

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Διαχείριση Αποβλήτων»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Παρουσία μικροπλαστικών σε τρόφιμα και ποτά: συγκεντρώσεις, πηγές
επιμόλυνσης και επιπτώσεις στη δημόσια υγεία**

Μαρία Κεραμά

A.M. 160595

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής: Δημήτριος Κομίλης

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής: Παναγιώτης Κανάτας

Πάτρα

Σεπτέμβριος 2026

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αυξανόμενη παρουσία μικροπλαστικών στο περιβάλλον έχει αναδειχθεί σε ένα από τα πλέον σημαντικά ζητήματα σύγχρονου επιστημονικού και κοινωνικού ενδιαφέροντος. Τα μικροπλαστικά, ως σωματίδια μικρότερα των 5 mm, εντοπίζονται πλέον ευρέως σε υδάτινα, χερσαία και ατμοσφαιρικά οικοσυστήματα, ενώ τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διατροφική έκθεση του ανθρώπου μέσω της κατανάλωσης τροφίμων και ποτών. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η συστηματική ανασκόπηση και ποσοτική σύνθεση της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με την παρουσία μικροπλαστικών σε τρόφιμα και ποτά, τις συγκεντρώσεις και τα χαρακτηριστικά τους, τις πιθανές πηγές επιμόλυνσης κατά μήκος της αλυσίδας τροφίμων, καθώς και τις επιπτώσεις τους στη δημόσια υγεία.

Η μεθοδολογία βασίστηκε σε στοχευμένη βιβλιογραφική αναζήτηση επιστημονικών δημοσιεύσεων σε διεθνείς βάσεις δεδομένων, όπως Scopus, PubMed και Google Scholar. Επιλέχθηκαν μελέτες της τελευταίας δεκαετίας, με κριτήρια τη συνάφεια με το αντικείμενο, τη σαφή περιγραφή των μεθόδων ανίχνευσης και την επιστημονική αξιοπιστία. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν οργανώθηκαν και αναλύθηκαν συγκριτικά, με έμφαση στις συγκεντρώσεις μικροπλαστικών ανά κατηγορία τροφίμων, στους τύπους πολυμερών, στα μεγέθη σωματιδίων και στις μεθόδους ανίχνευσης, όπως η φασματοσκοπία FTIR και Raman.

Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι μικροπλαστικά σωματίδια ανιχνεύονται σε ευρύ φάσμα τροφίμων και ποτών, συμπεριλαμβανομένων προϊόντων ζωικής και φυτικής προέλευσης, επεξεργασμένων τροφίμων και εμφιαλωμένου νερού. Οι συγκεντρώσεις παρουσιάζουν σημαντική μεταβλητότητα μεταξύ των μελετών, γεγονός που αποδίδεται κυρίως στις διαφοροποιήσεις των αναλυτικών μεθόδων, των πρωτοκόλλων δειγματοληψίας και των κατωφλίων μεγέθους σωματιδίων. Τα πλέον συχνά ανιχνευόμενα πολυμερή περιλαμβάνουν το πολυαιθυλένιο (PE), το πολυπροπυλένιο (PP) και το πολυαιθυλένιο τереφθαλικό (PET), ενώ οι ίνες και τα μικρού μεγέθους σωματίδια εμφανίζονται ως κυρίαρχες μορφές. Οι πηγές επιμόλυνσης δεν περιορίζονται στο περιβάλλον, αλλά σχετίζονται και με τις διεργασίες παραγωγής, τον εξοπλισμό, τη συσκευασία και τις συνθήκες αποθήκευσης των τροφίμων.

Όσον αφορά τη δημόσια υγεία, η χρόνια διατροφική έκθεση στα μικροπλαστικά αποτελεί ζήτημα αυξανόμενης ανησυχίας. Αν και η πλειονότητα των σωματιδίων φαίνεται να αποβάλλεται από τον ανθρώπινο οργανισμό, η πιθανότητα απορρόφησης μικρότερων σωματιδίων και η μεταφορά χημικών ουσιών που αυτά φέρουν ενδέχεται να συμβάλλουν σε φλεγμονώδεις αντιδράσεις και οξειδωτικό στρες. Επιπλέον, η ανίχνευση μικροπλαστικών σε

ανθρώπινους ιστούς ενισχύει την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση των επιπτώσεων στη μακροχρόνια υγεία.

Συμπερασματικά, η αποτελεσματική αντιμετώπιση του φαινομένου των μικροπλαστικών απαιτεί την ανάπτυξη εναρμονισμένων μεθόδων ανάλυσης, την ενίσχυση της επιστημονικής έρευνας και την ενσωμάτωση σχετικών παραμέτρων στα συστήματα ασφάλειας τροφίμων. Η εφαρμογή προληπτικών μέτρων κατά την παραγωγή και τη συσκευασία, καθώς και η υιοθέτηση της αρχής της προφύλαξης, αποτελούν βασικές κατευθύνσεις για τη μείωση της έκθεσης του ανθρώπου στα μικροπλαστικά μέσω της διατροφής.

Λέξεις-κλειδιά:

μικροπλαστικά, τρόφιμα, επιμόλυνση, τροφική αλυσίδα, δημόσια υγεία, διατροφική έκθεση, εμφιαλωμένο νερό

Abstract

Microplastics constitute an emerging environmental and public health issue due to their widespread presence in ecosystems, food products, and drinking water. In recent years, increasing scientific attention has focused on the potential human exposure to microplastics through the food chain and the possible toxicological effects associated with chronic exposure.

The present study is based on a systematic literature review of the international scientific literature regarding the occurrence of microplastics in foods and beverages. The review followed the PRISMA methodology for the identification, screening, selection, and evaluation of relevant scientific studies. Scientific databases including Scopus, Web of Science, PubMed, and Google Scholar were used for the literature search.

The findings indicate that microplastics have been detected in a wide range of food categories, including seafood, bottled water, salt, sugar, honey, and dairy products. The most frequently identified polymers were polyethylene (PE), polypropylene (PP), and polyethylene terephthalate (PET), which are commonly associated with food packaging and industrial processing materials.

Particular emphasis was placed on the analytical methods used for microplastic identification and quantification, including FTIR spectroscopy, Raman spectroscopy, SEM microscopy, and Pyrolysis-GC-MS. Significant methodological variability between studies was identified, especially regarding sampling protocols, particle size thresholds, and analytical techniques, limiting the comparability of the available data.

The study also examines human exposure pathways, bioavailability, toxicological effects, and the detection of microplastics in human tissues such as blood and placenta. Existing evidence suggests that microplastics may induce oxidative stress, inflammatory responses, and the transport of chemical contaminants, although current scientific knowledge remains limited.

Finally, the study highlights the absence of harmonized legislation and standardized analytical protocols, emphasizing the need for further toxicological and epidemiological research to support risk assessment and the development of effective regulatory approaches for evidence-based regulatory strategies and the protection of public health.

Keywords: microplastics, food contamination, food chain, human exposure, toxicology, food safety, public health.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
Abstract.....	3

Κατάλογος Πινάκων.....	5
Κατάλογος Συντμήσεων.....	6
1. Εισαγωγή.....	7
2. Θεωρητικό υπόβαθρο και βιβλιογραφική σύνθεση.....	8
2.1 Ορισμός και κατηγοριοποίηση μικροπλαστικών.....	9
2.2 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και τύποι πολυμερών.....	10
2.3 Μικροπλαστικά ως φορείς ρύπων.....	13
2.4 Διατροφική έκθεση.....	13
2.5 Βιοδιαθεσιμότητα.....	15
2.6 Τοξικολογικές επιδράσεις.....	16
2.7 Νομοθετικές και κανονιστικές προσεγγίσεις.....	18
2.8 Βιβλιογραφική επισκόπηση της παρουσίας μικροπλαστικών.....	19
2.9 Ερευνητικά ερωτήματα.....	22
3. Μεθοδολογία.....	22
3.1 Μεθοδολογία PRISMA.....	22
3.2 Αναζήτηση και επιλογή βιβλιογραφίας.....	24
4. Αποτελέσματα.....	26
4.1 Γενική επισκόπηση.....	26
4.2 Μικροπλαστικά σε τρόφιμα ζωικής προέλευσης.....	30
4.3 Μικροπλαστικά σε τρόφιμα φυτικής προέλευσης και επεξεργασμένα προϊόντα	34
4.4 Μικροπλαστικά σε ποτά και εμφιαλωμένο νερό.....	36
4.5 Σύγκριση συγκεντρώσεων και μεθοδολογικές αποκλίσεις.....	47
5. Συζήτηση.....	50
5.1 Κύρια ευρήματα και συμβολή της παρούσας ανασκόπησης.....	50
5.2 Περιορισμοί της μελέτης.....	53
6. Συμπεράσματα.....	54
Βιβλιογραφία.....	56

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Κυριότεροι τύποι πολυμερών μικροπλαστικών.....	10
Πίνακας 2 Παράγοντες που επηρεάζουν την παρουσία μικροπλαστικών στα τρόφιμα.....	12
Πίνακας 3 Πιθανές επιπτώσεις μικροπλαστικών στη δημόσια υγεία.....	18
Πίνακας 4 Συγκεντρώσεις και χαρακτηριστικά μικροπλαστικών σε τρόφιμα και ποτά.....	20
Πίνακας 5 Ποσοτικά δεδομένα συγκεντρώσεων μικροπλαστικών σε τρόφιμα και ποτά.....	21
Πίνακας 6 Αποτελέσματα ανασκόπησης.....	28
Πίνακας 7: Συγκεντρώσεις μικροπλαστικών σε γάλα και αυγά.....	34
Πίνακας 8 Ποσοτικά ευρήματα ανθρώπινων μελετών σχετικά με την έκθεση σε μικροπλαστικά και τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία.....	45
Πίνακας 9 Μέθοδοι ανίχνευσης μικροπλαστικών στα τρόφιμα.....	48
Πίνακας 10 Αναλυτικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν στις πρωτογενείς μελέτες της ανασκόπησης	50

Κατάλογος Συντμήσεων

Συντομογραφία	Περιγραφή
PE	Polyethylene
PP	Polypropylene
PET	Polyethylene terephthalate
PS	Polystyrene
PVC	Polyvinyl chloride
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
WHO	World Health Organization
EFSA	European Food Safety Authority

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1 Συχνότητα εμφάνισης κυριότερων πολυμερών μικροπλαστικών στα τρόφιμα και ποτά. Πηγή: Βασισμένο σε δεδομένα των EFSA CONTAM Panel (2016), WHO (2019), Cox et al. (2019) και Li et al. (2018).¹¹Σχήμα 1 Συχνότητα εμφάνισης κυριότερων πολυμερών μικροπλαστικών στα τρόφιμα και ποτά. Πηγή: Βασισμένο σε δεδομένα των EFSA (2023), WHO (2019), Cox et al. (2019) και Li et al. (2018).

Σχήμα 2 Κυριότερες πιθανές επιπτώσεις μικροπλαστικών στην ανθρώπινη υγεία Πηγή: Βασισμένο σε δεδομένα των Hirt & Body-Malapel, 2020; Wright & Kelly, 2017.

Σχήμα 3 Διάγραμμα ροής επιλογής μελετών σύμφωνα με τη μεθοδολογία PRISMA. Πηγή: Βασισμένο στη μεθοδολογία PRISMA 2020 (Page et al., 2021).

Σχήμα 4 Αποτελέσματα ανασκόπησης..... 31

Σχήμα 5 Συγκεντρώσεις μικροπλαστικών σε επιλεγμένα τρόφιμα ζωικής προέλευσης.....33

Σχήμα 6 Μέση συγκέντρωση μικροπλαστικών σε εμφιαλωμένο νερό ανά τύπο συσκευασίας.

Σχήμα 7: Ποσοστιαία μείωση μικροπλαστικών μετά από πλύσιμο επιλεγμένων τροφίμων

1. Εισαγωγή

Η εκτεταμένη χρήση πλαστικών υλικών τις τελευταίες δεκαετίες έχει οδηγήσει σε σημαντική περιβαλλοντική επιβάρυνση, με τα μικροπλαστικά να αποτελούν έναν από τους πλέον ανησυχητικούς ρύπους. Η παρουσία τους έχει καταγραφεί σε υδάτινα, χερσαία και ατμοσφαιρικά οικοσυστήματα, γεγονός που έχει οδηγήσει στην εισαγωγή τους στην τροφική αλυσίδα και, κατ' επέκταση, στη διατροφή του ανθρώπου (Prata, 2018).

Τα τελευταία χρόνια, το επιστημονικό ενδιαφέρον έχει στραφεί στην ανίχνευση μικροπλαστικών σε τρόφιμα και ποτά, καθώς και στην εκτίμηση της διατροφικής έκθεσης του ανθρώπου. Μελέτες έχουν καταγράψει την παρουσία μικροπλαστικών σε διάφορες κατηγορίες τροφίμων, όπως θαλασσινά, αλάτι, μέλι, ζάχαρη, επεξεργασμένα τρόφιμα και εμφιαλωμένο νερό (Cox et al., 2019). Παρά την αυξανόμενη βιβλιογραφία, τα επίπεδα συγκεντρώσεων παρουσιάζουν σημαντική μεταβλητότητα, λόγω διαφορών στις μεθόδους ανάλυσης και στα πρωτόκολλα δειγματοληψίας.

Επιπλέον, η προέλευση των μικροπλαστικών στην τροφική αλυσίδα δεν περιορίζεται στο περιβάλλον, αλλά σχετίζεται και με τις διαδικασίες παραγωγής, επεξεργασίας, συσκευασίας και αποθήκευσης των τροφίμων. Παράγοντες όπως η χρήση πλαστικού εξοπλισμού, οι συνθήκες αποθήκευσης και η ατμοσφαιρική επιμόλυνση φαίνεται να συμβάλλουν σημαντικά στην παρουσία τους στα τελικά προϊόντα (EFSA CONTAM Panel, 2016).

Παρά τη σημαντική πρόοδο της επιστημονικής έρευνας, εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικά κενά γνώσης, ιδίως όσον αφορά τη βιοδιαθεσιμότητα των μικροπλαστικών και τις μακροχρόνιες επιπτώσεις τους στη δημόσια υγεία. Η ανίχνευση μικροπλαστικών σε ανθρώπινους ιστούς ενισχύει την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση των πιθανών επιδράσεών τους στον ανθρώπινο οργανισμό (Leslie et al., 2022).

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η συστηματική ανασκόπηση και ανάλυση της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με την παρουσία μικροπλαστικών σε τρόφιμα και ποτά, τις συγκεντρώσεις και τους τύπους τους, τις πηγές επιμόλυνσης κατά μήκος της αλυσίδας τροφίμων, καθώς και τις πιθανές επιπτώσεις τους στη δημόσια υγεία.

Για την επίτευξη του σκοπού αυτού, εξετάζονται τα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

- Ποιες είναι οι συγκεντρώσεις μικροπλαστικών σε διαφορετικές κατηγορίες τροφίμων και ποτών;
- Ποιοι τύποι πολυμερών εντοπίζονται συχνότερα στα τρόφιμα και τα ποτά;
- Ποιες είναι οι βασικές πηγές επιμόλυνσης κατά μήκος της αλυσίδας τροφίμων;
- Ποιες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση και ταυτοποίηση μικροπλαστικών;
- Ποιες είναι οι πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία;
- Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν τη διατροφική έκθεση του ανθρώπου στα μικροπλαστικά;

Η εργασία οργανώνεται ως εξής: στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο και η βιβλιογραφική σύνθεση σχετικά με τα μικροπλαστικά, τη διατροφική έκθεση, τη βιοδιαθεσιμότητα, τις πιθανές τοξικολογικές επιδράσεις και το κανονιστικό πλαίσιο. Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται η μεθοδολογία της συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης και η διαδικασία επιλογής των μελετών. Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα σχετικά με την παρουσία μικροπλαστικών σε τρόφιμα και ποτά, τις συγκεντρώσεις, τους τύπους πολυμερών, τις πηγές επιμόλυνσης και τις αναλυτικές μεθόδους. Στο Κεφάλαιο 5 ακολουθεί η συζήτηση των κύριων ευρημάτων και των περιορισμών της εργασίας, ενώ στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα.

2. Θεωρητικό υπόβαθρο και βιβλιογραφική σύνθεση

Τα τελευταία χρόνια, η παρουσία μικροπλαστικών σε τρόφιμα και ποτά έχει αποτελέσει αντικείμενο εκτεταμένης επιστημονικής έρευνας, αναδεικνύοντας τη διατροφική οδό ως μία από τις κύριες πηγές έκθεσης του ανθρώπου (Cox et al., 2019; WHO, 2019). Μικροπλαστικά σωματίδια έχουν ανιχνευθεί σε ένα ευρύ φάσμα προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων τροφίμων ζωικής και φυτικής προέλευσης, επεξεργασμένων προϊόντων και ποτών. Παρά την ευρεία παρουσία τους, τα αναφερόμενα επίπεδα συγκεντρώσεων παρουσιάζουν σημαντική μεταβλητότητα μεταξύ των μελετών. Η διαφοροποίηση αυτή αποδίδεται κυρίως στις διαφορές των αναλυτικών μεθόδων, στα πρωτόκολλα δειγματοληψίας και στα κατώφλια μεγέθους σωματιδίων (Li et al., 2018). Ωστόσο, η σύγκλιση των ευρημάτων ως προς την εκτεταμένη παρουσία μικροπλαστικών στην τροφική αλυσίδα επιβεβαιώνει τη σημασία του φαινομένου (EFSA CONTAM Panel, 2016).

2.1 Ορισμός και κατηγοριοποίηση μικροπλαστικών

Τα μικροπλαστικά αποτελούν πλαστικά σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 5 mm και προέρχονται είτε από την αποδόμηση μεγαλύτερων πλαστικών αντικειμένων είτε από πρωτογενείς πηγές (Li et al., 2018). Η κατηγοριοποίηση αυτή έχει υιοθετηθεί ευρέως στη διεθνή βιβλιογραφία, διευκολύνοντας τη συγκρισιμότητα των μελετών και την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής και διατροφικής έκθεσης.

Με βάση την προέλευσή τους, τα μικροπλαστικά διακρίνονται σε:

- πρωτογενή μικροπλαστικά, τα οποία παράγονται εξ αρχής σε μικρό μέγεθος για χρήση σε καλλυντικά, βιομηχανικές εφαρμογές ή προϊόντα προσωπικής φροντίδας,
- δευτερογενή μικροπλαστικά, τα οποία προκύπτουν από τη διάσπαση μεγαλύτερων πλαστικών αντικειμένων μέσω μηχανικών, χημικών και φωτοχημικών διεργασιών.

Η διάκριση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς τα δευτερογενή μικροπλαστικά αποτελούν σήμερα τη σημαντικότερη πηγή περιβαλλοντικής ρύπανσης λόγω της εκτεταμένης χρήσης πλαστικών υλικών και της χαμηλής βιοαποικοδόμησής τους (Galloway, 2015).

Τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα νανοπλαστικά, δηλαδή σωματίδια μεγέθους μικρότερου του 1 μm. Λόγω του πολύ μικρού μεγέθους τους, τα νανοπλαστικά εμφανίζουν αυξημένη πιθανότητα διείσδυσης σε βιολογικούς ιστούς και κυτταρικές δομές, γεγονός που εντείνει τον προβληματισμό σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις τους στη δημόσια υγεία (EFSA CONTAM Panel, 2016).

2.2 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και τύποι πολυμερών

Τα μικροπλαστικά παρουσιάζουν σημαντική ετερογένεια ως προς:

- το μέγεθος,
- το σχήμα,
- το χρώμα,
- τη χημική σύσταση,
- την πυκνότητα,
- και τις επιφανειακές ιδιότητες.

Συνηθέστερα σχήματα αποτελούν οι ίνες, τα θραύσματα, οι μεμβράνες και τα σφαιρίδια, με τις ίνες να εμφανίζονται συχνότερα σε τρόφιμα και ποτά (Prata, 2018). Η μορφολογία των μικροπλαστικών σχετίζεται άμεσα με την προέλευσή τους και τον τρόπο αποδόμησης των αρχικών πλαστικών υλικών.

Τα κυριότερα πολυμερή που έχουν εντοπιστεί σε τρόφιμα και περιβαλλοντικά δείγματα είναι:

- πολυαιθυλένιο (PE),
- πολυπροπυλένιο (PP),
- πολυαιθυλένιο τερεφθαλικό (PET),
- πολυστυρένιο (PS),
- πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC).

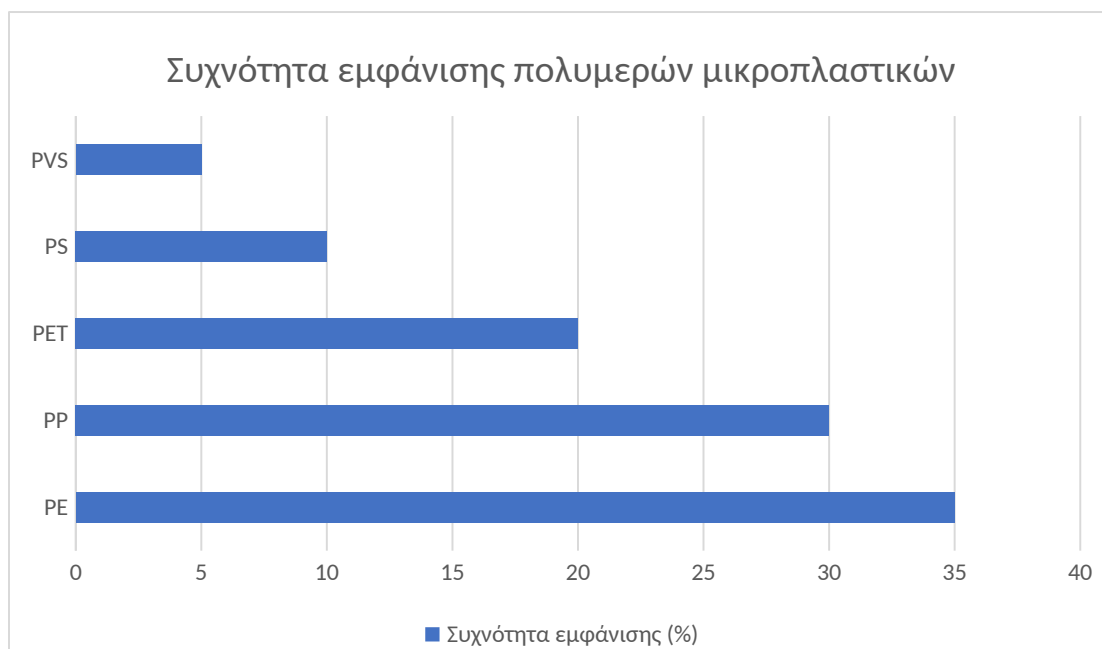
Πολυμερές	Συχνότερη χρήση	Πιθανή πηγή επιμόλυνσης
PE	Συσκευασίες τροφίμων	Πλαστικά φιλμ
PP	Καπάκια και δοχεία	Εμφιάλωση

PET	Μπουκάλια νερού	Συσκευασία ποτών
PS	Δοχεία τροφίμων	Θραύσματα συσκευασίας
PVC	Βιομηχανικά υλικά	Εξοπλισμός

Πίνακας 1 Κυριότεροι τύποι πολυμερών μικροπλαστικών

Πηγή: Βασισμένο σε δεδομένα των EFSA CONTAM Panel, 2016; Li et al., 2018.

Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 1, τα κυρίαρχα πολυμερή που εντοπίζονται συχνότερα στα τρόφιμα και ποτά είναι το πολυαιθυλένιο (PE), το πολυπροπυλένιο (PP) και το πολυαιθυλένιο τereφθαλικό (PET). Η συχνή παρουσία τους σχετίζεται άμεσα με τη χρήση πλαστικών υλικών συσκευασίας, διαδικασίες εμφιάλωσης και βιομηχανικής επεξεργασίας τροφίμων. Τα δεδομένα αυτά επιβεβαιώνουν ότι η αλυσίδα παραγωγής και συσκευασίας αποτελεί σημαντική πηγή επιμόλυνσης των τροφίμων με μικροπλαστικά. Για την καλύτερη συγκριτική απεικόνιση της συχνότητας εμφάνισης των κυριότερων πολυμερών μικροπλαστικών στα τρόφιμα και ποτά, παρουσιάζεται το Σχήμα 1.



Σχήμα 1 Συχνότητα εμφάνισης κυριότερων πολυμερών μικροπλαστικών στα τρόφιμα και ποτά. Πηγή: Βασισμένο σε δεδομένα των EFSA CONTAM Panel (2016), WHO (2019), Cox et al. (2019) και Li et al. (2018).

Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1, το πολυαιθυλένιο (PE), το πολυπροπυλένιο (PP) και το πολυαιθυλένιο τereφθαλικό (PET) αποτελούν τα συχνότερα ανιχνευόμενα πολυμερή

μικροπλαστικών στα τρόφιμα και ποτά, γεγονός που σχετίζεται άμεσα με τη χρήση τους σε υλικά συσκευασίας και βιομηχανικές εφαρμογές.

Η ευρεία χρήση των πολυμερών αυτών στη βιομηχανία τροφίμων και στη συσκευασία εξηγεί τη συχνή ανίχνευσή τους σε τρόφιμα και ποτά (EFSA CONTAM Panel, 2016). Ειδικότερα, το PET χρησιμοποιείται εκτεταμένα στην παραγωγή φιαλών εμφιαλωμένου νερού, ενώ το PE και το PP αποτελούν βασικά υλικά συσκευασίας και αποθήκευσης τροφίμων.

Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των μικροπλαστικών επηρεάζουν σημαντικά τη συμπεριφορά τους στο περιβάλλον και στους βιολογικούς οργανισμούς. Παράγοντες όπως η υδροφοβικότητα, η επιφανειακή φόρτιση και η πυκνότητα καθορίζουν την ικανότητα μεταφοράς, καθίζησης και αλληλεπίδρασης με άλλους ρύπους του περιβάλλοντος.

Η χρήση επεξεργασμένων λυμάτων στη γεωργία, καθώς και η εκτεταμένη εφαρμογή πλαστικών υλικών, όπως γεωργικές μεμβράνες και σωλήνες άρδευσης, θεωρούνται σημαντικές πηγές εισαγωγής μικροπλαστικών στο αγροτικό περιβάλλον. Μέσω αυτών των μηχανισμών, μικροπλαστικά σωματίδια μπορούν να εισέρχονται στο έδαφος και να αλληλεπιδρούν με τις καλλιέργειες (EFSA CONTAM Panel, 2016).

Επιπλέον, η ατμοσφαιρική μεταφορά μικροπλαστικών ινών φαίνεται να συμβάλλει σημαντικά στην επιφανειακή επιμόλυνση φυτικών προϊόντων. Συνθετικές ίνες από υφάσματα και αστικά περιβάλλοντα μπορούν να μεταφέρονται μέσω του αέρα και να εναποτίθενται σε γεωργικές καλλιέργειες κατά την ανάπτυξη ή την αποθήκευση των προϊόντων (Prata, 2018).

Στα επεξεργασμένα τρόφιμα, η επιμόλυνση συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με τη βιομηχανική επεξεργασία και την επαφή με πλαστικό εξοπλισμό. Οι ίνες αποτελούν τον κυρίαρχο τύπο μικροπλαστικών, γεγονός που υποδεικνύει αερομεταφερόμενη επιμόλυνση κατά τη διάρκεια της παραγωγής (EFSA CONTAM Panel, 2016). Παράλληλα, η μηχανική φθορά πλαστικών εξαρτημάτων και επιφανειών κατά την παραγωγική διαδικασία ενδέχεται να συμβάλλει στον σχηματισμό θραυσμάτων μικροπλαστικών.

Παράγοντας	Πιθανή επίδραση
Πλαστική συσκευασία	Απελευθέρωση PE, PP και PET
Διαδικασία εμφιάλωσης	Δημιουργία θραυσμάτων και ινών
Βιομηχανικός εξοπλισμός	Φθορά πλαστικών επιφανειών
Αποθήκευση	Αύξηση επιμόλυνσης λόγω θερμοκρασίας και χρόνου
Ατμοσφαιρική επιμόλυνση	Εναπόθεση συνθετικών ινών

Μεταφορά διακίνηση	και	Μηχανική καταπόνηση συσκευασιών
-------------------------------	------------	--

Πίνακας 2 Παράγοντες που επηρεάζουν την παρουσία μικροπλαστικών στα τρόφιμα

Πηγή: Βασισμένο σε δεδομένα των Li et al. (2018), EFSA CONTAM Panel (2016) και Hirt & Body-Malapel (2020).

Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 2, η παρουσία μικροπλαστικών στα τρόφιμα επηρεάζεται από πολλαπλούς παράγοντες κατά μήκος της αλυσίδας παραγωγής και διακίνησης. Η συσκευασία, η βιομηχανική επεξεργασία και η ατμοσφαιρική επιμόλυνση φαίνεται να αποτελούν τις σημαντικότερες πηγές εισαγωγής μικροπλαστικών στο τελικό προϊόν, συμβάλλοντας σημαντικά στη διαφοροποίηση των συγκεντρώσεων μικροπλαστικών που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία.

2.3 Μικροπλαστικά ως φορείς ρύπων

Τα μικροπλαστικά δεν αποτελούν μόνο φυσικά σωματίδια, αλλά μπορούν να λειτουργούν και ως φορείς χημικών ουσιών. Κατά την παραγωγή τους προστίθενται ουσίες όπως πλαστικοποιητές, σταθεροποιητές, επιβραδυντικά φλόγας και χρωστικές, οι οποίες ενδέχεται να απελευθερωθούν στο περιβάλλον ή στα τρόφιμα (Hirt & Body-Malapel, 2020).

Παράλληλα, λόγω της υδρόφοβης επιφάνειάς τους, τα μικροπλαστικά έχουν την ικανότητα να προσροφούν οργανικούς ρύπους και βαρέα μέταλλα από το περιβάλλον. Ουσίες όπως πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs) και φυτοφάρμακα μπορούν να προσκολλώνται στην επιφάνεια των μικροπλαστικών, αυξάνοντας τη δυνητική τοξικότητά τους (Wright & Kelly, 2017).

Η δυνατότητα αυτή ενισχύει τον προβληματισμό σχετικά με τη διατροφική έκθεση του ανθρώπου, καθώς τα μικροπλαστικά μπορεί να λειτουργούν ως μέσο μεταφοράς επιβλαβών ουσιών μέσω της τροφικής αλυσίδας. Επιπλέον, η σταδιακή αποδέσμευση αυτών των ουσιών στο γαστρεντερικό σύστημα ενδέχεται να συμβάλλει σε βιολογικές και τοξικολογικές επιδράσεις.

2.4 Διατροφική έκθεση

Η διατροφική έκθεση του ανθρώπου στα μικροπλαστικά θεωρείται πλέον μία από τις σημαντικότερες οδούς πρόσληψης αυτών των σωματιδίων. Η συνεχής παρουσία μικροπλαστικών σε τρόφιμα και ποτά έχει οδηγήσει στην αυξανόμενη ανησυχία της επιστημονικής κοινότητας σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία (WHO, 2019). Η πρόσληψη μικροπλαστικών πραγματοποιείται καθημερινά μέσω της κατανάλωσης νερού, τροφίμων ζωικής και φυτικής προέλευσης, καθώς και μέσω επεξεργασμένων προϊόντων.

Μεταξύ των κυριότερων πηγών διατροφικής έκθεσης περιλαμβάνονται τα θαλασσινά, ιδιαίτερα τα δίθυρα μαλάκια και τα οστρακοειδή, τα οποία καταναλώνονται ολόκληρα μαζί με το γαστρεντερικό τους σύστημα, όπου συσσωρεύονται μικροπλαστικά σωματίδια (Van Cauwenberghhe & Janssen, 2014). Παράλληλα, υψηλά επίπεδα μικροπλαστικών έχουν καταγραφεί στο εμφιαλωμένο νερό, γεγονός που αποδίδεται τόσο στο υλικό συσκευασίας όσο και στις διαδικασίες εμφιάλωσης και αποθήκευσης (Schymanski et al., 2018).

Σύμφωνα με τον Cox et al. (2019), η συνολική ετήσια πρόσληψη μικροπλαστικών μέσω της διατροφής και της αναπνοής ενδέχεται να φτάνει δεκάδες έως και εκατοντάδες χιλιάδες σωματίδια ανά άτομο, ανάλογα με τις διατροφικές συνήθειες. Η κατανάλωση εμφιαλωμένου νερού φαίνεται να αυξάνει σημαντικά τη συνολική έκθεση σε σχέση με την κατανάλωση νερού δικτύου.

Ειδικότερα, εκτιμάται ότι η ετήσια πρόσληψη μικροπλαστικών μέσω της κατανάλωσης τροφίμων και ποτών μπορεί να κυμαίνεται από περίπου 39.000 έως 52.000 σωματίδια ανά άτομο, ενώ η συνολική έκθεση αυξάνεται σημαντικά όταν συνυπολογίζεται η εισπνοή αερομεταφερόμενων μικροπλαστικών (Cox et al., 2019).

Επιπλέον, η ατμοσφαιρική επιμόλυνση αποτελεί έναν ακόμη σημαντικό παράγοντα έκθεσης. Συνθετικές ίνες που αιωρούνται στον αέρα μπορούν να εναποτεθούν στα τρόφιμα κατά την παραγωγή, τη συσκευασία και την κατανάλωση, αυξάνοντας τη συνολική ποσότητα μικροπλαστικών που προσλαμβάνει ο άνθρωπος (Prata, 2018).

Ωστόσο, η ακριβής εκτίμηση της ανθρώπινης έκθεσης παραμένει δύσκολη. Οι διαφορές στις μεθόδους ανάλυσης, στα κατώφλια ανίχνευσης και στα πρωτόκολλα δειγματοληψίας οδηγούν σε σημαντική μεταβλητότητα των αποτελεσμάτων μεταξύ των μελετών (EFSA CONTAM Panel, 2016). Ως αποτέλεσμα, εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικές αβεβαιότητες σχετικά

με την πραγματική έκταση της ανθρώπινης έκθεσης και τις πιθανές μακροχρόνιες επιπτώσεις των μικροπλαστικών στη δημόσια υγεία. Η ανάπτυξη εναρμονισμένων μεθόδων ανάλυσης και τυποποιημένων πρωτοκόλλων δειγματοληψίας θεωρείται απαραίτητη για τη βελτίωση της αξιοπιστίας των μελλοντικών εκτιμήσεων έκθεσης.

2.5 Βιοδιαθεσιμότητα

Η βιοδιαθεσιμότητα των μικροπλαστικών αναφέρεται στην ικανότητα των σωματιδίων να απορροφώνται από τον ανθρώπινο οργανισμό και να μεταφέρονται σε ιστούς και όργανα. Η παράμετρος αυτή θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική, καθώς σχετίζεται άμεσα με τις πιθανές βιολογικές επιδράσεις των μικροπλαστικών στον άνθρωπο (Galloway, 2015).

Η απορρόφηση των μικροπλαστικών εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως:

- το μέγεθος των σωματιδίων,
- το σχήμα,
- η χημική σύσταση,
- η επιφανειακή τους δομή,
- η υδροφοβικότητα.

Τα μεγαλύτερα σωματίδια φαίνεται να αποβάλλονται κυρίως μέσω του γαστρεντερικού συστήματος χωρίς να απορροφώνται σημαντικά. Αντίθετα, μικρότερα σωματίδια και ιδιαίτερα τα νανοπλαστικά ενδέχεται να διαπερνούν τον εντερικό φραγμό και να εισέρχονται στην κυκλοφορία του αίματος (Koelmans et al., 2015).

Πειραματικές μελέτες έχουν δείξει ότι νανოსωματίδια μπορούν να αλληλεπιδρούν με κυτταρικές μεμβράνες και να μεταφέρονται σε διάφορα όργανα, όπως το ήπαρ και οι νεφροί. Η πιθανότητα αυτή αυξάνει σημαντικά τον προβληματισμό σχετικά με τη μακροχρόνια βιοσυσσώρευση μικροπλαστικών στον ανθρώπινο οργανισμό.

Παράλληλα, η επιφάνεια των μικροπλαστικών έχει την ικανότητα να προσροφά χημικές ουσίες και ρύπους από το περιβάλλον, γεγονός που μπορεί να επηρεάζει τη βιοδιαθεσιμότητα και την τοξικότητά τους (Guo & Wang, 2019). Η μεταφορά αυτών των ουσιών μέσω των μικροπλαστικών αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που εξετάζονται σήμερα στη διεθνή βιβλιογραφία.

Παρά την πρόοδο της έρευνας, εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικά κενά γνώσης σχετικά με τους μηχανισμούς απορρόφησης, μεταφοράς και αποβολής των μικροπλαστικών στον άνθρωπο. Για τον λόγο αυτό, απαιτούνται περαιτέρω μελέτες για την κατανόηση της βιοδιαθεσιμότητας και των πιθανών επιπτώσεων της χρόνιας έκθεσης.

2.6 Τοξικολογικές επιδράσεις

Οι πιθανές τοξικολογικές επιδράσεις των μικροπλαστικών αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα πεδία έρευνας σχετικά με τη δημόσια υγεία. Η ανησυχία δεν σχετίζεται μόνο με τη φυσική παρουσία των σωματιδίων, αλλά και με τις χημικές ουσίες που αυτά περιέχουν ή μεταφέρουν (Wright & Kelly, 2017).

Κατά την παραγωγή πλαστικών υλικών χρησιμοποιούνται διάφορες χημικές ενώσεις, όπως:

- πλαστικοποιητές,
- σταθεροποιητές,
- επιβραδυντικά φλόγας,
- χρωστικές ουσίες.

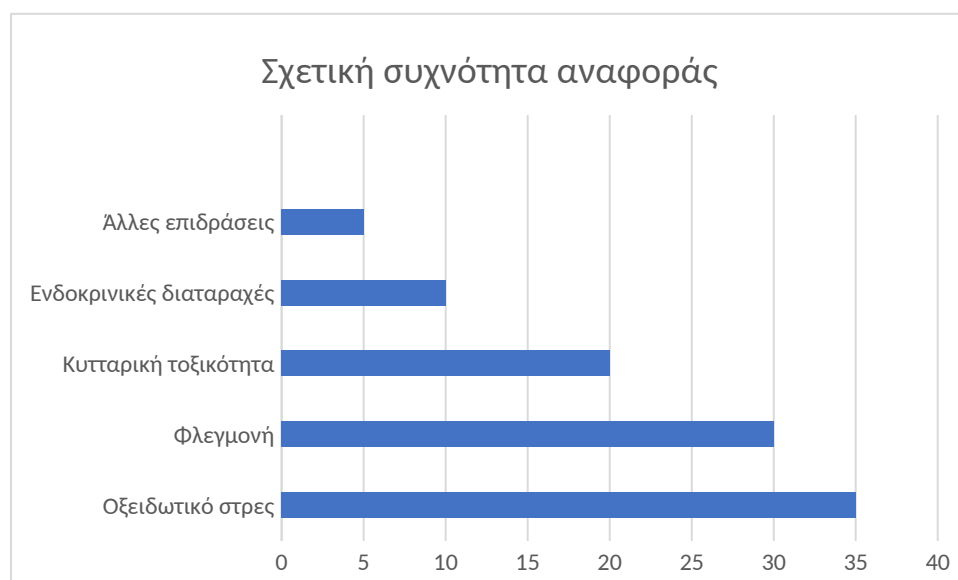
Ορισμένες από αυτές τις ενώσεις έχουν συσχετιστεί με ενδοκρινικές διαταραχές και άλλες βιολογικές επιδράσεις. Επιπλέον, λόγω της υδρόφοβης επιφάνειάς τους, τα μικροπλαστικά μπορούν να προσροφούν οργανικούς ρύπους και βαρέα μέταλλα από το περιβάλλον, λειτουργώντας ως φορείς μεταφοράς τοξικών ουσιών (Hermabessiere et al., 2017).

Πειραματικές μελέτες σε κυτταρικές σειρές και ζωικά μοντέλα έχουν δείξει ότι η έκθεση σε μικροπλαστικά μπορεί να προκαλεί:

- φλεγμονώδεις αντιδράσεις,
- παραγωγή ελευθέρων ριζών,
- οξειδωτικό στρες,
- κυτταρική βλάβη,
- μεταβολές στο εντερικό μικροβίωμα (Hirt & Body-Malapel, 2020).

Ορισμένες μελέτες υποδεικνύουν ότι μικρότερα σωματίδια (<10 μm) εμφανίζουν αυξημένη πιθανότητα κυτταρικής διείσδυσης και βιολογικής αλληλεπίδρασης, ενώ τα νανοπλαστικά

ενδέχεται να παρουσιάζουν ακόμη υψηλότερη τοξικολογική δραστικότητα λόγω της μεγάλης ειδικής επιφάνειάς τους (EFSA CONTAM Panel, 2016).



Σχήμα 1 Κυριότερες πιθανές επιπτώσεις μικροπλαστικών στην ανθρώπινη υγεία Πηγή: Βασισμένο σε δεδομένα των Hirt & Body-Malapel, 2020; Wright & Kelly, 2017.

Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2, οι συχνότερα αναφερόμενες πιθανές επιπτώσεις των μικροπλαστικών σχετίζονται με το οξειδωτικό στρες και τις φλεγμονώδεις αντιδράσεις. Παράλληλα, ιδιαίτερος προβληματισμός υπάρχει σχετικά με τη μεταφορά χημικών ουσιών και τις πιθανές μακροχρόνιες επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η πιθανότητα χρόνιας έκθεσης σε χαμηλές συγκεντρώσεις μικροπλαστικών μέσω της διατροφής. Αν και οι συγκεντρώσεις αυτές είναι σχετικά μικρές, η συνεχής πρόσληψη σε βάθος χρόνου ενδέχεται να έχει σωρευτικές επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό.

Ωστόσο, τα διαθέσιμα δεδομένα για τον άνθρωπο παραμένουν περιορισμένα. Οι περισσότερες μελέτες βασίζονται σε πειραματικά μοντέλα ή σε *in vitro* δοκιμές, γεγονός που καθιστά δύσκολη την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σχετικά με τις πραγματικές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία (EFSA CONTAM Panel, 2016).

Συνεπώς, απαιτείται περαιτέρω επιστημονική έρευνα για τη διερεύνηση των μακροχρόνιων τοξικολογικών επιδράσεων των μικροπλαστικών, καθώς και για τον καθορισμό ασφαλών ορίων έκθεσης.

Οι κυριότερες πιθανές επιπτώσεις των μικροπλαστικών στη δημόσια υγεία συνοψίζονται στον Πίνακα 3.

Παράμετρος	Πιθανές επιπτώσεις
Διατροφική έκθεση	Συνεχής πρόσληψη μικροπλαστικών
Βιοδιαθεσιμότητα	Πιθανή απορρόφηση μικρών σωματιδίων
Οξειδωτικό στρες	Κυτταρική βλάβη
Φλεγμονώδεις αντιδράσεις	Ενεργοποίηση ανοσοποιητικού
Χημικές ουσίες	Μεταφορά προσθέτων και ρύπων
Βιοσυσσώρευση	Πιθανή παραμονή σε ιστούς

Πίνακας 3 Πιθανές επιπτώσεις μικροπλαστικών στη δημόσια υγεία

Πηγή: Βασισμένο σε δεδομένα των Hirt & Body-Malapel (2020), Wright & Kelly (2017) και EFSA CONTAM Panel (2016).

Παρότι τα διαθέσιμα επιστημονικά δεδομένα υποδεικνύουν πιθανές βιολογικές και τοξικολογικές επιδράσεις των μικροπλαστικών, η πραγματική έκταση του κινδύνου για τον άνθρωπο παραμένει ακόμη ασαφής. Η έλλειψη μακροχρόνιων επιδημιολογικών δεδομένων και εναρμονισμένων τοξικολογικών πρωτοκόλλων αποτελεί σημαντικό περιορισμό στην αξιολόγηση της επικινδυνότητας των μικροπλαστικών για τη δημόσια υγεία.

2.7 Νομοθετικές και κανονιστικές προσεγγίσεις

Η αυξανόμενη ανησυχία σχετικά με την παρουσία μικροπλαστικών στα τρόφιμα και τις πιθανές επιπτώσεις τους στη δημόσια υγεία έχει οδηγήσει διεθνείς οργανισμούς και ρυθμιστικές αρχές στην ανάγκη αξιολόγησης του φαινομένου. Ωστόσο, μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν συγκεκριμένα νομοθετικά όρια για τα μικροπλαστικά στα τρόφιμα και το πόσιμο νερό. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ενισχύσει σημαντικά τις πολιτικές περιορισμού της πλαστικής ρύπανσης και προώθησης της κυκλικής οικονομίας, αναγνωρίζοντας την ανάγκη περιορισμού των περιβαλλοντικών και υγειονομικών επιπτώσεων των πλαστικών αποβλήτων.

Η Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA) και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) έχουν επισημάνει ότι τα διαθέσιμα επιστημονικά δεδομένα δεν επαρκούν ακόμη για την πλήρη αξιολόγηση του κινδύνου από τη χρόνια έκθεση στα μικροπλαστικά (WHO, 2019; EFSA CONTAM Panel, 2016). Οι σημαντικές διαφοροποιήσεις στις αναλυτικές μεθόδους και στα όρια ανίχνευσης δυσχεραίνουν τη σύγκριση των αποτελεσμάτων και την ανάπτυξη εναρμονισμένων προτύπων.

Παράλληλα, η έλλειψη τυποποιημένων πρωτοκόλλων δειγματοληψίας και ανάλυσης αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για την αξιόπιστη εκτίμηση της ανθρώπινης έκθεσης. Για τον λόγο αυτό, η διεθνής επιστημονική κοινότητα υπογραμμίζει την ανάγκη ανάπτυξης κοινών μεθοδολογικών προσεγγίσεων, ώστε να διασφαλιστεί η συγκρισιμότητα των δεδομένων μεταξύ των μελετών.

Σε επίπεδο βιομηχανίας τροφίμων, αυξάνεται σταδιακά το ενδιαφέρον για την εφαρμογή προληπτικών μέτρων με στόχο τη μείωση της επιμόλυνσης.

Ειδικότερα, τα προληπτικά μέτρα περιλαμβάνουν:

- τη βελτίωση των συνθηκών παραγωγής,
- τη χρήση κατάλληλων υλικών συσκευασίας,
- τον έλεγχο της φθοράς εξοπλισμού,
- την παρακολούθηση πιθανών πηγών επιμόλυνσης κατά μήκος της αλυσίδας τροφίμων. Η ανάπτυξη εναρμονισμένων νομοθετικών πλαισίων, η εφαρμογή τυποποιημένων αναλυτικών μεθόδων και η ενίσχυση της διεθνούς επιστημονικής συνεργασίας θεωρούνται απαραίτητες προϋποθέσεις για την αποτελεσματικότερη αξιολόγηση και διαχείριση των πιθανών κινδύνων που σχετίζονται με τα μικροπλαστικά στην τροφική αλυσίδα.

2.8 Βιβλιογραφική επισκόπηση της παρουσίας μικροπλαστικών

Η διεθνής βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι τα μικροπλαστικά είναι ευρέως διαδεδομένα στο περιβάλλον και στην τροφική αλυσίδα (Cox et al., 2019). Έχουν ανιχνευθεί σε τρόφιμα ζωικής και φυτικής προέλευσης, σε ποτά, καθώς και σε επεξεργασμένα τρόφιμα.

Το εμφιαλωμένο νερό αποτελεί μία από τις πιο εντατικά μελετημένες κατηγορίες όσον αφορά την παρουσία μικροπλαστικών. Μελέτες έχουν καταγράψει την ύπαρξη μικροπλαστικών τόσο σε πλαστικές όσο και σε γυάλινες φιάλες, γεγονός που υποδεικνύει ότι οι πηγές επιμόλυνσης δεν περιορίζονται αποκλειστικά στο υλικό συσκευασίας (Mintenig et al., 2019). Ποσοτικά δεδομένα από τη διεθνή βιβλιογραφία δείχνουν ότι οι συγκεντρώσεις μικροπλαστικών στο εμφιαλωμένο νερό παρουσιάζουν ιδιαίτερα μεγάλη μεταβλητότητα, με ορισμένες μελέτες να αναφέρουν τιμές που κυμαίνονται από 10 έως και περισσότερα από 6.000 σωματίδια ανά λίτρο νερού (particles/L) (WHO, 2019). Οι διαφοροποιήσεις αυτές σχετίζονται κυρίως με τις διαφορετικές μεθόδους ανάλυσης, το υλικό συσκευασίας και τις συνθήκες αποθήκευσης των προϊόντων.

Τα συχνότερα πολυμερή που ανιχνεύονται στο εμφιαλωμένο νερό είναι το πολυαιθυλένιο τereφθαλικό (PET) και το πολυπροπυλένιο (PP), τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στην παραγωγή φιαλών και πωμάτων. Η μηχανική καταπόνηση κατά την εμφιάλωση, η φθορά του πώματος κατά το άνοιγμα και κλείσιμο της φιάλης, καθώς και η έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες κατά την αποθήκευση και μεταφορά αποτελούν πιθανούς μηχανισμούς απελευθέρωσης μικροπλαστικών σωματιδίων (WHO, 2019).

Επιπλέον, έχει προταθεί ότι η διάρκεια αποθήκευσης μπορεί να επηρεάζει τη συγκέντρωση μικροπλαστικών στο εμφιαλωμένο νερό, καθώς η παρατεταμένη επαφή με το υλικό συσκευασίας ενδέχεται να αυξάνει τη φθορά της εσωτερικής επιφάνειας της φιάλης. Αντίστοιχα, περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως η ηλιακή ακτινοβολία και οι αυξημένες θερμοκρασίες, μπορούν να επιταχύνουν την αποδόμηση των πλαστικών υλικών.

Η παρουσία μικροπλαστικών σε τρόφιμα φυτικής προέλευσης έχει επίσης τεκμηριωθεί σε πολλές μελέτες. Προϊόντα όπως το αλάτι, η ζάχαρη και το ρύζι εμφανίζουν μεταβλητά επίπεδα μικροπλαστικών, τα οποία σχετίζονται κυρίως με περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως το έδαφος, το νερό άρδευσης και η ατμοσφαιρική επιμόλυνση (Prata, 2018). Δεδομένα από τη διεθνή βιβλιογραφία δείχνουν ότι προϊόντα όπως το αλάτι, η ζάχαρη και το ρύζι περιέχουν μεταβλητές συγκεντρώσεις μικροπλαστικών, οι οποίες κυμαίνονται συνήθως από 30 έως 280 σωματίδια ανά κιλό προϊόντος (particles/kg) (Li et al., 2018). Τα κυρίαρχα πολυμερή που εντοπίζονται είναι κυρίως το πολυαιθυλένιο (PE) και το πολυπροπυλένιο (PP), ενώ οι ίνες και τα μικρά θραύσματα αποτελούν τις συχνότερες μορφές μικροπλαστικών.

Τα τρόφιμα ζωικής προέλευσης, και ιδιαίτερα τα θαλασσινά, αποτελούν μία από τις πλέον μελετημένες κατηγορίες όσον αφορά την παρουσία μικροπλαστικών. Μελέτες έχουν δείξει ότι

μικροπλαστικά εντοπίζονται στο γαστρεντερικό σύστημα ψαριών, μαλακίων και οστρακοειδών, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις έχει καταγραφεί και η μεταφορά τους στους βρώσιμους ιστούς (Cox et al., 2019).

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται ενδεικτικές συγκεντρώσεις μικροπλαστικών σε διάφορες κατηγορίες τροφίμων και ποτών, όπως προκύπτουν από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Μελέτη	Τρόφιμο	Πολυμερή	Μέγεθος (μm)	Συγκέντρωση
Cox et al. (2019)	Συνολική διατροφή	PE, PP, PET	10-500	39.000-52.000 σωματίδια/έτος
Mintenig et al. (2019)	Πόσιμο νερό	PET, PP	>20	Χαμηλή
Love et al. (2021)	Πόσιμο νερό	PE, PP	1-100	Μεταβλητή
Li et al. (2018)	Αλάτι, ζάχαρη	PE, PP	50-500	Χαμηλή-μέτρια

Πίνακας 4 Συγκεντρώσεις και χαρακτηριστικά μικροπλαστικών σε τρόφιμα και ποτά

Πηγή: Βασισμένο σε δεδομένα των Cox et al., 2019; Li et al., 2018; Mintenig et al., 2019

Όπως προκύπτει από τα δεδομένα του Πίνακα, μικροπλαστικά έχουν ανιχνευθεί σε ευρύ φάσμα τροφίμων και ποτών, με κυρίαρχα πολυμερή το πολυαιθυλένιο (PE), το πολυπροπυλένιο (PP) και το πολυαιθυλένιο τереφθαλικό (PET).

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται ενδεικτικές συγκεντρώσεις μικροπλαστικών ανά κατηγορία τροφίμων, καθώς και τα κυρίαρχα πολυμερή και τα εύρη μεγέθους των σωματιδίων που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία.

Τρόφιμο	Συγκέντρωση	Μονάδα	Κυρίαρχο πολυμερές	Μέγεθος
Εμφιαλωμένο νερό	10-6300	particles/L	PET, PP	1-100 μm
Θαλασσινά	0,2-4,6	particles/g	PE, PP	20-500 μm
Αλάτι	50-280	particles/kg	PE	50-500 μm
Ζάχαρη	30-150	particles/kg	PP	100-300 μm
Μέλι	40-660	particles/kg	Συνθετικές ίνες	<100 μm

Πίνακας 5 Ποσοτικά δεδομένα συγκεντρώσεων μικροπλαστικών σε τρόφιμα και ποτά

Πηγή: Βασισμένο σε δεδομένα των Cox et al. (2019), Li et al. (2018), WHO (2019) και EFSA CONTAM Panel (2016).

Τα ποσοτικά δεδομένα του Πίνακα 5 καταδεικνύουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στις συγκεντρώσεις μικροπλαστικών μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών τροφίμων και ποτών.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις μικροπλαστικών αναφέρονται συχνά σε θαλασσινά και εμφιαλωμένο νερό, ενώ μικροπλαστικά έχουν επίσης ανιχνευθεί σε αλάτι, ζάχαρη, μέλι, μύρα και γαλακτοκομικά προϊόντα. Οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των μελετών σχετίζονται κυρίως με:

- τις διαφορετικές αναλυτικές μεθόδους,
- τα όρια ανίχνευσης,
- τα πρωτόκολλα δειγματοληψίας,
- και τις συνθήκες παραγωγής των τροφίμων.

Παρά τη σημαντική πρόοδο της επιστημονικής έρευνας, εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικά κενά γνώσης σχετικά με τη βιοδιαθεσιμότητα, τη βιοσυσσώρευση και τις μακροχρόνιες επιπτώσεις των μικροπλαστικών στον ανθρώπινο οργανισμό (WHO, 2019).

Τα τελευταία χρόνια, η αυξανόμενη ανίχνευση μικροπλαστικών σε ανθρώπινους ιστούς και βιολογικά δείγματα έχει ενισχύσει σημαντικά το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας. Η παρουσία μικροπλαστικών στο ανθρώπινο αίμα, στον πλακούντα και σε ιστούς του πεπτικού συστήματος εντείνει την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση των πιθανών κινδύνων για τη δημόσια υγεία (Leslie et al., 2022).

2.9 Ερευνητικά ερωτήματα

Με βάση τη βιβλιογραφική επισκόπηση, η παρούσα εργασία εστιάζει στα εξής ερευνητικά ερωτήματα:

- Ποιες είναι οι συγκεντρώσεις μικροπλαστικών σε διαφορετικές κατηγορίες τροφίμων και ποτών;
- Ποιοι τύποι πολυμερών εντοπίζονται συχνότερα στα τρόφιμα;
- Ποιες είναι οι βασικές πηγές επιμόλυνσης κατά μήκος της αλυσίδας τροφίμων;
- Ποιες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση μικροπλαστικών;
- Ποιες είναι οι πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία;
- Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν τη διατροφική έκθεση του ανθρώπου στα μικροπλαστικά;

Η διερεύνηση των παραπάνω ερωτημάτων συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση του φαινομένου των μικροπλαστικών στην τροφική αλυσίδα και στην ανάδειξη της ανάγκης για ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών περιορισμού της επιμόλυνσης.

3. Μεθοδολογία

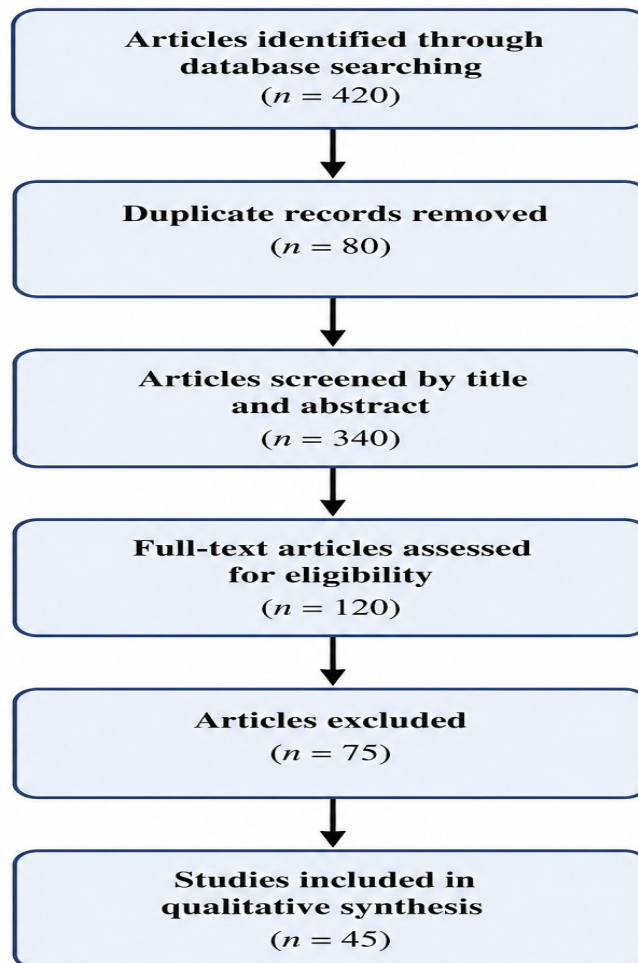
3.1 Μεθοδολογία PRISMA

Η επιλογή και αξιολόγηση των επιστημονικών μελετών πραγματοποιήθηκε ακολουθώντας τις βασικές αρχές της μεθοδολογίας PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), η οποία χρησιμοποιείται ευρέως σε συστηματικές βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις για τη διασφάλιση της διαφάνειας και της αξιοπιστίας της διαδικασίας επιλογής των μελετών.

Η διαδικασία περιλάμβανε τέσσερα βασικά στάδια:

- εντοπισμό των μελετών (identification),
- αρχικό έλεγχο και απομάκρυνση μη σχετικών άρθρων (screening),
- αξιολόγηση καταλληλότητας (eligibility),
- και τελική ένταξη των μελετών στην ανασκόπηση (inclusion).

Οι επιστημονικές δημοσιεύσεις εντοπίστηκαν μέσω διεθνών βάσεων δεδομένων, όπως Scopus, Web of Science, PubMed και Google Scholar, χρησιμοποιώντας συνδυασμούς σχετικών λέξεων-κλειδιών. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε απομάκρυνση διπλότυπων και μη σχετικών μελετών, ενώ οι τελικές μελέτες αξιολογήθηκαν ως προς τη συνάφεια, τη μεθοδολογική ποιότητα και τη διαθεσιμότητα ποσοτικών δεδομένων σχετικά με τα μικροπλαστικά σε τρόφιμα και ποτά. Η διαδικασία επιλογής και αξιολόγησης των επιστημονικών μελετών πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη μεθοδολογία PRISMA και παρουσιάζεται συνοπτικά στο Σχήμα 1.



Σχήμα 2 Διάγραμμα ροής επιλογής μελετών σύμφωνα με τη μεθοδολογία PRISMA. Πηγή: Βασισμένο στη μεθοδολογία PRISMA 2020 (Page et al., 2021).

Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3, η επιλογή των μελετών πραγματοποιήθηκε μέσω διαδοχικών σταδίων αναζήτησης, αξιολόγησης και αποκλεισμού, σύμφωνα με τη μεθοδολογία PRISMA.

3.2 Αναζήτηση και επιλογή βιβλιογραφίας

Η παρούσα εργασία βασίζεται σε συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση της διεθνούς επιστημονικής βιβλιογραφίας σχετικά με την παρουσία μικροπλαστικών σε τρόφιμα και ποτά, με στόχο τη συγκέντρωση, αξιολόγηση και συγκριτική ανάλυση των διαθέσιμων επιστημονικών δεδομένων.

Η αναζήτηση των βιβλιογραφικών πηγών πραγματοποιήθηκε σε διεθνείς επιστημονικές βάσεις δεδομένων, όπως:

- Scopus,
- Web of Science,
- PubMed,
- Google Scholar.

Για την αναζήτηση χρησιμοποιήθηκαν συνδυασμοί λέξεων-κλειδιών όπως:

- “microplastics”,
- “food contamination”,
- “food chain”,
- “human exposure”,
- “microplastics in seafood”,
- “bottled water contamination”,
- “plastic particles in food”.

Παράλληλα, αξιοποιήθηκαν εκθέσεις και επιστημονικές γνωμοδοτήσεις διεθνών οργανισμών, όπως:

- ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO),
- η Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA),
- και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή.

Η επιλογή των επιστημονικών μελετών βασίστηκε σε συγκεκριμένα κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού, προκειμένου να διασφαλιστεί η αξιοπιστία και η επιστημονική εγκυρότητα των δεδομένων.

Κριτήρια ένταξης των μελετών

Οι μελέτες που επιλέχθηκαν:

- είχαν δημοσιευθεί σε έγκριτα επιστημονικά περιοδικά με σύστημα αξιολόγησης (peer review),
- παρουσίαζαν σαφή περιγραφή των μεθόδων ανίχνευσης μικροπλαστικών,
- περιλάμβαναν ποσοτικά ή ποιοτικά δεδομένα σχετικά με τρόφιμα και ποτά,
- σχετίζονταν άμεσα με τη διατροφική έκθεση του ανθρώπου,
- δημοσιεύθηκαν κυρίως κατά την τελευταία δεκαετία.

Κριτήρια αποκλεισμού

Αποκλείστηκαν:

- μελέτες χωρίς σαφή μεθοδολογική τεκμηρίωση,
- εργασίες με περιορισμένη συνάφεια με τη διατροφική έκθεση,
- μη επιστημονικές δημοσιεύσεις,
- δημοσιεύσεις χωρίς διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με συγκεντρώσεις ή χαρακτηριστικά μικροπλαστικών.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις επιλεγμένες μελέτες αφορούσαν:

- τις συγκεντρώσεις μικροπλαστικών,
- τους τύπους πολυμερών,
- το σχήμα και το μέγεθος των σωματιδίων,
- τις κατηγορίες τροφίμων και ποτών,
- τις πιθανές πηγές επιμόλυνσης,
- και τις χρησιμοποιούμενες αναλυτικές τεχνικές.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στις αναλυτικές μεθόδους ταυτοποίησης μικροπλαστικών, όπως:

- η φασματοσκοπία FTIR,
- η Raman spectroscopy,
- η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM),
- και η Pyrolysis-GC-MS.

Η συγκριτική αξιολόγηση των μελετών πραγματοποιήθηκε με στόχο:

- την ανάδειξη κοινών τάσεων,
- τη σύγκριση συγκεντρώσεων μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών τροφίμων,
- τον εντοπισμό κυρίαρχων τύπων πολυμερών,
- και τη διερεύνηση πιθανών παραγόντων επιμόλυνσης κατά μήκος της αλυσίδας τροφίμων.

Ωστόσο, η ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων παρουσίασε ορισμένους περιορισμούς. Οι σημαντικές διαφοροποιήσεις στις μεθόδους ανίχνευσης, στα κατώφλια μεγέθους σωματιδίων

και στα πρωτόκολλα δειγματοληψίας δυσχεραίνουν τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων μεταξύ των μελετών. Επιπλέον, η απουσία πλήρως εναρμονισμένων διεθνών πρωτοκόλλων ανάλυσης αποτελεί σημαντικό παράγοντα αβεβαιότητας στην εκτίμηση της ανθρώπινης έκθεσης στα μικροπλαστικά.

Παρά τους περιορισμούς αυτούς, η συστηματική σύνθεση των διαθέσιμων δεδομένων παρέχει μία ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με την παρουσία μικροπλαστικών στα τρόφιμα και ποτά και συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση των πιθανών επιπτώσεων στη δημόσια υγεία.

4. Αποτελέσματα

4.1 Γενική επισκόπηση

Η παρούσα ανασκόπηση ανέδειξε την παρουσία μικροπλαστικών σε ένα ευρύ φάσμα τροφίμων και ποτών που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση. Τα διαθέσιμα δεδομένα αφορούν τρόφιμα ζωικής προέλευσης, όπως ψάρια, οστρακοειδή, γαρίδες, κοτόπουλο, γάλα και αυγά, αλλά και προϊόντα φυτικής προέλευσης και επεξεργασμένα τρόφιμα, όπως φρούτα, λαχανικά, ρύζι, αλεύρι, ζάχαρη, μέλι και αλάτι (Catarino et al., 2018; Da Costa Filho et al., 2021; Oliveri Conti et al., 2020; Dessì et al., 2021; Rayhan et al., 2026; Pham et al., 2023). Παράλληλα, μικροπλαστικά έχουν ανιχνευθεί σε πόσιμο και εμφιαλωμένο νερό, μπύρα, αναψυκτικά, τσάι και άλλα επεξεργασμένα ποτά (Schymanski et al., 2018; Shruti et al., 2020; Basaran et al., 2024; Pham et al., 2023).

Οι αναφερόμενες συγκεντρώσεις παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση μεταξύ των μελετών και των διαφορετικών κατηγοριών τροφίμων. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων δεν είναι πάντοτε άμεση, καθώς χρησιμοποιούνται διαφορετικές μονάδες μέτρησης, όπως σωματίδια ανά γραμμάριο, ανά κιλό, ανά λίτρο ή, σε ορισμένες περιπτώσεις, μάζα πλαστικού ανά μονάδα τροφίμου. Επιπλέον, διαφοροποιούνται τα κατώφλια μεγέθους, οι διαδικασίες προετοιμασίας των δειγμάτων και οι αναλυτικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση και ταυτοποίηση των σωματιδίων (Karami et al., 2017; Schymanski et al., 2018; Dessì et al., 2021; Duman et al., 2023; Fadda et al., 2026).

Μεταξύ των πολυμερών που αναφέρονται συχνότερα στις πρωτογενείς μελέτες περιλαμβάνονται το πολυαιθυλένιο (PE), το πολυπροπυλένιο (PP) και το τереφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET), ενώ σε επιμέρους κατηγορίες τροφίμων και ποτών καταγράφονται επίσης PVC, PS, PA, EVA και άλλα πολυμερή (Karami et al., 2017; Da Costa Filho et al., 2021; Duman et al., 2023; Mercy & Alam, 2024; Pham et al., 2023). Ωστόσο, το προφίλ των πολυμερών διαφέρει σημαντικά ανάλογα με το τρόφιμο, τη διαδικασία παραγωγής, τη συσκευασία και τη μέθοδο ανάλυσης.

Σε αρκετές μελέτες εξετάζονται επίσης πιθανοί παράγοντες επιμόλυνσης, όπως η επεξεργασία, η συσκευασία, οι πλαστικές επιφάνειες επαφής, η αποθήκευση και η προετοιμασία του τροφίμου πριν από την κατανάλωση. Ενδεικτικά, έχει αναφερθεί επιμόλυνση από πλαστικές επιφάνειες κοπής σε κοτόπουλο και ψάρι, επίδραση της συσκευασίας σε φιλέτα πέστροφας και

πιθανή συμβολή της παραγωγής και της συσκευασίας σε επεξεργασμένα τρόφιμα και ποτά (Habib et al., 2022; Alak et al., 2021; Pham et al., 2023). Παράλληλα, ορισμένες μελέτες προχωρούν σε εκτίμηση της ανθρώπινης διατροφικής έκθεσης με βάση τις συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν στα τρόφιμα και τα δεδομένα κατανάλωσης (Alak et al., 2021; Basaran et al., 2024; Pham et al., 2023).

Στον παρακάτω Πίνακα συνοψίζονται τα ευρήματα των μελετών που συμπεριελήφθησαν στην παρούσα ανασκόπηση

Μελέτη	Χώρα	Δείγμα	Μεθοδολογία	Μέθοδος ανάλυσης	Κύρια αποτελέσματα	Πολυμερή που εντοπίστηκαν
Catarino et al. (2018)	Ηνωμένο Βασίλειο	Μύδια <i>Mytilus edulis</i> και <i>Modiolus modiolus</i>	Πέψη μαλακών ιστών, διήθηση και έλεγχος επιμόλυνσης	Μικροσκοπία, FTIR και Nile Red	Στα <i>M. edulis</i> παρατηρήθηκαν $3,0 \pm 0,9$ σωματίδια/g υγρού βάρους. Περίπου τα μισά από τα παρατηρούμενα σωματίδια επιβεβαιώθηκαν ως πλαστικά.	Κυρίως PET/polyester και poly(ether-urethane)
Da Costa Filho et al. (2021)	-	Νωπό γάλα, επεξεργασμένο γάλα και γάλα σε σκόνη	Ενζυμική και αλκαλική πέψη και διήθηση	Υψηλής ανάλυσης μ- Raman	Περίπου 172-1004 MPs/100 mL ανάλογα με τον τύπο προϊόντος. Μεγάλο ποσοστό των σωματιδίων ήταν πολύ μικρού μεγέθους.	PE, PES, PP, PTFE, PS και άλλα
Liu et al. (2022)	Κίνα	Εμπορικά αυγά	Διαχωρισμός κρόκου και ασπραδιού και απομόνωση των σωματιδίων	Μικροσκοπική και φασματοσκοπική ανάλυση	Μέση αφθονία $11,67 \pm 3,98$ σωματίδια/αυγό. Μεγαλύτερη παρουσία στον κρόκο.	Κυρίως PE
Rayhan et al. (2026)	Μπανγκλαντές	60 αυγά: layer, broiler, πάπιας και οικόσιτης κότας	Πέψη με 10% KOH στους 60 °C για 24 h και διήθηση	Μικροσκοπία, Raman και ATR-FTIR	7,67-13,47 MPs/αυγό και περίπου 0,19-0,26 MPs/g. Κυριάρχησαν οι ίνες και τα μεγέθη 18-69 μm.	Κυρίως PE
Habib et al. (2022)	Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα Κουβέιτ	Κοτόπουλο και διάφορα είδη ψαριών εμπορίου	Πέψη με KOH, διήθηση και σύγκριση με τις πλαστικές	Οπτική μικροσκοπία και FTIR	Κοτόπουλο: $0,03 \pm 0,04$ έως $1,19 \pm 0,72$ MPs/g. Ψάρια: $0,014 \pm 0,024$	PE

Μελέτη	Χώρα	Δείγμα	Μεθοδολογία	Μέθοδος ανάλυσης	Κύρια αποτελέσματα	Πολυμερή που εντοπίστηκαν
			επιφάνειες κοπής		έως $2,60 \pm 2,80$ MPs/g. Η επιμόλυνση συνδέθηκε με πλαστικές επιφάνειες κοπής.	
Duman et al. (2023)	Γαλλία	7 εμπορικά προϊόντα ψαριού: τόνος, σκουμπρί, σολομός, μπακαλιάρος, γαύρος κ.ά.	Πέψη κυρίως με 10% KOH, διαφορετικά πρωτόκολλα ανάλογα με τη λιπαρότητα του προϊόντος και διήθηση	Στερεομικροσκοπία και μ-FTIR	Επιβεβαιωμένες συγκεντρώσεις περίπου $0,05 \pm 0,04$ έως $0,33 \pm 0,08$ MP/g στο εδώδιμο τμήμα.	PET, PP, EVA
Alak et al. (2021)	Τουρκία	Φιλέτα ιριδίζουσας πέστροφας	162 φιλέτα, διαφορετικά είδη συσκευασίας, αποθήκευση στους +4 και -20 °C, πέψη με KOH	Στερεομικροσκοπία και ATR-FTIR	Περίπου 12-16 MPs/10 g στους +4 °C και 10-17 MPs/10 g στους -20 °C, ανάλογα με τη συσκευασία. Υψηλότερη παρουσία στην ομάδα με δίσκο πολυστυρενίου και μεμβράνη.	Ethylene-propylene, polyurethane, polyacrylamide, PVC και άλλα
Mercy & Alam (2024)	Μπανγκλαντές	7 είδη γαρίδας από τον Κόλπο της Βεγγάλης	Πέψη με H_2O_2 , διαχωρισμός με NaCl και διήθηση; χωριστή εξέταση γαστρεντερικού σωλήνα και μυϊκού ιστού	Στερεομικροσκοπία, SEM και FTIR	Στον μυϊκό ιστό αναφέρθηκαν περίπου 1,4-9,8 MPs/g ανάλογα με το είδος. Οι συγκεντρώσεις ήταν υψηλότερες στον γαστρεντερικό σωλήνα.	LDPE, HDPE, PMMA, PVC, PP, EVA
Oliveri Conti et al. (2020)	Ιταλία	Μήλα, αχλάδια, μπρόκολο, μαρούλι, καρότα και άλλα φυτικά τρόφιμα	Προετοιμασία και εξέταση εδώδιμου φυτικού ιστού	SEM-EDX	Διάμεσες τιμές περίπου 52.050-223.000 particles/g ανάλογα με το τρόφιμο. Τα αποτελέσματα χρειάζονται επιφύλαξη επειδή δεν έγινε μοριακή ταυτοποίηση πολυμερών.	Δεν προσδιορίστηκαν αξιόπιστα συγκεκριμένοι τύποι πολυμερών.
Dessi et al. (2021)	Αυστραλία	13 τύποι εμπορικού ρυζιού	Σύγκριση άπλυτου/πλυμένου και συμβατικού/in	Double-shot Py-GC/MS	Συμβατικό άπλυτο: 67 ± 26 μg/g, πλυμένο: 52 ± 5 μg/g.	PE ~95% της μάζας, PP ~4%, PET ~1%

Μελέτη	Χώρα	Δείγμα	Μεθοδολογία	Μέθοδος ανάλυσης	Κύρια αποτελέσματα	Πολυμερή που εντοπίστηκαν
			stant ρυζιού		Instant άπλυτο: 283 ± 50 µg/g, πλυμένο: 167 ± 41 µg/g.	
Amelba et al. (2022)	-	Δύο δείγματα μαγειρεμένου ρυζιού	Πέψη με 10% KOH και διήθηση	Στερεομικροσκοπία και FTIR	Εντοπίστηκε ένα σωματίδιο σε κάθε δείγμα. Πρόκειται για πολύ μικρή πιλοτική μελέτη.	PVC και PE
Aysha et al. (2024)	Μπανγκλαντές	Επώνυμο και μη επώνυμο ραφινρισμένο αλεύρι σίτου	Διαχωρισμός με ZnCl ₂ , πέψη H ₂ O ₂ και διήθηση	Στερεομικροσκοπία, SEM και ATR-FTIR	4578 ± 1984 MPs/kg συνολικά. Επώνυμο: 2747 ± 654 MPs/kg; μη επώνυμο: 6409 ± 625 MPs/kg. Οι ίνες αποτελούσαν περίπου 98,8%.	ABS, EVA, HDPE, LDPE, nylon, PC, PETE, PMMA, PP, PS κ.ά.
Capla et al. (2026)	-	Λευκή ραφινρισμένη ζάχαρη	Διάλυση 1 kg ζάχαρης σε νερό και διήθηση	Nile Red/φθορισμός και ATR-FTIR	Μέση αφθονία 4,7 ± 2,6 MPs/kg, με εύρος 1-9 MPs/kg. Κυριάρχησαν τα fragments.	PP ~40%, PE ~40%, PE/PP ~20%
Fadda et al. (2026)	Ιταλία	6 εμπορικές λευκές ζάχαρες	Διάλυση 5 g ζάχαρης σε υπερκαθαρό νερό και διήθηση χωρίς χημική πέψη	µ-FTIR για ≥50 µm και µ-Raman για 5-50 µm	Με µ-FTIR περίπου 10-35 MPs/5 g. Με µ-Raman εκτιμήθηκαν περίπου 1250-2000 MPs/5 g, με πλειονότητα <20 µm.	Κυρίως PVC, και επίσης PE, PS, PP, PET
Bilecen & Altunışık (2026)	Τουρκία	15 δείγματα βιομηχανικού και ειδικού/παραδοσιακού μελιού	Απομόνωση σωματιδίων και διήθηση	Στερεομικροσκοπία και FTIR	0-170 MPs/kg, μέση τιμή περίπου 79,3 ± 13 MPs/kg.	EVA, PET, PE, HFFR, PA
Iñiguez et al. (2017)	Ισπανία	21 εμπορικά δείγματα επιτραπέζιου αλατιού	Διάλυση αλατιού και διήθηση σε φίλτρο 5 µm	Μικροσκοπία και FTIR	Θαλασσινό αλάτι: 50-280 particles/kg. Αλάτι πηγαδιού: 115-185 particles/kg.	Κυρίως PET και μικρότερα ποσοστά PP και PE
Karami et al. (2017)	8 χώρες	17 εμπορικές μάρκες αλατιού	Διάλυση και διήθηση μέσω φίλτρου 149 µm	Μικροσκοπία και micro-Raman	0-10 επιβεβαιωμένα MPs/kg. Μέσο μέγεθος περίπου 515 µm.	PP ~40%, PE ~33%, PET, PS, PAN, nylon
Kosuth et al. (2018)	14 χώρες / διεθνές	Νερό βρύσης, μπύρα και χρώση	Διήθηση, χρώση με	Μικροσκοπία	Νερό βρύσης: μέση τιμή 5,45	Δεν έγινε επαρκής

Μελέτη	Χώρα	Δείγμα	Μεθοδολογία	Μέθοδος ανάλυσης	Κύρια αποτελέσματα	Πολυμερή που εντοπίστηκαν
		δείγμα επιτραπέζιο αλάτι	Rose Bengal και οπτική καταμέτρηση		particles/L. Μπύρα: 4,05/L. Αλάτι: περίπου 212/kg.	φασματοσκοπική ταυτοποίηση; αναφέρονται κυρίως ανθρωπογενείς ίνες
Mintenig et al. (2019)	Γερμανία	Υπόγεια και πόσιμα νερά	Μεγάλης κλίμακας διήθηση περίπου 40 m ³ νερού και αυστηρός έλεγχος blanks	μ-FTIR imaging	0-7 particles/m ³ , συνολικός μέσος όρος περίπου 0,7/m ³ . Τα σωματίδια ήταν κυρίως 50-150 μm.	PEST, PVC, PA, epoxy, PE
Schyman ski et al. (2018)	Γερμανία	38 εμφιαλωμένα μεταλλικά νερά σε πλαστικό, γυαλί και carton	Διήθηση σε φίλτρα 3 μm και ανάλυση των σωματιδίων	μ-Raman	Single-use πλαστικό: 14 ± 14/L; returnable πλαστικό: 118 ± 88/L; γυαλί: περίπου 50 ± 52/L; carton: 11 ± 8/L.	Κυρίως polyester/PE ST, επίσης PP, PE και PA
Shruti et al. (2020)	Μεξικό	57 δείγματα αναψυκτικών, energy drinks, cold tea και μπύρας	Διήθηση σε φίλτρα 11 μm και οπτικός χαρακτηρισμός	Μικροσκοπία, SEM-EDX και micro-Raman	Συνολικό εύρος ND-28 particles/L. Οι υψηλότερες τιμές καταγράφηκαν στη μπύρα.	PA, PEA, ABS, PET
Basaran et al. (2024)	Τουρκία	47 δείγματα νερού και διαφορετικών ποτών	Διήθηση σε GF/C 1,2 μm και έλεγχος επιμόλυνσης	Μικροσκοπία και ATR-FTIR	MPs σε 9/47 δείγματα. Εύρος ND-65 particles/L και συνολικός μέσος 2,24 ± 9,86 particles/L.	EVA ~66%, PET ~28%, PE ~4%, PAN και nylon
Pham et al. (2023)	Νότια Κορέα	90 προϊόντα: αλάτι, soy sauce, fish sauce, αλατισμένα θαλασσινά, φύκια, μέλι, μπύρα και ποτά	Προσαρμοσμένη προεπεξεργασία ανά κατηγορία τροφίμου, διήθηση σε φίλτρα 20 μm και αυστηρό QA/QC	FTIR microscopy / mapping	Διάμεσες συγκεντρώσεις: μέλι 0,18 p/g, αλάτι 0,22 p/g, fish sauce 0,60 p/g, φύκια 4,00 p/g, αλατισμένα θαλασσινά 5,30 p/g, ποτά 1,75 p/L, μπύρα 9 p/L και soy sauce 30 p/L. Παράλληλα εκτιμήθηκε ανθρώπινη διατροφική έκθεση.	Κυρίως PE, PP και PET
Süssman	Γερμανία	130 εμπορικά	Ομογενοποίηση	Fluorescence	Υποπτα	PS, PET, PP

Μελέτη	Χώρα	Δείγμα	Μεθοδολογία	Μέθοδος ανάλυσης	Κύρια αποτελέσματα	Πολυμερή που εντοπίστηκαν
n et al. (2026)		προϊόντα θαλασσινών από τη γερμανική αγορά: νωπά, κατεψυγμένα, καπνιστά, κονσερβοποιημένα και μαριναρισμένα ψάρια, καθώς και μαλάκια και καρκινοειδή	η βρώσιμου ιστού, ενζυμική-αλκαλική πέψη με πεψίνη και KOH, διήθηση υπό πίεση, χρώση με Nile Red και εφαρμογή διαδικαστικών blanks/ελέγχων επιμόλυνσης	imaging για σωματίδια $\geq 5 \mu\text{m}$ και Py-GC/MS για ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση των πολυμερών	πλαστικά σωματίδια ανιχνεύθηκαν στο 94% των δειγμάτων. Συγκεντρώσεις 0-183 MP/g υγρού βάρους, διάμεσος 0,9 MP/g. Τα κονσερβοποιημένα ψάρια εμφάνισαν την υψηλότερη διάμεση τιμή, 2,4 MP/g. Το 97% των σωματιδίων ήταν $<150 \mu\text{m}$. Εκτιμώμενη ετήσια πρόσληψη μέσω θαλασσινών περίπου 16.500 σωματίδια/άτομο/έτος	

Πίνακας 6 Αποτελέσματα ανασκόπησης

Σχήμα 4 Αποτελέσματα ανασκόπησης

4.2 Μικροπλαστικά σε τρόφιμα ζωικής προέλευσης

Η παρουσία μικροπλαστικών έχει καταγραφεί σε διαφορετικές κατηγορίες τροφίμων ζωικής προέλευσης, με ιδιαίτερα συχνή μελέτη των θαλασσινών και των αλιευτικών προϊόντων. Στα δίθυρα μαλάκια, οι Catarino et al. (2018) ανέφεραν για τα *Mytilus edulis* περίπου $3,0 \pm 0,9$ παρατηρούμενα σωματίδια ανά γραμμάριο υγρού βάρους. Ωστόσο, η φασματοσκοπική επιβεβαίωση έδειξε ότι μόνο περίπου το ήμισυ των παρατηρούμενων ινών αντιστοιχούσε σε πλαστικό, γεγονός που αναδεικνύει τη σημασία της επιβεβαίωσης των ύποπτων σωματιδίων με κατάλληλες αναλυτικές τεχνικές. Μεταξύ των επιβεβαιωμένων πολυμερών αναφέρθηκαν κυρίως polyester/PET και poly(ether-urethane).

Σε επεξεργασμένα και συσκευασμένα προϊόντα ψαριού, οι Duman et al. (2023) εξέτασαν εδώδιμα τμήματα επτά διαφορετικών προϊόντων, όπως τόνο και σκουμπρί κονσέρβας, σολομό,

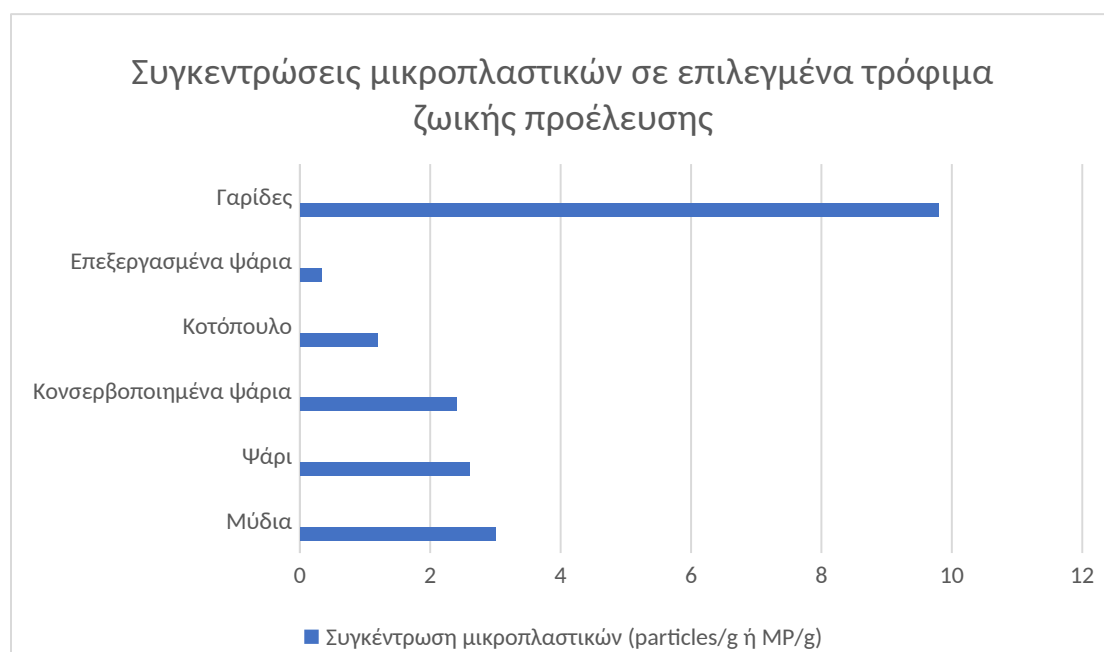
μπακαλιάρο και μαριναρισμένο γαύρο. Οι επιβεβαιωμένες συγκεντρώσεις μικροπλαστικών κυμάνθηκαν περίπου από $0,05 \pm 0,04$ έως $0,33 \pm 0,08$ MP/g, ενώ με μ -FTIR ταυτοποιήθηκαν πολυμερή όπως PET, PP και EVA.

Πρόσφατη μελέτη των Süssmann et al. (2026) διερεύνησε την παρουσία μικροπλαστικών σε 130 εμπορικά προϊόντα θαλασσινών από τη γερμανική αγορά, περιλαμβάνοντας νωπά, κατεψυγμένα, καπνιστά, κονσερβοποιημένα και μαριναρισμένα προϊόντα, καθώς και μαλάκια και καρκινοειδή. Με τη χρήση φθορίζουσας απεικόνισης για σωματίδια ≥ 5 μm , μικροπλαστικά ανιχνεύθηκαν στο 94% των δειγμάτων, με συγκεντρώσεις από 0 έως 183 MP/g υγρού βάρους και συνολική διάμεσο 0,9 MP/g. Τα κονσερβοποιημένα ψάρια παρουσίασαν την υψηλότερη διάμεση συγκέντρωση μεταξύ των κατηγοριών προϊόντων, 2,4 MP/g, ενώ τα μαριναρισμένα ψάρια περίπου 0,1 MP/g. Επιπλέον, το 97% των καταγεγραμμένων σωματιδίων είχε μέγεθος μικρότερο από 150 μm . Η ανάλυση Py-GC/MS επιβεβαίωσε κυρίως PS, PET και PP στα δείγματα στα οποία η συγκέντρωση ήταν επαρκής για χημική ταυτοποίηση. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι, πέρα από την περιβαλλοντική έκθεση των θαλάσσιων οργανισμών, η επεξεργασία και τα υλικά επαφής με τα τρόφιμα μπορούν να επηρεάζουν την τελική επιβάρυνση των προϊόντων.

Αντίστοιχα, οι Habib et al. (2022) εντόπισαν μικροπλαστικά σε ψάρια και κοτόπουλο που είχαν αγοραστεί από αγορές και καταστήματα. Στα ψάρια οι συγκεντρώσεις κυμάνθηκαν περίπου από $0,014 \pm 0,024$ έως $2,60 \pm 2,80$ σωματίδια/g, ενώ στα δείγματα κοτόπουλου από $0,03 \pm 0,04$ έως $1,19 \pm 0,72$ σωματίδια/g. Τα σωματίδια ταυτοποιήθηκαν ως πολυαιθυλένιο και οι συγγραφείς συνέδεσαν την επιμόλυνση με τις πλαστικές επιφάνειες κοπής που χρησιμοποιήθηκαν κατά την προετοιμασία των τροφίμων. Επιπλέον, το πλύσιμο των ψαριών μείωσε σημαντικά την παρουσία μικροπλαστικών, χωρίς όμως να την εξαλείψει πλήρως.

Η επίδραση της συσκευασίας και της αποθήκευσης εξετάστηκε επίσης σε φιλέτα ιριδίζουσας πέστροφας. Οι Alak et al. (2021) ανέφεραν ότι η παρουσία μικροπλαστικών διαφοροποιήθηκε ανάλογα με τον τύπο συσκευασίας και τη θερμοκρασία αποθήκευσης. Στους $+4$ $^{\circ}\text{C}$ καταγράφηκαν περίπου 12-16 MPs ανά 10 g μυϊκού ιστού και στους -20 $^{\circ}\text{C}$ περίπου 10-17 MPs ανά 10 g, με τη μεγαλύτερη παρουσία στην ομάδα που είχε συσκευαστεί σε δίσκο πολυστυρενίου και πλαστική μεμβράνη. Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι η μετασυλλεκτική διαχείριση και η συσκευασία μπορούν να συμβάλλουν στην τελική επιβάρυνση του τροφίμου.

Στα καρκινοειδή, οι Mercy και Alam (2024) μελέτησαν επτά είδη γαρίδας από τον Κόλπο της Βεγγάλης και διαπίστωσαν την παρουσία μικροπλαστικών τόσο στον γαστρεντερικό σωλήνα όσο και στον μυϊκό ιστό. Στο εδώδιμο μυϊκό τμήμα οι συγκεντρώσεις κυμάνθηκαν περίπου από 1,4 έως 9,8 MPs/g, ανάλογα με το είδος, ενώ οι τιμές στον γαστρεντερικό σωλήνα ήταν σημαντικά υψηλότερες. Με FTIR ταυτοποιήθηκαν LDPE, HDPE, PMMA, PVC, PP και EVA.



Σχήμα 5 Συγκεντρώσεις μικροπλαστικών σε επιλεγμένα τρόφιμα ζωικής προέλευσης

Μικροπλαστικά έχουν καταγραφεί επίσης σε γάλα και αυγά. Οι Da Costa Filho et al. (2021) ανέφεραν σημαντικές διαφορές μεταξύ διαφορετικών τύπων γάλακτος, με τιμές περίπου 172-1004 MPs/100 mL ανάλογα με το προϊόν. Με μ -Raman ταυτοποιήθηκαν πολυμερή όπως PE, polyester, PP, PTFE και PS, ενώ μεγάλο ποσοστό των σωματιδίων ήταν πολύ μικρού μεγέθους.

Στα αυγά, οι Rayhan et al. (2026) ανέφεραν μικροπλαστικά σε όλες τις κατηγορίες που εξετάστηκαν, με μέσες τιμές περίπου 7,67-13,47 MPs ανά αυγό και 0,19-0,26 MPs/g. Οι ίνες ήταν η κυρίαρχη μορφή, το μέγεθος των σωματιδίων κυμαινόταν περίπου από 18 έως 69 μ m και το PE ήταν το κυρίαρχο πολυμερές. Παρόμοια, η Liu et al. (2022) ανέφερε μέση αφθονία περίπου $11,67 \pm 3,98$ σωματιδίων ανά αυγό, με μεγαλύτερη παρουσία στον κρόκο και κυρίαρχο πολυμερές το PE.

Τρόφιμο / κατηγορία	Συγκέντρωση	Μονάδα
Γάλα	172-1004	MPs/100 mL
Αυγά	$11,67 \pm 3,98$	MPs/αυγό
Αυγά -layer	$13,47 \pm 3,70$	MPs/αυγό
Αυγά -broiler	$11,87 \pm 2,38$	MPs/αυγό

Τρόφιμο / κατηγορία	Συγκέντρωση	Μονάδα
Αυγά -duck	10,06 ± 3,67	MPs/αυγό
Αυγά -home hen	7,67 ± 2,72	MPs/αυγό

Πίνακας 7: Συγκεντρώσεις μικροπλαστικών σε γάλα και αυγά

4.3 Μικροπλαστικά σε τρόφιμα φυτικής προέλευσης και επεξεργασμένα προϊόντα

Η παρουσία μικροπλαστικών έχει καταγραφεί και σε τρόφιμα φυτικής προέλευσης, καθώς και σε επεξεργασμένα προϊόντα που καταναλώνονται ευρέως. Οι διαθέσιμες μελέτες αφορούν, μεταξύ άλλων, φρούτα και λαχανικά, ρύζι, αλεύρι, ζάχαρη, μέλι και επιτραπέζιο αλάτι. Τα επίπεδα που αναφέρονται παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση, η οποία σχετίζεται τόσο με το είδος του τροφίμου όσο και με τις διαφορετικές μεθόδους απομόνωσης και ταυτοποίησης των σωματιδίων.

Στα φρούτα και τα λαχανικά, οι Oliveri Conti et al. (2020) ανέφεραν υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων σε μήλα, αχλάδια, μπρόκολο, μαρούλι και καρότα. Οι διάμεσες τιμές κυμάνθηκαν περίπου από 52.050 particles/g στο μαρούλι έως 223.000 particles/g στο μήλο. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά πρέπει να ερμηνεύονται με προσοχή, καθώς η μελέτη βασίστηκε σε SEM-EDX και δεν πραγματοποιήθηκε μοριακή ταυτοποίηση συγκεκριμένων πολυμερών.

Στο ρύζι, οι Dessì et al. (2021) χρησιμοποίησαν Py-GC/MS και εξέφρασαν τα αποτελέσματα ως μάζα πλαστικού ανά γραμμάριο ξηρού βάρους. Στο συμβατικό άπλυτο ρύζι καταγράφηκαν κατά μέσο όρο 67 ± 26 μg/g, ενώ μετά το πλύσιμο η τιμή μειώθηκε σε 52 ± 5 μg/g. Στο instant ρύζι οι συγκεντρώσεις ήταν υψηλότερες, με 283 ± 50 μg/g πριν από το πλύσιμο και 167 ± 41 μg/g μετά. Το PE αντιπροσώπευε περίπου το 95% της συνολικής μάζας των πλαστικών, ενώ σε μικρότερα ποσοστά εντοπίστηκαν PP και PET. Τα ευρήματα δείχνουν ότι τόσο η επεξεργασία όσο και η προετοιμασία πριν από την κατανάλωση μπορούν να επηρεάζουν την τελική επιβάρυνση.

Μια πολύ μικρότερη πιλοτική μελέτη των Amelba et al. (2022) εξέτασε δύο δείγματα μαγειρεμένου ρυζιού και εντόπισε ένα πλαστικό σωματίδιο σε κάθε δείγμα, με ταυτοποίηση PVC και PE.

Στο αλεύρι σίτου, οι Aysha et al. (2024) ανέφεραν μέση συγκέντρωση 4.578 ± 1.984 MPs/kg. Τα επώνυμα άλευρα παρουσίασαν χαμηλότερη μέση συγκέντρωση, 2.747 ± 654 MPs/kg, σε σύγκριση με τα μη επώνυμα, στα οποία καταγράφηκαν 6.409 ± 625 MPs/kg. Οι ίνες αποτελούσαν περίπου το 98,8% των σωματιδίων, ενώ με ATR-FTIR αναγνωρίστηκαν πολυμερή όπως HDPE, LDPE, PP, PS, PETE, EVA και nylon. Η σημαντικά υψηλότερη επιβάρυνση στα μη επώνυμα άλευρα αποδόθηκε από τους συγγραφείς σε πιθανές διαφορές στην παραγωγή, την αποθήκευση, τον χειρισμό και τη συσκευασία.

Η παρουσία μικροπλαστικών έχει εξεταστεί επίσης σε ζάχαρη. Οι Carla et al. (2026) ανέφεραν μέση συγκέντρωση περίπου $4,7 \pm 2,6$ MPs/kg σε λευκή ραφινάρισμα ζάχαρη, με εύρος 1-9 MPs/kg. Τα fragments ήταν η κυρίαρχη μορφή και τα βασικά πολυμερή ήταν PE και PP. Αντίθετα, οι Fadda et al. (2026), χρησιμοποιώντας συνδυασμό μ-FTIR και μ-Raman, κατέγραψαν πολύ υψηλότερες τιμές όταν συμπεριλήφθηκαν μικρότερα σωματίδια. Με μ-FTIR αναφέρθηκαν περίπου 10-35 MPs ανά 5 g ζάχαρης, ενώ με μ-Raman εκτιμήθηκαν περίπου 1.250-2.000 MPs/5 g, με την πλειονότητα των σωματιδίων να βρίσκεται κάτω από 20 μm. Το PVC ήταν το κυρίαρχο πολυμερές, ενώ εντοπίστηκαν επίσης PE, PS, PP και PET.

Στο μέλι, οι Bilecen και Altunışık (2026) ανέφεραν συγκεντρώσεις από 0 έως 170 MPs/kg, με μέση τιμή περίπου $79,3 \pm 13$ MPs/kg. Τα ειδικού τύπου ή παραδοσιακά δείγματα παρουσίασαν υψηλότερες τιμές από τα βιομηχανικά, ενώ κυρίαρχα πολυμερή ήταν EVA, PET και PE. Παρόμοια, οι Pham et al. (2023) κατέγραψαν διάμεση συγκέντρωση 0,18 p/g στο μέλι, σε μια ευρύτερη μελέτη 90 τροφίμων και ποτών.

Στο επιτραπέζιο αλάτι, οι Iñiguez et al. (2017) ανέφεραν 50-280 particles/kg σε θαλασσινό αλάτι και 115-185 particles/kg σε αλάτι πηγαδιού. Στα σωματίδια που αναλύθηκαν φασματοσκοπικά κυριαρχούσε το PET, ενώ εντοπίστηκαν επίσης PP και PE. Οι Karami et al. (2017), εξετάζοντας 17 εμπορικές μάρκες από οκτώ χώρες, ανέφεραν 0-10 φασματοσκοπικά επιβεβαιωμένα MPs/kg, με κυρίαρχα πολυμερή το PP και το PE. Η σημαντικά χαμηλότερη συγκέντρωση πιθανότατα σχετίζεται και με τη χρήση φίλτρου 149 μm, το οποίο δεν συγκρατεί τα μικρότερα σωματίδια.

Τέλος, η μελέτη των Pham et al. (2023) διεύρυνε την εικόνα των επεξεργασμένων τροφίμων, καθώς εξέτασε μεταξύ άλλων αλάτι, fish sauce, soy sauce, αλατισμένα θαλασσινά, φύκια και μέλι. Οι διάμεσες συγκεντρώσεις ήταν 0,22 p/g στο αλάτι, 0,60 p/g στο fish sauce, 4,00 p/g στα φύκια και 5,30 p/g στα αλατισμένα θαλασσινά. Επιπλέον, το πλύσιμο των αποξηραμένων

φυκιών μείωσε σημαντικά την παρουσία μικροπλαστικών, γεγονός που δείχνει ότι η προετοιμασία πριν από την κατανάλωση μπορεί να μεταβάλλει την τελική διατροφική έκθεση.

4.4 Μικροπλαστικά σε ποτά και εμφιαλωμένο νερό

Η παρουσία μικροπλαστικών έχει καταγραφεί σε διαφορετικές κατηγορίες πόσιμου νερού και ποτών, με σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάλογα με τον τύπο του προϊόντος, τη συσκευασία, τη διαδικασία παραγωγής και τη μέθοδο ανάλυσης.

Στο υπόγειο και πόσιμο νερό, οι Mintenig et al. (2019) χρησιμοποίησαν μ-FTIR imaging και ανέφεραν πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις, από 0 έως 7 σωματίδια/m³, με συνολικό μέσο όρο περίπου 0,7 σωματίδια/m³. Τα περισσότερα σωματίδια είχαν μέγεθος 50-150 μm, ενώ μεταξύ των πολυμερών αναφέρθηκαν κυρίως polyester, PVC, PA, epoxy και PE.

Στο εμφιαλωμένο μεταλλικό νερό, οι Schymanski et al. (2018) εξέτασαν 38 δείγματα σε διαφορετικά είδη συσκευασίας. Οι μέσες συγκεντρώσεις ήταν περίπου 14 ± 14 particles/L σε πλαστικές φιάλες μιας χρήσης, 118 ± 88 particles/L σε επαναχρησιμοποιούμενες πλαστικές φιάλες, 50 ± 52 particles/L σε γυάλινες φιάλες και 11 ± 8 particles/L σε χάρτινες συσκευασίες. Περίπου το 80% των σωματιδίων ήταν μικρότερο από 20 μm. Στις επαναχρησιμοποιούμενες πλαστικές φιάλες κυριαρχούσε το polyester, ενώ εντοπίστηκαν επίσης PP, PE και PA. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η συσκευασία μπορεί να επηρεάζει την τελική συγκέντρωση, χωρίς όμως να αποτελεί τη μοναδική πιθανή πηγή επιμόλυνσης.

Οι Kosuth et al. (2018) εξέτασαν νερό βρύσης, μύρα και επιτραπέζιο αλάτι από διαφορετικές χώρες. Στο νερό βρύσης ανέφεραν μέση συγκέντρωση περίπου 5,45 particles/L, ενώ στη μύρα περίπου 4,05 particles/L. Ωστόσο, η συγκεκριμένη μελέτη βασίστηκε κυρίως σε οπτική αναγνώριση ανθρωπογενών σωματιδίων και δεν πραγματοποιήθηκε πλήρης φασματοσκοπική επιβεβαίωση όλων των σωματιδίων ως πλαστικών.

Σε αναψυκτικά και άλλα εμπορικά ποτά, οι Shruti et al. (2020) εξέτασαν 57 δείγματα που περιλάμβαναν αναψυκτικά, ενεργειακά ποτά, κρύο τσάι και μύρα. Τα μικροπλαστικά ανιχνεύθηκαν στα περισσότερα δείγματα και οι συγκεντρώσεις κυμάνθηκαν συνολικά από μη ανιχνεύσιμες τιμές έως $28 \pm 5,29$ particles/L, με τις υψηλότερες τιμές να καταγράφονται στη

μπύρα. Τα κυριότερα πολυμερή που αναγνωρίστηκαν με micro-Raman ήταν PA, PEA, ABS και PET.

Παρόμοια, οι Basaran et al. (2024) εξέτασαν 47 δείγματα διαφορετικών ποτών, μεταξύ των οποίων νερό, μεταλλικό νερό, ανθρακούχα αναψυκτικά, κρύο τσάι και παραδοσιακά ποτά. Μικροπλαστικά εντοπίστηκαν σε 9 από τα 47 δείγματα, με συνολικό εύρος από μη ανιχνεύσιμες τιμές έως 65 particles/L και μέση συγκέντρωση $2,24 \pm 9,86$ particles/L. Το υψηλότερο μέσο επίπεδο καταγράφηκε σε μεταλλικά νερά σε γυάλινη συσκευασία, γεγονός που δείχνει ότι η επιμόλυνση δεν μπορεί να αποδοθεί αποκλειστικά στο πλαστικό της συσκευασίας. Τα κυρίαρχα πολυμερή ήταν EVA και PET, ενώ σε μικρότερα ποσοστά εντοπίστηκαν PE, PAN και nylon.

Η μελέτη των Pham et al. (2023) προσφέρει ευρύτερη εικόνα της έκθεσης μέσω ποτών, καθώς εξέτασε 90 προϊόντα συνολικά, μεταξύ των οποίων μπύρα, αναψυκτικά, fruit drinks, bottled tea και soy sauce. Οι διάμεσες συγκεντρώσεις ήταν 1,75 particles/L στα επεξεργασμένα ποτά, 9 particles/L στη μπύρα και 30 particles/L στη σάλτσα σόγιας. Στα επιμέρους ποτά, τα fruit drinks παρουσίασαν υψηλότερες τιμές από τα αναψυκτικά και το εμφιαλωμένο τσάι. Τα κυρίαρχα πολυμερή ήταν κυρίως PE, PP και PET.

4.5 Πηγές επιμόλυνσης των τροφίμων και ποτών

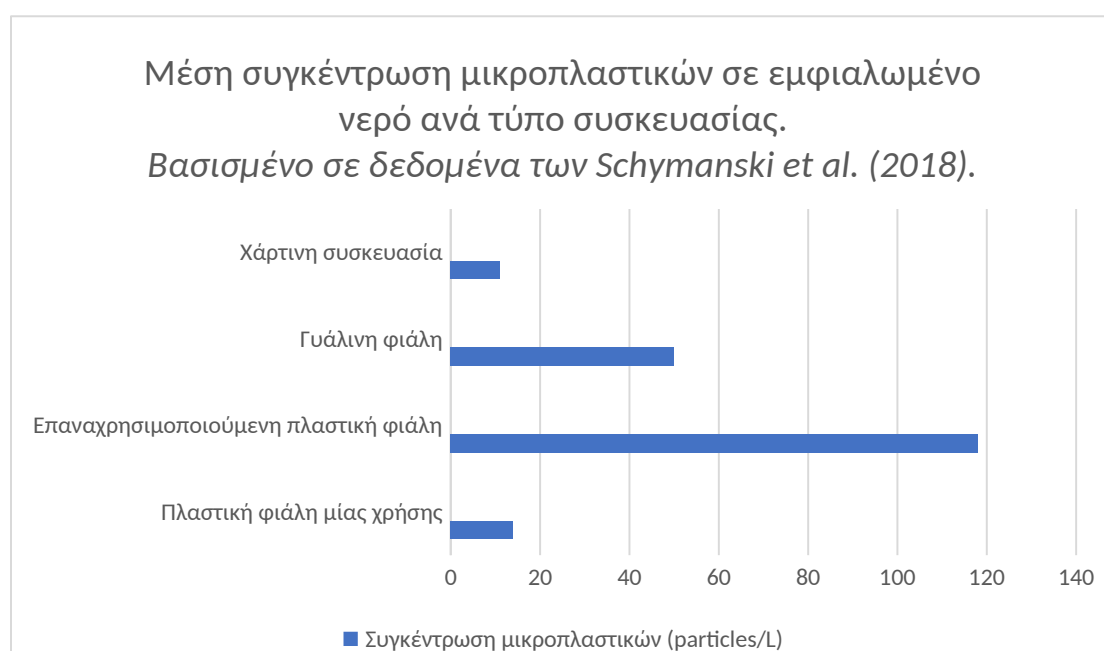
Τα ευρήματα της ανασκόπησης δείχνουν ότι η παρουσία μικροπλαστικών στα τρόφιμα και τα ποτά δεν μπορεί να αποδοθεί σε μία μόνο πηγή. Αντίθετα, φαίνεται να σχετίζεται με διαφορετικά στάδια της παραγωγής και της διαχείρισης των τροφίμων, όπως η περιβαλλοντική έκθεση, η επεξεργασία, η επαφή με πλαστικές επιφάνειες, η συσκευασία, η αποθήκευση και η προετοιμασία πριν από την κατανάλωση.

Η επίδραση των πλαστικών επιφανειών επαφής φαίνεται ιδιαίτερα καθαρά στη μελέτη των Habib et al. (2022), στην οποία μικροπλαστικά από πολυαιθυλένιο εντοπίστηκαν σε κοτόπουλο και ψάρια που είχαν τεμαχιστεί πάνω σε πλαστικές επιφάνειες κοπής. Η αντιστοιχία του πολυμερούς και του χρώματος των σωματιδίων με το υλικό των επιφανειών, σε συνδυασμό με τα δείγματα ελέγχου, υποστήριξε τη σύνδεση μεταξύ της διαδικασίας τεμαχισμού και της επιμόλυνσης του τροφίμου.

Η συσκευασία και οι συνθήκες αποθήκευσης έχουν επίσης εξεταστεί ως πιθανοί παράγοντες επιμόλυνσης. Οι Alak et al. (2021) παρατήρησαν διαφορές στην παρουσία πλαστικών

σωματιδίων σε φιλέτα πέστροφας ανάλογα με το υλικό συσκευασίας και τη θερμοκρασία αποθήκευσης. Τα υψηλότερα επίπεδα καταγράφηκαν σε ορισμένες από τις ομάδες που είχαν έρθει σε επαφή με πλαστικές συσκευασίες, γεγονός που υποδηλώνει πιθανή μεταφορά σωματιδίων κατά την αποθήκευση.

Παρόμοια εικόνα παρατηρείται και στο εμφιαλωμένο νερό. Οι Schymanski et al. (2018) κατέγραψαν διαφορετικές συγκεντρώσεις μικροπλαστικών μεταξύ νερών που διατίθεντο σε πλαστικές, γυάλινες και χάρτινες συσκευασίες, με ιδιαίτερα αυξημένες τιμές στις επαναχρησιμοποιούμενες πλαστικές φιάλες. Η κυριαρχία polyester/PEST σε αυτές τις φιάλες υποδηλώνει πιθανή συμβολή της ίδιας της συσκευασίας, χωρίς ωστόσο να αποκλείονται άλλες πηγές κατά την εμφιάλωση και την παραγωγική διαδικασία.



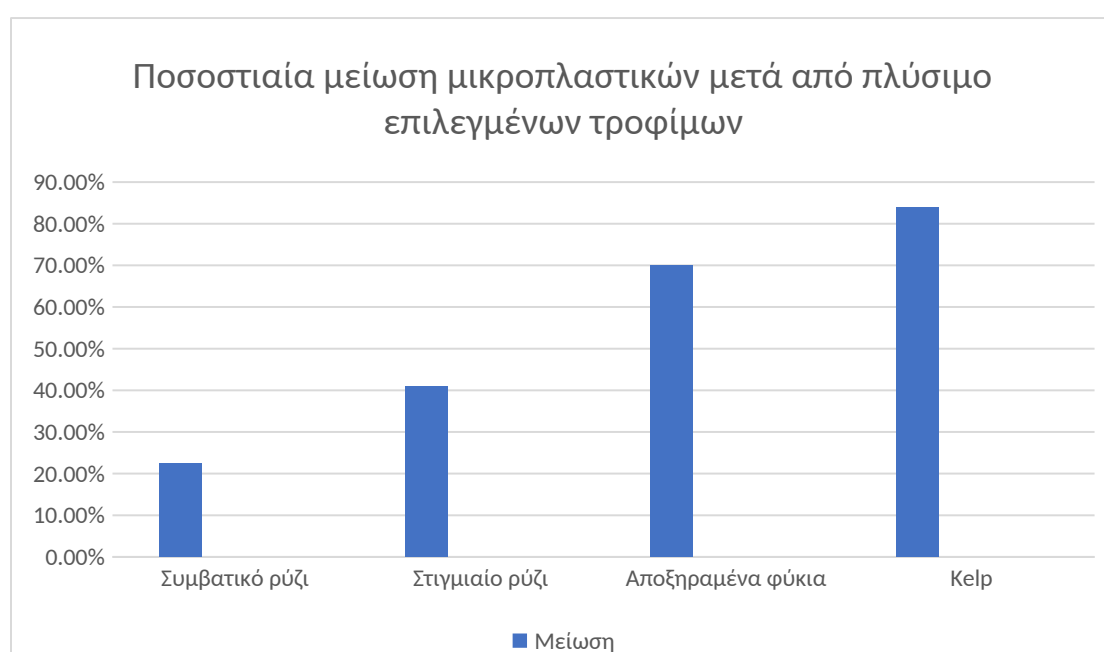
Σχήμα 3 Μέση συγκέντρωση μικροπλαστικών σε εμφιαλωμένο νερό ανά τύπο συσκευασίας.

Η παραγωγική διαδικασία φαίνεται να αποτελεί επίσης σημαντικό σημείο πιθανής επιμόλυνσης. Στη μελέτη των Basaran et al. (2024), το EVA αποτέλεσε το κυρίαρχο πολυμερές στα ποτά, γεγονός που οι συγγραφείς συνέδεσαν πιθανώς με εξοπλισμό και σωληνώσεις που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή. Παράλληλα, η ανίχνευση μικροπλαστικών και σε προϊόντα που διατίθεντο σε γυάλινη συσκευασία δείχνει ότι η τελική επιβάρυνση δεν μπορεί να αποδοθεί αποκλειστικά στο υλικό της συσκευασίας.

Η επεξεργασία των τροφίμων μπορεί να επηρεάζει επίσης τα επίπεδα μικροπλαστικών. Οι Dessì et al. (2021) κατέγραψαν σημαντικά υψηλότερες συγκεντρώσεις πλαστικού στο instant ρύζι σε σχέση με το συμβατικό, γεγονός που υποδηλώνει ότι τα πρόσθετα στάδια βιομηχανικής

επεξεργασίας μπορεί να αυξάνουν την πιθανότητα επιμόλυνσης. Παράλληλα, το πλύσιμο του ρυζιού μείωσε τη συνολική μάζα πλαστικού, χωρίς όμως να την εξαλείψει.

Αντίστοιχη μείωση μετά από πλύσιμο καταγράφηκε και σε άλλα τρόφιμα. Στη μελέτη των Pham et al. (2023), το επαναλαμβανόμενο πλύσιμο αποξηραμένων φυκιών μείωσε σημαντικά τον αριθμό των μικροπλαστικών, κατά περίπου 70% σε ένα προϊόν και 84% σε άλλο. Οι Habib et al. (2022) ανέφεραν επίσης σημαντική μείωση της επιβάρυνσης μετά το πλύσιμο ψαριού που είχε έρθει σε επαφή με πλαστική επιφάνεια κοπής. Τα ευρήματα αυτά δείχνουν ότι μέρος της επιμόλυνσης μπορεί να βρίσκεται στην επιφάνεια των τροφίμων και να απομακρύνεται πριν από την κατανάλωση.



Σχήμα 7: Ποσοστιαία μείωση μικροπλαστικών μετά από πλύσιμο επιλεγμένων τροφίμων

Στα επεξεργασμένα φυτικά προϊόντα, όπως αλεύρι, ζάχαρη και μέλι, οι πιθανές πηγές είναι δυσκολότερο να απομονωθούν. Οι Aysha et al. (2024) κατέγραψαν υψηλότερες συγκεντρώσεις στα μη επώνυμα άλευρα σε σύγκριση με τα επώνυμα προϊόντα και πρότειναν ως πιθανούς παράγοντες τον χειρισμό, την παραγωγή, την αποθήκευση και τη συσκευασία. Αντίστοιχα, στα δείγματα ζάχαρης και μελιού έχουν προταθεί ως πιθανές πηγές τα στάδια επεξεργασίας και συσκευασίας, χωρίς όμως να μπορεί να αποδειχθεί άμεση αιτιώδης σχέση μόνο από την παρουσία συγκεκριμένων πολυμερών.

4.6 Διατροφική έκθεση και πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία

Η διατροφική πρόσληψη αποτελεί μία από τις κύριες οδούς έκθεσης του ανθρώπου στα μικροπλαστικά. Η παρουσία τους σε τρόφιμα και ποτά έχει οδηγήσει σε προσπάθειες εκτίμησης της ποσότητας που μπορεί να προσλαμβάνεται μέσω της καθημερινής διατροφής, ενώ παράλληλα νεότερες μελέτες έχουν εξετάσει την παρουσία μικροπλαστικών σε ανθρώπινα βιολογικά δείγματα και πιθανές συσχετίσεις με δείκτες υγείας. Οι δύο αυτές προσεγγίσεις είναι συμπληρωματικές, καθώς η εκτιμώμενη πρόσληψη αποτυπώνει το πιθανό επίπεδο έκθεσης, ενώ οι ανθρώπινες μελέτες παρέχουν πληροφορίες για την πραγματική παρουσία μικροπλαστικών στον οργανισμό και για πιθανές βιολογικές επιδράσεις.

Στη μελέτη των Pham et al. (2023), η συνολική έκθεση του κορεατικού πληθυσμού μέσω διαφορετικών τροφίμων και ποτών εκτιμήθηκε σε περίπου 219,8 μικροπλαστικά σωματίδια ανά εβδομάδα με ντετερμινιστική προσέγγιση και σε 385,8 σωματίδια ανά εβδομάδα με προσομοίωση Monte Carlo. Σε όρους μάζας, οι αντίστοιχες εκτιμήσεις ήταν $1,4 \times 10^{-4}$ και $3,1 \times 10^{-4}$ g ανά εβδομάδα, ενώ στο 95ο εκατοστημόριο η εκτιμώμενη πρόσληψη έφθασε περίπου τα 1.073,4 σωματίδια και τα 962,6 μ g ανά εβδομάδα.

Αντίστοιχα, οι Süssmann et al. (2026), με βάση την ανάλυση 130 εμπορικών προϊόντων θαλασσινών και τα δεδομένα κατανάλωσης στη Γερμανία, εκτίμησαν διάμεση ετήσια πρόσληψη περίπου 16.500 μικροπλαστικών σωματιδίων ανά άτομο και περίπου 2,0 mg πλαστικού ανά άτομο ετησίως. Η εκτίμηση παρουσίασε ιδιαίτερα μεγάλο εύρος μεταξύ των διαφορετικών προϊόντων, γεγονός που αντανakλά την υψηλή ετερογένεια των συγκεντρώσεων στα θαλασσινά.

Αντίστοιχα, οι Basaran et al. (2024) εκτίμησαν τη διατροφική έκθεση μέσω διαφορετικών ποτών σε περίπου 1.907 σωματίδια ετησίως. Οι συγγραφείς κατέταξαν το συνολικό επίπεδο ρύπανσης ως μέτριο και τον μέσο δείκτη πολυμερικού κινδύνου ως χαμηλό, ενώ οι εκτιμήσεις διαφοροποιούνταν ανάλογα με την κατηγορία ποτού και την ηλικιακή ομάδα. Παρόμοιες προσεγγίσεις εφαρμόστηκαν στα αυγά από τους Rayhan et al. (2026), όπου ο Polymer Hazard Index κυμάνθηκε από 8,67 έως 29,5, με μέση τιμή $17,63 \pm 4,26$, καθώς και στο μέλι από τους Bilecen και Altunışık (2026), όπου η εκτιμώμενη ημερήσια πρόσληψη κυμάνθηκε περίπου από 0,16 έως 0,38 MP/day.

Ιδιαίτερα υψηλή εκτιμώμενη πρόσληψη αναφέρθηκε από τους Aysha et al. (2024) μέσω κατανάλωσης αλευριού, με περίπου 246.375 σωματίδια ανά άτομο ετησίως. Παρότι οι συγγραφείς χαρακτηρίζουν το εύρημα ως δυνητικό ζήτημα δημόσιας υγείας, ο υπολογισμός αφορά αριθμό προσλαμβανόμενων σωματιδίων και όχι πραγματική βιολογική επίδραση.

Αντίστοιχα, στη μελέτη των Mercy και Alam (2024) χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης Margin of Exposure, με τιμές 71,42 για τις γυναίκες και 80,64 για τους άνδρες.

Πέρα από τις θεωρητικές εκτιμήσεις πρόσληψης, τα τελευταία χρόνια έχουν δημοσιευθεί πρωτογενείς μελέτες που εξετάζουν άμεσα μικροπλαστικά σε ανθρώπινα βιολογικά δείγματα και διερευνούν τη σχέση τους με διατροφικές συνήθειες ή δείκτες υγείας.

Οι Zhang et al. (2021) εξέτασαν 24 υγιείς νεαρούς άνδρες στην Κίνα και ανίχνευσαν μικροπλαστικά στα κόπρανα των 23 από τους 24 συμμετέχοντες (95,8%), σε συγκεντρώσεις 1-36 particles/g. Παρατηρήθηκε μέτρια θετική συσχέτιση μεταξύ κατανάλωσης συσκευασμένου νερού και ποτών και αφθονίας μικροπλαστικών στα κόπρανα ($r=0,445$, $p=0,029$), ενώ δεν παρατηρήθηκε αντίστοιχη συσχέτιση με νερό βρύσης, γαλακτοκομικά ή μπύρα. Το PP ήταν το συχνότερο πολυμερές και ανιχνεύθηκε στο 95,8% των δειγμάτων.

Σε παρεμβατική μελέτη 15 υγιών ενηλίκων, οι Hartmann et al. (2024) αξιολόγησαν διαφορετικά σενάρια διατροφής, βαθμού επεξεργασίας τροφίμων και χρήσης πλαστικών. Μικροπλαστικά ανιχνεύθηκαν και στα 60 δείγματα κοπράνων. Στο κλάσμα 50-500 μm οι συγκεντρώσεις κυμάνθηκαν από 0,26 έως 49 particles/g, με διάμεση τιμή έως 3,5 particles/g. Παρότι δεν παρατηρήθηκε σταθερή διαφορά μεταξύ του συνολικού σεναρίου χαμηλής και υψηλής χρήσης πλαστικού, η αυξημένη επεξεργασία τροφίμων και η χρήση πλαστικών στη συσκευασία και προετοιμασία συσχετίστηκαν στατιστικά με υψηλότερο φορτίο MPs. Η διαφορά στο φορτίο MPs μεταξύ των σεναρίων συσχετίστηκε με τη διαφορά στον βαθμό επεξεργασίας των τροφίμων με Spearman $r=0,686$, ενώ σε εναλλακτική ανάλυση ο συντελεστής έφθασε το $r=0,775$.

Αντίθετα, οι Refosco et al. (2025), σε πιλοτική μελέτη 18 ενηλίκων στη Νορβηγία, ανίχνευσαν MPs στο 94,4% των δειγμάτων κοπράνων, με διάμεση συγκέντρωση 6,5 MPs/g και εύρος 0-158 MPs/g. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ καταναλωτών και μη καταναλωτών θαλασσινών ($p=0,288$), ούτε σε σχέση με την κατανάλωση σοκολάτας ή chips. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι η ανθρώπινη έκθεση δεν μπορεί να αποδοθεί αποκλειστικά σε μεμονωμένες κατηγορίες τροφίμων και πιθανόν επηρεάζεται από πολλαπλές διατροφικές και μη διατροφικές πηγές.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η μελέτη των Yan et al. (2022), στην οποία συγκρίθηκαν 52 ασθενείς με φλεγμονώδη νόσο του εντέρου και 50 υγιείς μάρτυρες. Η μέση συγκέντρωση μικροπλαστικών ήταν 41,8 items/g ξηρού βάρους στους ασθενείς με IBD έναντι 28,0 items/g στους υγιείς, με στατιστικά σημαντική διαφορά. Επιπλέον, η συγκέντρωση των MPs παρουσίασε θετική

συσχέτιση με δείκτες βαρύτητας της νόσου, τόσο με τον Harvey-Bradshaw Index ($r=0,72$, $p=0,0007$) όσο και με το Mayo score ($r=0,71$, $p=0,0006$).

Η πιο άμεση σύνδεση μεταξύ διατροφής, μικροπλαστικών και ανθρώπινων βιοδεικτών παρατηρήθηκε στη μελέτη των Tsuji et al. (2026). Σε 22 υγιείς Ιάπωνες, η διάμεση συγκέντρωση μικροπλαστικών στα κόπρανα ήταν 7,20 particles/g. Η κατανάλωση θαλασσινών ήταν υψηλότερη στην ομάδα υψηλού φορτίου MPs και παρουσίασε θετική συσχέτιση με τον συνολικό αριθμό μικροπλαστικών ($r=0,646$, $p<0,005$). Ωστόσο, η διαφορά μεταξύ των ομάδων δεν παρέμεινε στατιστικά σημαντική μετά διόρθωση για πολλαπλές συγκρίσεις. Η υψηλή συγκέντρωση MPs συσχετίστηκε επίσης με αυξημένα επίπεδα της κυτταροκίνης TSLP, με προσαρμοσμένο OR 13,5 (95% CI: 0,99-183, $p=0,050$), ενώ δεν παρατηρήθηκε σημαντική σχέση με τους δείκτες οξειδωτικού στρες 8-OHdG και ox-LDL.

Ανθρώπινα δεδομένα βιοπαρακολούθησης δείχνουν επίσης ότι η παρουσία πλαστικών σωματιδίων δεν περιορίζεται στον γαστρεντερικό σωλήνα. Οι Leslie et al. (2022) ανίχνευσαν ποσοτικοποιήσιμες συγκεντρώσεις πλαστικών πολυμερών στο αίμα 17 από 22 υγιείς εθελοντές (77%), με μέση συνολική συγκέντρωση 1,6 $\mu\text{g/mL}$. Το PET ανιχνεύθηκε σε ποσοτικοποιήσιμα επίπεδα στο 50% των συμμετεχόντων, τα πολυμερή στυρενίου στο 36%, το PE στο 23% και το PMMA στο 5%.

Αντίστοιχα, οι Ragusa et al. (2021) εντόπισαν 12 μικροπλαστικά ή ανθρωπογενή σωματίδια σε τέσσερις από έξι ανθρώπινους πλακούντες. Πέντε εντοπίστηκαν στην εμβρυϊκή πλευρά, τέσσερα στη μητρική πλευρά και τρία στις χοριοαμνιακές μεμβράνες, με μέγεθος περίπου 5-10 μm . Τρία σωματίδια ταυτοποιήθηκαν ως πολυπροπυλένιο.

Μελέτη	Χώρα	Δείγμα	Μεθοδολογία	Μέθοδος ανάλυσης	Κύρια αποτελέσματα	Πολυμερή που εντοπίστηκαν
Zhang et al. (2021)	Κίνα	24 υγιείς άνδρες, 18-25 ετών; κόπρανα	7ήμερη καταγραφή υγρών και 3ήμερη καταγραφή τροφίμων; συσχέτιση διατροφικών συνηθειών με MPs	FTIR μικροφασματοσκοπία	MPs σε 23/24 (95,8%); 1-36 particles/g. Συσχέτιση συσκευασμένου νερού/ποτών με MPs: $r=0,445$, $p=0,029$	PP, PET, PS, PE, PVC, PC, PA, PU
Yan et al. (2022)	Κίνα	52 ασθενείς IBD και 50 υγιείς; κόπρανα	Σύγκριση IBD-controls και συσχέτιση με βαρύτητα νόσου και συνήθειες έκθεσης	micro-Raman spectroscopy	41,8 items/g στους IBD έναντι 28,0 items/g στους υγιείς. HBI: $r=0,72$, $p=0,0007$; Mayo: $r=0,71$, $p=0,0006$	Κυρίως PET και PA, επίσης PP, PE, PVC, PC

Μελέτη	Χώρα	Δείγμα	Μεθοδολογία	Μέθοδος ανάλυσης	Κύρια αποτελέσματα	Πολυμερή που εντοπίστηκαν
Hartmann et al. (2024)	Αυστρία	15 υγιείς ενήλικες; 60 δείγματα κοπράνων	Παρεμβατική μελέτη 16 ημερών με normal, low-plastic, reset και high-plastic/high-processing scenarios	FTIR, 5-5000 μm	MPs σε όλα τα δείγματα. 0,26-49 particles/g στο κλάσμα 50-500 μm . Συσχέτιση βαθμού επεξεργασίας με μεταβολή MPs: $r=0,686$, έως $r=0,775$ σε εναλλακτική ανάλυση	PE, PET, PP, PA, PS, PVC, PU, PMMA, POM
Refosco et al. (2025)	Νορβηγία	18 ενήλικες; 9 καταναλωτές και 9 μη καταναλωτές θάλασσινών	Έως 6 ημέρες διατροφικής καταγραφής και σύγκριση ομάδων	μ -FTIR, όριο 10 μm	MPs σε 17/18 (94,4%); διάμεση 6,5 MPs/g, εύρος 0-158 MPs/g. Καμία σημαντική σχέση με θαλασσινά ($p=0,288$), σοκολάτα ή chips	PP, PE, PS, EVA, PEI
Tsuji et al. (2026)	Ιαπωνία	22 υγιείς ενήλικες; κόπρανα και αίμα	7ήμερη φωτογραφική καταγραφή διατροφής; σύγκριση Low/High MP και μέτρηση βιοδεικτών	FT-IR >20 μm ; ELISA και κυτταρομετρία ροής	Διάμεση 7,20 MPs/g. Θαλασσινά-MPs: $r=0,646$, $p<0,005$. TSLP; adjusted OR 13,5 (95% CI 0,99-183, $p=0,050$). Καμία σημαντική σχέση με 8-OHdG/ox-LDL	PE 95%, PP 73%, EVA 41%, επίσης PET, PMMA, PS, PU, PVC κ.ά.
Leslie et al. (2022)	Ολλανδία	22 υγιείς ενήλικες; ολικό αίμα	Πρωτεόλυση και διήθηση ≥ 700 nm; ποσοτικοποίηση μάζας πολυμερών	Double-shot Py-GC/MS	Ποσοτικοποιήσιμα πλαστικά στο 77% (17/22). Μέση συνολική συγκέντρωση 1,6 $\mu\text{g/mL}$. PET 50%, PS 36%, PE 23%, PMMA 5%	PET, PE, PS/πολυμερή στυρενίου, PMMA
Ragusa et al. (2021)	Ιταλία	6 πλακούντες από φυσιολογικές κυήσεις	Plastic-free συλλογή; εξέταση μητρικής, εμβρυϊκής πλευράς και χοριοαμνιακών μεμβρανών	Raman microspectroscopy	12 σωματίδια σε 4/6 πλακούντες; 5 εμβρυϊκή πλευρά, 4 μητρική, 3 μεμβράνες; μέγεθος 5-10 μm	PP επιβεβαιώθηκε σε 3 σωματίδια; στα υπόλοιπα κυρίως χρωστικές/ανθρωπογενή σωματίδια

Πίνακας 7 Ποσοτικά ευρήματα ανθρώπινων μελετών σχετικά με την έκθεση σε μικροπλαστικά και τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία

4.5 Σύγκριση συγκεντρώσεων και μεθοδολογικές αποκλίσεις

Η σύγκριση των συγκεντρώσεων μικροπλαστικών μεταξύ διαφορετικών τροφίμων αποτελεί σύνθετη διαδικασία, κυρίως λόγω της έλλειψης τυποποιημένων μεθόδων ανάλυσης (EFSA CONTAM Panel, 2016). Οι μελέτες χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνικές, όπως φασματοσκοπία FTIR και Raman, καθώς και διαφορετικά κατώφλια ανίχνευσης, γεγονός που επηρεάζει τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων (Li et al., 2018).

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται οι κυριότερες αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση και ταυτοποίηση μικροπλαστικών στα τρόφιμα, καθώς και τα βασικά πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί τους.

Μέθοδος	Αρχή λειτουργίας	Μέγεθος σωματιδίων	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)	Ανάλυση απορρόφησης υπέρυθρης ακτινοβολίας για ταυτοποίηση πολυμερών	>20 μm	Αξιόπιστη ταυτοποίηση, ευρεία χρήση	Περιορισμός σε πολύ μικρά σωματίδια
Raman Spectroscopy	Ανάλυση σκέδασης φωτός για αναγνώριση χημικής σύστασης	~1-50 μm	Ανιχνεύει μικρότερα σωματίδια από FTIR	Χρονοβόρα, επηρεάζεται από παρεμβολές
Optical Microscopy	Οπτική παρατήρηση σωματιδίων	>50 μm	Απλή και οικονομική μέθοδος	Δεν δίνει χημική ταυτοποίηση
SEM (Scanning Electron Microscopy)	Μικροσκοπική απεικόνιση υψηλής ανάλυσης	<1 μm	Πολύ υψηλή ανάλυση μορφολογίας	Δεν προσδιορίζει πολυμερές
Pyrolysis-GC-MS	Θερμική αποδόμηση και ανάλυση προϊόντων	Χωρίς περιορισμό μεγέθους	Ακριβής ποσοτικοποίηση και ταυτοποίηση	Καταστροφική μέθοδος

Πίνακας 8 Μέθοδοι ανίχνευσης μικροπλαστικών στα τρόφιμα.

Βασισμένο σε δεδομένα των Li et al. (2018), EFSA CONTAM Panel (2016) και Hirt & Body-Malapel (2020).

Όπως προκύπτει, οι φασματοσκοπικές μέθοδοι (FTIR και Raman) αποτελούν τις πιο διαδεδομένες τεχνικές για την ταυτοποίηση πολυμερών, ενώ πιο εξειδικευμένες μέθοδοι, όπως

η Pyrolysis-GC-MS, χρησιμοποιούνται για ποσοτική ανάλυση. Οι μεθοδολογικές αυτές διαφοροποιήσεις αποτελούν βασικό παράγοντα αβεβαιότητας στην εκτίμηση της διατροφικής έκθεσης.

Στην παρούσα ανασκόπηση, η άμεση σύγκριση των συγκεντρώσεων μικροπλαστικών μεταξύ διαφορετικών τροφίμων και ποτών παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες, καθώς οι μελέτες διαφέρουν ως προς τα κατώφλια μεγέθους, τις μεθόδους ταυτοποίησης και τον τρόπο ποσοτικοποίησης των σωματιδίων.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μελέτη των Karami et al. (2017), στην οποία χρησιμοποιήθηκε φίλτρο 149 μm για την ανάλυση επιτραπέζιου αλατιού και καταγράφηκαν 0-10 επιβεβαιωμένα MPs/kg. Η χρήση τόσο μεγάλου κατωφλίου περιορίζει την ανίχνευση μικρότερων σωματιδίων και μπορεί να οδηγεί σε χαμηλότερες καταγραφόμενες συγκεντρώσεις.

Αντίστοιχα, οι Fadda et al. (2026) ανέλυσαν ζάχαρη με δύο διαφορετικές τεχνικές. Η μ -FTIR για σωματίδια $\geq 50 \mu\text{m}$ κατέγραψε περίπου 10-35 MPs/5 g, ενώ η μ -Raman για σωματίδια 5-50 μm έδωσε πολύ υψηλότερες εκτιμήσεις, περίπου 1.250-2.000 MPs/5 g. Η διαφορά αυτή δείχνει πόσο επηρεάζει το κατώφλι μεγέθους την τελική καταγραφή.

Στα θαλασσινά, οι Süßmann et al. (2026) χρησιμοποίησαν φθορίζουσα απεικόνιση για σωματίδια $\geq 5 \mu\text{m}$ και ανέφεραν 0-183 MP/g, με διάμεσο 0,9 MP/g. Ωστόσο, η χημική επιβεβαίωση με Py-GC/MS πραγματοποιήθηκε μόνο σε υποσύνολο δειγμάτων, επομένως τα σωματίδια που ανιχνεύθηκαν κατά το screening δεν ταυτίζονται απαραίτητα με τα χημικά επιβεβαιωμένα μικροπλαστικά.

Οι διαφορές στις μονάδες μέτρησης αποτελούν επίσης βασικό περιορισμό. Οι περισσότερες μελέτες εκφράζουν τα αποτελέσματα ως particles/g, particles/kg ή particles/L, ενώ οι Dessì et al. (2021) χρησιμοποίησαν Py-GC/MS και παρουσίασαν τα αποτελέσματα ως μg πλαστικού/g τροφίμου. Οι μονάδες αυτές δεν μπορούν να μετατραπούν άμεσα σε αριθμό σωματιδίων χωρίς πρόσθετες πληροφορίες για το μέγεθος, το σχήμα και την πυκνότητα των πολυμερών.

Τέλος, οι μελέτες δεν χρησιμοποιούν όλες τον ίδιο βαθμό χημικής επιβεβαίωσης. Οι Kosuth et al. (2018) βασίστηκαν κυρίως σε οπτικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά, ενώ οι Oliveri Conti et al. (2020) χρησιμοποίησαν SEM-EDX, το οποίο παρέχει μορφολογική και στοιχειακή ανάλυση αλλά όχι πλήρη μοριακή ταυτοποίηση του πολυμερούς.

Μέθοδος	Εφαρμογή στις μελέτες	Τι προσφέρει	Βασικός περιορισμός
FTIR / μ-FTIR	Duman et al. (2023), Pham et al. (2023), Mintenig et al. (2019)	Χημική ταυτοποίηση πολυμερών	Η ευαισθησία εξαρτάται από το μέγεθος σωματιδίων και τον εξοπλισμό
Raman / μ-Raman	Schymanski et al. (2018), Da Costa Filho et al. (2021), Fadda et al. (2026)	Ανίχνευση και ταυτοποίηση πολύ μικρών σωματιδίων	Χρονοβόρα, πιθανές παρεμβολές από φθορισμό
Οπτική φθορίζουσα μικροσκοπία	/ Kosuth et al. (2018), Süßmann et al. (2026)	Καταμέτρηση, μέγεθος και μορφολογία σωματιδίων	Δεν παρέχει πάντα πλήρη χημική επιβεβαίωση
SEM-EDX	Oliveri Conti et al. (2020), Shruti et al. (2020)	Υψηλής ανάλυσης μορφολογία και στοιχειακή σύσταση	Δεν προσδιορίζει με βεβαιότητα τη μοριακή ταυτότητα του πολυμερούς
Py-GC/MS	Dessì et al. (2021), Süßmann et al. (2026)	Ποσοτικοποίηση μάζας και ταυτοποίηση πολυμερών	Καταστροφική μέθοδος, δεν δίνει αριθμό/μορφολογία σωματιδίων

Πίνακας 9 Αναλυτικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν στις πρωτογενείς μελέτες της ανασκόπησης

5. Συζήτηση

5.1 Κύρια ευρήματα

Η παρούσα ανασκόπηση επιβεβαιώνει ότι η παρουσία μικροπλαστικών εκτείνεται σε ένα ευρύ φάσμα τροφίμων και ποτών που καταναλώνονται καθημερινά. Στις μελέτες που εξετάστηκαν, μικροπλαστικά ή σωματίδια που ταξινομήθηκαν ως μικροπλαστικά ανιχνεύθηκαν σε τρόφιμα ζωικής προέλευσης, όπως ψάρια, οστρακοειδή, γαρίδες, κοτόπουλο, γάλα και αυγά, σε φυτικά και επεξεργασμένα προϊόντα, όπως ρύζι, αλεύρι, ζάχαρη, μέλι και αλάτι, καθώς και σε πόσιμο νερό, εμφιαλωμένο νερό και διάφορες κατηγορίες ποτών. Το εύρημα αυτό διευρύνει σημαντικά την εικόνα της διατροφικής έκθεσης.

Ένα από τα βασικότερα ευρήματα της παρούσας σύνθεσης είναι ότι δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ασφάλεια μία συγκεκριμένη κατηγορία τροφίμου ως η σημαντικότερη πηγή έκθεσης με βάση μόνο τις αναφερόμενες συγκεντρώσεις. Οι τιμές που καταγράφονται στις διαφορετικές μελέτες παρουσιάζουν πολύ μεγάλη διακύμανση και επηρεάζονται έντονα από τη μέθοδο ανάλυσης, το κατώφλι μεγέθους των σωματιδίων, τον τρόπο προετοιμασίας του δείγματος και τον βαθμό χημικής επιβεβαίωσης. Για παράδειγμα, στη ζάχαρη οι Fadda et al. (2026) κατέγραψαν πολύ διαφορετικού μεγέθους συγκεντρώσεις όταν εφαρμόστηκαν μ-FTIR και μ-Raman σε διαφορετικά κλάσματα μεγέθους, ενώ στα θαλασσινά οι Süßmann et al. (2026) ανέφεραν εύρος 0-183 MP/g με φθορίζουσα απεικόνιση, αλλά η επιβεβαίωση πολυμερών με Py-GC/MS ήταν δυνατή μόνο σε υποσύνολο των δειγμάτων. Συνεπώς, ένα ιδιαίτερα σημαντικό αποτέλεσμα της ανασκόπησης είναι ότι η απόλυτη κατάταξη των τροφίμων με βάση αριθμητικές συγκεντρώσεις μπορεί να είναι παραπλανητική όταν οι μελέτες δεν χρησιμοποιούν κοινή μεθοδολογία.

Παρά τη μεθοδολογική ετερογένεια, ορισμένες τάσεις εμφανίζονται επανειλημμένα. Τα πολυμερή PE, PP και PET συγκαταλέγονται στα συχνότερα αναφερόμενα στις πρωτογενείς μελέτες, ενώ σε επιμέρους προϊόντα εντοπίζονται επίσης PS, PVC, PA και EVA. Η συχνή παρουσία πολυμερών που χρησιμοποιούνται ευρέως στη συσκευασία, στην επεξεργασία και σε υλικά επαφής με τρόφιμα υποστηρίζει την άποψη ότι η τελική επιμόλυνση ενός τροφίμου δεν αντανakλά αποκλειστικά την περιβαλλοντική έκθεση του αρχικού οργανισμού ή της πρώτης ύλης, αλλά μπορεί να διαμορφώνεται σε πολλά στάδια της αλυσίδας παραγωγής.

Η παρατήρηση αυτή ενισχύεται από μελέτες που εξέτασαν συγκεκριμένα πιθανούς μηχανισμούς επιμόλυνσης. Οι Habib et al. (2022) έδειξαν ότι η κοπή ψαριού και κοτόπουλου σε πλαστικές επιφάνειες μπορεί να μεταφέρει σωματίδια PE στο τρόφιμο, ενώ το πλύσιμο

μείωσε σημαντικά το φορτίο σε ορισμένα δείγματα. Αντίστοιχα, οι Dessì et al. (2021) κατέγραψαν υψηλότερη πλαστική επιβάρυνση στο στιγμιαίο ρύζι σε σχέση με το συμβατικό και παρατήρησαν μείωση μετά το πλύσιμο. Οι Süßmann et al. (2026) διαπίστωσαν ότι τα κονσερβοποιημένα ψάρια παρουσίαζαν τις υψηλότερες διάμεσες συγκεντρώσεις μεταξύ των εξεταζόμενων κατηγοριών προϊόντων, ενώ στατιστικές αναλύσεις υπέδειξαν σχέση με τον τύπο επεξεργασίας και συσκευασίας. Ωστόσο, οι ίδιοι οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι δεν είναι πάντοτε δυνατό να διαχωριστεί η επίδραση της συσκευασίας από εκείνη της παραγωγικής διαδικασίας. Η συνολική εικόνα επομένως δείχνει ότι η επιμόλυνση μπορεί να προκύπτει σωρευτικά από το περιβάλλον, την επεξεργασία, τις επιφάνειες επαφής, τη συσκευασία, την αποθήκευση και την προετοιμασία πριν από την κατανάλωση.

Η εικόνα αυτή συμφωνεί σε μεγάλο βαθμό με τις παλαιότερες εκτιμήσεις της EFSA και του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας. Η EFSA είχε ήδη επισημάνει την περιορισμένη διαθεσιμότητα δεδομένων, την ανάγκη για περισσότερες μετρήσεις σε τρόφιμα και την έλλειψη τυποποιημένων μεθοδολογιών (EFSA CONTAM Panel, 2016). Αντίστοιχα, ο WHO είχε τονίσει ότι η ανομοιογένεια των αναλυτικών μεθόδων δυσχεραίνει την εκτίμηση της πραγματικής έκθεσης και ότι τα διαθέσιμα στοιχεία δεν επαρκούν για ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με τον κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία (WHO, 2019).

Μία ακόμη σημαντική συμβολή της παρούσας ανασκόπησης είναι η ενσωμάτωση πρόσφατων δεδομένων για τρόφιμα. Για παράδειγμα, πρόσφατες μελέτες έχουν καταγράψει μικροπλαστικά στα αυγά, με τους Liu et al. (2022) και Rayhan et al. (2026) να αναφέρουν την παρουσία μικροπλαστικών τόσο στο ασπράδι όσο και στον κρόκο, με το PE να αποτελεί κυρίαρχο πολυμερές. Αντίστοιχα, δεδομένα από αλεύρι, ζάχαρη, μέλι και ρύζι δείχνουν ότι η έκθεση μπορεί να προέρχεται και από βασικά τρόφιμα καθημερινής κατανάλωσης και όχι μόνο από προϊόντα θαλάσσιας προέλευσης ή πόσιμο νερό.

Οι ποσοτικές εκτιμήσεις διατροφικής πρόσληψης υποστηρίζουν επίσης ότι η έκθεση είναι πραγματική αλλά ιδιαίτερα μεταβλητή. Οι Pham et al. (2023) εκτίμησαν συνολική πρόσληψη εκατοντάδων σωματιδίων εβδομαδιαίως μέσω διαφορετικών τροφίμων και ποτών στον κορεατικό πληθυσμό, ενώ οι Süßmann et al. (2026) υπολόγισαν διάμεση ετήσια πρόσληψη περίπου 16.500 σωματιδίων μέσω της κατανάλωσης θαλασσινών στη Γερμανία. Αντίστοιχα, υψηλές θεωρητικές εκτιμήσεις προέκυψαν για το αλεύρι στους Aysha et al. (2024), ενώ οι Basaran et al. (2024) υπολόγισαν ετήσια έκθεση μέσω διαφορετικών ποτών. Οι διαφορές μεταξύ των εκτιμήσεων αντανακλούν τόσο τη συγκέντρωση μικροπλαστικών στα προϊόντα

όσο και τις διατροφικές συνήθειες του εξεταζόμενου πληθυσμού και επομένως δεν είναι δυνατό να μεταφερθούν αυτούσιες από μία χώρα ή πληθυσμιακή ομάδα σε άλλη.

Τα ανθρώπινα δεδομένα βιοπαρακολούθησης προσθέτουν ένα ακόμη επίπεδο στην ερμηνεία των ευρημάτων. Η παρουσία μικροπλαστικών έχει πλέον αναφερθεί σε κόπρανα, αίμα και πλακουντιακό ιστό, ενώ ορισμένες μελέτες έχουν διερευνήσει συσχετίσεις με συγκεκριμένες διατροφικές συνήθειες. Οι Zhang et al. (2021) παρατήρησαν συσχέτιση μεταξύ της κατανάλωσης συσκευασμένου νερού και ποτών και της αφθονίας μικροπλαστικών στα κόπρανα, ενώ οι Tsuji et al. (2026) ανέφεραν θετική συσχέτιση μεταξύ κατανάλωσης θαλασσινών και φορτίου μικροπλαστικών. Αντίθετα, οι Refosco et al. (2025) δεν παρατήρησαν σημαντική διαφορά μεταξύ καταναλωτών και μη καταναλωτών θαλασσινών. Τα αντικρουόμενα αυτά αποτελέσματα ενισχύουν την άποψη ότι η ανθρώπινη έκθεση είναι πολυπαραγοντική και δεν μπορεί να αποδοθεί σε μία μόνο διατροφική πηγή.

Ως προς τη δημόσια υγεία, τα ευρήματα της παρούσας ανασκόπησης είναι επίσης συνεπή με την επιφυλακτική στάση προηγούμενων διεθνών αξιολογήσεων. Η EFSA είχε εκτιμήσει ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό μικροπλαστικών μικρότερων των 150 μm αναμένεται να διαπερνά το εντερικό επιθήλιο και είχε επισημάνει την έλλειψη επαρκών τοξικολογικών δεδομένων για τον άνθρωπο (EFSA CONTAM Panel, 2016). Ο WHO, αντίστοιχα, είχε καταλήξει ότι τα διαθέσιμα στοιχεία δεν ήταν επαρκή για ισχυρά συμπεράσματα σχετικά με τον κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία από τα μικροπλαστικά στο πόσιμο νερό.

5.2 Περιορισμοί της μελέτης

Η παρούσα εργασία βασίστηκε σε συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση διεθνών πρωτογενών μελετών, γεγονός που συνεπάγεται ορισμένους περιορισμούς ως προς τη σύγκριση και τη σύνθεση των διαθέσιμων δεδομένων.

Ο σημαντικότερος περιορισμός αφορά τη μεγάλη μεθοδολογική ετερογένεια μεταξύ των μελετών. Χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές μέθοδοι ανίχνευσης και ταυτοποίησης, όπως FTIR, Raman, οπτική ή φθορίζουσα μικροσκοπία και Py-GC/MS, καθώς και διαφορετικά πρωτόκολλα προετοιμασίας και διαφορετικά κατώφλια μεγέθους σωματιδίων. Ως αποτέλεσμα, οι αναφερόμενες συγκεντρώσεις δεν είναι πάντοτε άμεσα συγκρίσιμες.

Επιπλέον, οι μελέτες εκφράζουν τα αποτελέσματά τους σε διαφορετικές μονάδες, όπως particles/g, particles/kg, particles/L ή μg/g, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις η χημική επιβεβαίωση των μικροπλαστικών πραγματοποιήθηκε μόνο σε υποσύνολο των ύποπτων

σωματιδίων. Το γεγονός αυτό περιορίζει τη δυνατότητα άμεσων συγκρίσεων και δημιουργίας ενιαίας κατάταξης των τροφίμων ως προς το επίπεδο επιμόλυνσης.

Περιορισμό αποτελεί επίσης η ετερογένεια των δειγμάτων ως προς τον τύπο τροφίμου, τη γεωγραφική προέλευση, το μέγεθος δείγματος και τον βαθμό επεξεργασίας. Παράλληλα, οι εκτιμήσεις διατροφικής πρόσληψης βασίζονται σε διαφορετικά πρότυπα κατανάλωσης και επομένως δεν μπορούν να γενικευθούν άμεσα από έναν πληθυσμό σε άλλον.

Τέλος, τα διαθέσιμα ανθρώπινα δεδομένα παραμένουν περιορισμένα και προέρχονται κυρίως από μικρά δείγματα ή παρατηρητικές μελέτες. Παρότι έχουν αναφερθεί μικροπλαστικά σε ανθρώπινα βιολογικά δείγματα και ορισμένες συσχετίσεις με δείκτες υγείας, τα μέχρι σήμερα δεδομένα δεν επιτρέπουν την τεκμηρίωση αιτιώδους σχέσης ούτε τον καθορισμό ασφαλούς ορίου διατροφικής πρόσληψης.

6. Συμπεράσματα

Η παρούσα συστηματική ανασκόπηση δείχνει ότι τα μικροπλαστικά έχουν ανιχνευθεί σε πολλές κατηγορίες τροφίμων και ποτών. Τα βασικά συμπεράσματα είναι τα εξής:

- Μικροπλαστικά ανιχνεύονται σε βασικές κατηγορίες τροφίμων και ποτών που καταναλώνονται καθημερινά, όπως ψάρια και θαλασσινά, γάλα, αυγά, ρύζι, αλεύρι, ζάχαρη, μέλι, αλάτι, πόσιμο νερό και διάφορα ποτά.
- Οι συγκεντρώσεις διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τροφίμων και μελετών. Μικροπλαστικά έχουν καταγραφεί σε ζωικά προϊόντα, φυτικά τρόφιμα, επεξεργασμένα προϊόντα, πόσιμο νερό και ποτά. Ωστόσο, η άμεση σύγκριση των τιμών μεταξύ διαφορετικών μελετών είναι δύσκολη λόγω διαφορετικών μονάδων μέτρησης, κατωφλίων μεγέθους και αναλυτικών μεθόδων.
- Τα πολυμερή που εμφανίζονται συχνότερα είναι τα PE, PP και PET, ενώ αναφέρονται επίσης PS, PVC, PA και EVA. Η παρουσία τους συνδέεται τόσο με το περιβάλλον όσο και με υλικά συσκευασίας και εξοπλισμού που έρχονται σε επαφή με τα τρόφιμα.
- Η επιμόλυνση μπορεί να συμβεί σε διαφορετικά στάδια της αλυσίδας τροφίμων. Πιθανές πηγές είναι το νερό, το έδαφος και η ατμόσφαιρα, αλλά και η επεξεργασία, οι πλαστικές επιφάνειες, η συσκευασία, η αποθήκευση και η προετοιμασία πριν από την κατανάλωση.
- Οι αναλυτικές μέθοδοι επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα. FTIR, Raman, μικροσκοπικές τεχνικές, SEM-EDX και Py-GC/MS δεν έχουν την ίδια ικανότητα ανίχνευσης και ταυτοποίησης, ενώ το κατώφλι μεγέθους μπορεί να αλλάξει σημαντικά τον αριθμό των σωματιδίων που καταγράφονται.
- Η διατροφή αποτελεί μία υπαρκτή οδό έκθεσης του ανθρώπου στα μικροπλαστικά. Οι εκτιμήσεις πρόσληψης όμως διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με το είδος του τροφίμου, τις συγκεντρώσεις που μετρώνται και τις συνήθειες κατανάλωσης κάθε πληθυσμού.
- Μικροπλαστικά έχουν επίσης ανιχνευθεί σε ανθρώπινα βιολογικά δείγματα, όπως κόπρανα, αίμα και πλακούντας. Παρότι έχουν αναφερθεί ορισμένες συσχετίσεις με διατροφικούς ή κλινικούς δείκτες, τα διαθέσιμα δεδομένα δεν επαρκούν για να

αποδειχθεί ότι η συνήθης διατροφική έκθεση προκαλεί συγκεκριμένες βλάβες στην ανθρώπινη υγεία.

- Η βασική δυσκολία παραμένει η έλλειψη κοινών και εναρμονισμένων πρωτοκόλλων. Για πιο αξιόπιστη αξιολόγηση της έκθεσης και των πιθανών κινδύνων χρειάζονται μεγαλύτερες και καλύτερα τυποποιημένες μελέτες.

Βιβλιογραφία

- Alak, G., Köktürk, M., & Atamanalp, M. (2021). Evaluation of different packaging methods and storage temperature on MPs abundance and fillet quality of rainbow trout. *Journal of hazardous materials*, 420, 126573. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126573>
- Amelba, A.B.T., Daud, A., Amqam, H., Syafar, M., Ibrahim, E., Syam, A., Harusi, N.M.R. and Afdal, M., 2022. Microplastics Found In Rice Consumed By Humans. *Journal of Positive School Psychology*, 6(6), pp.7809-7818. <https://journalppw.com/index.php/jpsp/article/view/8974>
- Andrady, A.L., 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), pp.1596-1605.
- Arthur, C., Baker, J. and Bamford, H., 2009. *Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris*. Washington DC: NOAA.
- Aysha, S., Sultan, M.B., Bhuiyan, M.A.R., Toha, M. and Ria, R.T., 2024. Do we unknowingly eat breakfast that contains microplastics? Unveiling the microplastic contamination in commercial flour. *Food and Humanity*, 3, 100333. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100333>.
- Barboza, L.G.A., Vethaak, A.D., Lavorante, B.R.B.O., Lundebye, A.K. and Guilhermino, L., 2018. Marine microplastic debris: an emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine Pollution Bulletin*, 133, pp.336-348.
- Basaran, B., Aytan, Ü., Şentürk, Y., Özçifçi, Z., & Akçay, H. T. (2024). Microplastic contamination in some beverages marketed in türkiye: Characteristics, dietary exposure and risk assessment. *Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association*, 189, 114730. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2024.114730>
- Bergmann, M., Gutow, L. and Klages, M., 2015. *Marine Anthropogenic Litter*. Cham: Springer.

- Bhuyan, M.S., 2022. Effects of microplastics on fish and in human health. *Frontiers in Environmental Science*, 10.
- Bilecen, S., & Altunışık, A. (2026). Honey as a bioindicator of microplastic pollution: insights from industrial and special honey types. *NPJ science of food*, 10(1), 70. <https://doi.org/10.1038/s41538-026-00720-y>
- Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T. and Thompson, R., 2011. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21), pp.9175-9179.
- Capla, J., Zajac, P., Curlej, J., Fikselova, M. and Kunova, S., 2026. Analysis of microplastic and foreign body contamination in sugar processing. *Heliyon*, 12, e44582. [10.1016/j.heliyon.2026.e44582](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2026.e44582) [External Link](#)
- Catarino, A. I., Macchia, V., Sanderson, W. G., Thompson, R. C., & Henry, T. B. (2018). Low levels of microplastics (MP) in wild mussels indicate that MP ingestion by humans is minimal compared to exposure via household fibres fallout during a meal. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 237, 675-684. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.069>
- Carbery, M., O'Connor, W. and Palanisami, T., 2018. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environment International*, 115, pp.400-409.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. and Galloway, T.S., 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), pp.2588-2597.
- Cox, K.D., Covernton, G.A., Davies, H.L., Dower, J.F., Juanes, F. and Dudas, S.E., 2019. Human consumption of microplastics. *Environmental Science & Technology*, 53(12), pp.7068-7074.
- Da Costa Filho, P. A., Andrey, D., Eriksen, B., Peixoto, R. P., Carreres, B. M., Ambühl, M. E., Descarrega, J. B., Dubascoux, S., Zbinden, P., Panchaud, A., & Poitevin, E. (2021). Detection and characterization of small-sized microplastics ($\geq 5 \mu\text{m}$) in milk products. *Scientific reports*, 11(1), 24046. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03458-7>

- Dessì, C., Okoffo, E. D., O'Brien, J. W., Gallen, M., Samanipour, S., Kaserzon, S., Rauert, C., Wang, X., & Thomas, K. V. (2021). Plastics contamination of store-bought rice. *Journal of hazardous materials*, 416, 125778. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125778>
- de Souza Machado, A.A., Kloas, W., Zarfl, C., Hempel, S. and Rillig, M.C., 2018. Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global Change Biology*, 24(4), pp.1405-1416.
- Duman, S. et al., 2023. Optimization of a method designed to extract and characterize microplastics in different packaged fish products. *Food Control*, 154, 110029. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110029>.
- EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), 2016. Statement on the presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *EFSA Journal* 2016; 14(6):4501, 30 pp. doi:[10.2903/j.efsa.2016.4501](https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4501)
- Fadare, O.O., Okoffo, E.D., Olasehinde, E.F. and Micah, A., 2021. Microplastics from consumer plastic food containers: are we consuming it? *Chemosphere*, 253.
- Fadda, M., Sacco, A., Rossi, A. M., & Giovannozzi, A. M. (2026). Hidden pollutants in food: Evidence of small microplastic particles (100-5 µm) in refined sugar from the Italian market. *Journal of hazardous materials*, 503, 141113. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2026.141113>
- Feng, S., Lu, H., Liu, Y., Zhang, Y. and Wang, J., 2022. Occurrence and human exposure assessment of microplastics in food: a review. *Food Chemistry*, 371.
- Frias, J.P.G.L. and Nash, R., 2019. Microplastics: finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138, pp.145-147.
- Galloway, T.S., 2015. Micro- and nano-plastics and human health. In: M. Bergmann, L. Gutow and M. Klages, eds. *Marine Anthropogenic Litter*. Cham: Springer, pp.343-366.
- GESAMP, 2015. *Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment*. London: International Maritime Organization.

- Geyer, R., Jambeck, J.R. and Law, K.L., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7).
- Guo, X. and Wang, J., 2019. The chemical behaviors of microplastics in marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 142, pp.1-14.
- Habib, R. Z., Kindi, R. A., Salem, F. A., Kittaneh, W. F., Poulouse, V., Iftikhar, S. H., Mourad, A. I., & Thiemann, T. (2022). Microplastic Contamination of Chicken Meat and Fish through Plastic Cutting Boards. *International journal of environmental research and public health*, 19(20), 13442. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013442>
- Hartmann, C., Lomako, I., Schachner, C., El Said, E., Abert, J., Satrapa, V., Kaiser, A. M., Walch, H., & Köppel, S. (2024). Assessment of microplastics in human stool: A pilot study investigating the potential impact of diet-associated scenarios on oral microplastics exposure. *The Science of the total environment*, 951, 175825. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175825>
- Hermabessiere, L., Dehaut, A., Paul-Pont, I., Lacroix, C., Jezequel, R., Soudant, P. and Duflos, G., 2017. Occurrence and effects of plastic additives on marine environments and organisms: a review. *Chemosphere*, 182, pp.781-793.
- Hirt, N. and Body-Malapel, M., 2020. Immunotoxicity and intestinal effects of microplastics: a review of the literature. *Particles and Fibre Toxicology*, 17(1), pp.1-17.
- Iñiguez, M. E., Conesa, J. A., & Fullana, A. (2017). Microplastics in Spanish Table Salt. *Scientific reports*, 7(1), 8620. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09128-x>
- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. and Law, K.L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), pp.768-771.
- Karami, A., Golieskardi, A., Keong Choo, C., Larat, V., Galloway, T. S., & Salamatnia, B. (2017). The presence of microplastics in commercial salts from different countries. *Scientific reports*, 7, 46173. <https://doi.org/10.1038/srep46173>

- Koelmans, A.A., Besseling, E. and Shim, W.J., 2015. Nanoplastics in the aquatic environment. In: M. Bergmann, L. Gutow and M. Klages, eds. *Marine Anthropogenic Litter*. Cham: Springer, pp.325-340.
- Kosuth, M., Mason, S. A., & Wattenberg, E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PloS one*, 13(4), e0194970. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>
- Law, K.L. and Thompson, R.C., 2014. Microplastics in the seas. *Science*, 345(6193), pp.144-145.
- Leslie, H.A., van Velzen, M.J.M., Brandsma, S.H., Vethaak, A.D., Garcia-Vallejo, J.J. and Lamoree, M.H., 2022. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, 163, p.107199.
- Li, J., Liu, H. and Chen, J.P., 2018. Microplastics in freshwater systems: a review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*, 137, pp.362-374.
- Love, D.C., Borodinsky, L., Kase, J.A. and Huber, T., 2021. Microplastics in drinking water: sources, detection and implications. *Current Opinion in Food Science*, 41, pp.44-51.
- Liu, Q., Chen, Z., Chen, Y., Yang, F., Yao, W., & Xie, Y. (2022). Microplastics contamination in eggs: Detection, occurrence and status. *Food chemistry*, 397, 133771. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133771>
- Lusher, A., Hollman, P. and Mendoza-Hill, J., 2017. *Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety*. Rome: FAO.
- Mattsson, K., Hansson, L.A. and Cedervall, T., 2015. Nano-plastics in the aquatic environment. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 17(10), pp.1712-1721.
- Mercy, F. T., & Alam, A. K. M. R. (2024). Assessment of microplastic contamination in shrimps from the Bay of Bengal and associated human health risk. *Marine pollution bulletin*, 201, 116185. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116185>

- Mintenig, S.M., Löder, M.G.J., Primpke, S. and Gerdts, G., 2019. Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources. *Science of the Total Environment*, 648, pp.631-635.
- Oliveri Conti, G., Ferrante, M., Banni, M., Favara, C., Nicolosi, I., Cristaldi, A., Fiore, M., & Zuccarello, P. (2020). Micro- and nano-plastics in edible fruit and vegetables. The first diet risks assessment for the general population. *Environmental research*, 187, 109677. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109677>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A. C., Welch, V. A., Whiting, P., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pham, D.T., Kim, J., Lee, S.H., Kim, J., Kim, D., Hong, S., Jung, J. and Kwon, J.H., 2023. Analysis of microplastics in various foods and assessment of aggregate human exposure via food consumption in Korea. *Environmental Pollution*, 322, 121153. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121153>.
- Prata, J.C., 2018. Airborne microplastics: consequences to human health? *Environmental Pollution*, 234, pp.115-126.
- Rayhan, M.A. et al., 2026. Microplastic contaminants in eggs: Identification, characterization, and potential risks *Food Bioscience*, 75, 108163. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.108163>.
- Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F., Rongioletti, M.C.A., Baiocco, F., Draghi, S. and D'Amore, E., 2021. Plasticenta: first evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, 146.
- Refosco, A., Dierkes, J., Kögel, T., Dankel, S.N., Laupsa-Borge, J., Gomiero, A. and Daniel, D.B., 2025. Microplastics in human feces: A pilot study exploring links with dietary habits. *Microplastics and Nanoplastics*, 5, 22. <https://doi.org/10.1186/s43591-025-00129-6>.

- Rochman, C.M., 2018. Microplastics research-from sink to source. *Science*, 360(6384), pp.28-29.
- Santillo, D., Miller, K. and Johnston, P., 2017. Microplastics as contaminants in commercially important seafood species. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 13(3), pp.516-521.
- Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H.U. and Fürst, P., 2018. Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*, 129, pp.154-162.
- Shruti, V. C., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., & Kutralam-Muniasamy, G. (2020). First study of its kind on the microplastic contamination of soft drinks, cold tea and energy drinks - Future research and environmental considerations. *The Science of the total environment*, 726, 138580. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138580>
- Smith, M., Love, D.C., Rochman, C.M. and Neff, R.A., 2018. Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current Environmental Health Reports*, 5(3), pp.375-386.
- Süssmann, J. et al., 2026. Microplastics in fresh and processed seafood - A survey of products sold in Germany. *Food Control*, 179, 111565. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111565>.
- Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W.G., McGonigle, D. and Russell, A.E., 2004. Lost at sea: where is all the plastic? *Science*, 304(5672), p.838.
- Tsuji, M., Ishitsuka, K., Ishihara, Y., Koriyama, C., Takahashi, M., Nakajima, D., Mine, Y., Win-Shwe, T. T., Shimizu, K., Shimizu, K., Akaike, S., Kuwamura, M., Kawamoto, T., & Azuma, K. (2026). Relationship between microplastics in stool, diet, and inflammatory markers in healthy Japanese individuals. *Environmental health and preventive medicine*, 31, 17. <https://doi.org/10.1265/ehpm.25-00403>
- Van Cauwenberghe, L. and Janssen, C.R., 2014. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution*, 193, pp.65-70.

- Vethaak, A.D. and Legler, J., 2021. Microplastics and human health. *Science*, 371(6530), pp.672-674.
- Waring, R.H., Harris, R.M. and Mitchell, S.C., 2018. Plastic contamination of the food chain: a threat to human health? *Maturitas*, 115, pp.64-68.
- Winkler, A., Santo, N., Ortenzi, M.A., Bolzoni, F., Bacchetta, R., Tremolada, P. and Camatini, M., 2022. Does mechanical stress cause microplastic release from plastic food containers? *Food Packaging and Shelf Life*, 33.
- World Health Organization (WHO), 2019. *Microplastics in drinking-water*. Geneva: World Health Organization.
- Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017). Plastic and human health: A micro issue? *Environmental Science & Technology*, 51(12), 6634–6647. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423>
- Yan, Z., Liu, Y., Zhang, T., Zhang, F., Ren, H., & Zhang, Y. (2022). Analysis of Microplastics in Human Feces Reveals a Correlation between Fecal Microplastics and Inflammatory Bowel Disease Status. *Environmental science & technology*, 56(1), 414-421. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03924>
- Zhang, N., Li, Y. B., He, H. R., Zhang, J. F., & Ma, G. S. (2021). You are what you eat: Microplastics in the feces of young men living in Beijing. *The Science of the total environment*, 767, 144345. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144345>