size, mass, and composition of plastic debris in the western North Atlantic Ocean. *Marine pollution bulletin*, 60(10), 1873-1878.

Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., & Quinn, B. (2016). Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. *Environmental science & technology*, 50(11), 5800-5808.

Nelms, S. E., Barnett, J., Brownlow, A., Davison, N. J., Deaville, R., Galloway, T. S., ... & Godley, B. J. (2019). Microplastics in marine mammals stranded around the British coast: ubiquitous but transitory?. *Scientific Reports*, 9(1), 1-8.

Obbard, R. W., Sadri, S., Wong, Y. Q., Khitun, A. A., Baker, I., & Thompson, R. C. (2014). Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice. *Earth's Future*, 2(6), 315-320.

Okoffo, E. D., O'Brien, S., O'Brien, J. W., Tschärke, B. J., & Thomas, K. V. (2019). Wastewater treatment plants as a source of plastics in the environment: A review of occurrence, methods for identification, quantification and fate. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 5(11), 1908–1931. <https://doi.org/10.1039/c9ew00428a>

Plastics Europe, (2020), *The Facts 2017, An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data*, Διαθέσιμο στο: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2020/> (πρόσβαση 1<sup>ος</sup> 2023)

Prata, J. C., da Costa, J. P., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 110, 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.029>

- Schwabl, P., Liebmann, B., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Trauner, M., & Reiberger, T. (2018). Assessment of microplastic concentrations in human stool-Preliminary results of a prospective study. *United European Gastroenterol J*, 6(Supplement 1).
- Shen, L., & Worrell, E. (2014). Plastic recycling. In *Handbook of recycling* (pp. 179-190). Elsevier.
- Simon, M., van Alst, N., & Vollertsen, J. (2018). Quantification of microplastic mass and removal rates at wastewater treatment plants applying Focal Plane Array (FPA)-based Fourier Transform Infrared (FT-IR) imaging. *Water research*, 142, 1-9
- Song, Y. K., Hong, S. H., Jang, M., Han, G. M., Jung, S. W., & Shim, W. J. (2017). Combined effects of UV exposure duration and mechanical abrasion on microplastic fragmentation by polymer type. *Environmental science & technology*, 51(8), 4368-4376.
- Stuetz, R. M., & Stephenson, T. (Eds.). (2009). *Principles of water and wastewater treatment processes*. Iwa Publishing.
- Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M. C. M., & Ni, B.-J. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water Research*, 152, 21–37. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.050>
- Talvitie, J., Heinonen, M., Pääkkönen, J. P., Vahtera, E., Mikola, A., Setälä, O., & Vahala, R. (2015). Do wastewater treatment plants act as a potential point source of microplastics? Preliminary study in the coastal Gulf of Finland, Baltic Sea. *Water Science and Technology*, 72(9), 1495-1504.
- Talvitie, J., Mikola, A., Setälä, O., Heinonen, M., & Koistinen, A. (2017). How well is microlitter purified from wastewater?—A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant. *Water research*, 109, 164-172.
- Wesch, C., Elert, A. M., Wörner, M., Braun, U., Klein, R., & Paulus, M. (2017). Assuring quality in microplastic monitoring: About the value of clean-air devices as essentials for verified data. *Scientific Reports*, 7(1), 1-8.
- Wolff, S., Kerpen, J., Prediger, J., Barkmann, L., & Müller, L. (2019). Determination of the microplastics emission in the effluent of a municipal waste water treatment plant using Raman microspectroscopy. *Water research X*, 2, 100014
- Wu, W. M., Yang, J., & Criddle, C. S. (2017). Microplastics pollution and reduction strategies. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11(1), 1-4.



Ziajahromi, S., Neale, P. A., Rintoul, L., & Leusch, F. D. (2017). Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: development of a new approach to sample wastewater-based microplastics. *Water research*, 112, 93-99.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 7.1 Πίνακες διακύμανσης

WINTER- DIMENSION	0.02 mm <= SIZE <= 0.08 mm		0.08 mm < SIZE = < 0.2mm		0.2 mm < SIZE = > 0.5 mm		SIZE > 0.5 mm		Total	
	FRAGMENT	FIBER	FRAGMENT	FIBER	FRAGMENT	FIBER	FRAGMENT	FIBER	FRAGMENT	FIBER
Particles / 450L (of every category )	1,28	0,33	1,80	1,07	3,88	2,48	2,33	14,56	4,04	17,64
Concentration (particles / L) - (of every category)	0,03	0,01	0,04	0,02	0,08	0,05	0,05	0,29	0,08	0,35
Total particles / 450L	1,35		3,50		7,06		16,53		18,01	
Total concentration (particles /L):	0,03		0,07		0,14		0,33		0,36	

SUMMER- DIMENSION	0.02 mm <= SIZE <= 0.08 mm		0.08 mm < SIZE = < 0.2mm		0.2 mm < SIZE = > 0.5 mm		SIZE > 0.5 mm		Total	
	FRAGMENT	FIBER	FRAGMENT	FIBER	FRAGMENT	FIBER	FRAGMENT	FIBER	FRAGMENT	FIBER
Particles / 450L (of every category )	168,06	2,33	28,19	6,79	5,68	7,46	2,61	13,46	210,32	18,65
Concentration (particles / L) - (of every category)	3,36	0,05	0,56	0,14	0,11	0,15	0,05	0,27	4,21	0,37
Total particles / 450L	166,86		37,38		4,97		10,27		238,29	
Total concentration (particles /L):	3,34		0,75		0,10		0,21		4,77	

TOTAL-DIMENSION	0.02 mm <= SIZE <= 0.08 mm		0.08 mm < SIZE = < 0.2mm		0.2 mm < SIZE = > 0.5 mm		SIZE > 0.5 mm		Total	
	FRAGMENT	FIBER	FRAGMENT	FIBER	FRAGMENT	FIBER	FRAGMENT	FIBER	FRAGMENT	FIBER
Particles / 900L (of every category )	117,925	1,409	18,657	4,046	1,271	3,526	0,201	0,776	145,862	0,716
Concentration (particles / L) - (of every category)	2,359	0,028	0,373	0,081	0,025	0,071	0,004	0,016	2,917	0,014
Total particles / 900L	117,032		23,954		1,477		4,423		155,761	
Total concentration (particles /L):	2,341		0,479		0,030		0,088		3,115	

Concentration (particles / L) - (of every category)	0.02 mm <= SIZE <= 0.08 mm		0.08 mm < SIZE = < 0.2mm		0.2 mm < SIZE = > 0.5 mm		SIZE > 0.5 mm		Total	
	FRAGMENT	FIBER	FRAGMENT	FIBER	FRAGMENT	FIBER	FRAGMENT	FIBER	FRAGMENT	FIBER
Διακύμανση										
Ιανουάριος	0,080	0,000	0,106	0,020	0,185	0,140	0,100	0,699	0,200	0,797
Φεβρουάριος	0,076	0,012	0,121	0,050	0,092	0,081	0,031	0,193	0,130	0,140
Μάρτιος	0,122	0,000	0,174	0,061	0,031	0,042	0,012	0,197	0,291	0,244
Χειμώνας	0,026	0,007	0,036	0,021	0,078	0,050	0,047	0,291	0,081	0,353
Ιούλιος	6,702	0,100	1,689	0,114	0,420	0,300	0,151	0,163	7,745	0,348
Αύγουστος	3,382	0,081	0,697	0,142	0,203	0,597	0,145	0,564	3,494	1,092
Σεπτέμβριος	10,104	0,012	1,657	0,362	0,253	0,432	0,058	0,053	11,906	0,770
Καλοκαίρι	3,361	0,047	0,564	0,136	0,114	0,149	0,052	0,269	4,206	0,373
Σύνολο	2,359	0,028	0,373	0,081	0,025	0,071	0,004	0,016	2,917	0,014

Total concentration (particles /L):	0.02 mm <= SIZE <= 0.08 mm	0.08 mm < SIZE = < 0.2mm	0.2 mm < SIZE = > 0.5 mm	SIZE > 0.5 mm	Total
	Διακύμανση				
Ιανουάριος	0,080	0,104	0,293	0,778	0,934
Φεβρουάριος	0,072	0,095	0,172	0,223	0,264
Μάρτιος	0,122	0,220	0,012	0,189	0,370
Χειμώνας	0,027	0,070	0,141	0,331	0,360
Ιούλιος	6,767	1,794	0,577	0,272	7,787
Αύγουστος	3,431	0,563	0,776	0,500	2,789
Σεπτέμβριος	10,105	1,914	0,680	0,090	12,316
Καλοκαίρι	3,337	0,748	0,099	0,205	4,766
Σύνολο	2,341	0,479	0,030	0,088	3,115