



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«Η ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΣΤΗ ΝΟΣΟ»**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Η παρουσία των μικροπλαστικών στα αλιεύματα και η σημασία
της για την ανθρώπινη υγεία μέσω της κατανάλωσης των
τροφίμων»**

Καρακαλίδης Ρωμάν

Τεχνολόγος τροφίμων

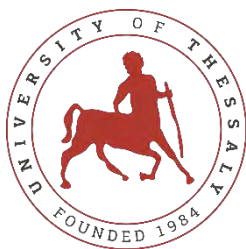
ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Σολωμάκος Νικόλαος, Αναπληρωτής Καθηγητής Υγιεινής Τροφίμων Ζωικής Προέλευσης,
Τμήμα Κτηνιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Επιβλέπων Καθηγητής

Ποταμιάνος Σπυρίδων, Ομότιμος Καθηγητής Γαστρεντερολογίας, Τμήμα Ιατρικής,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος Τριμελούς Επιτροπής

Πολυχρόνης Κωστούλας, Αναπληρωτής Καθηγητής Κτηνιατρικής Επιδημιολογίας, Τμήμα
Δημόσιας & Ενιαίας Υγείας Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος Τριμελούς Επιτροπής

Λάρισα, 2024



**UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF HEALTH SCIENCES
FACULTY OF MEDICINE
POSTGRADUATE STUDIES PROGRAM
NUTRITION IN HEALTH AND DISEASE**



DIPLOMA THESIS

**«The presence of microplastics in seafood and its importance for
human health through food consumption»**

«Ευλογημένες στους πολέμους δεν είναι οι νίκες, αλλά οι ήττες! Οι νίκες χρειάζονται στις κυβερνήσεις, ενώ οι ήττες χρειάζονται στους λαούς. Ύστερα από μια νίκη, ζητάς κι άλλη νίκη, ενώ ύστερα από μιαν ήττα ζητάς την απελευθέρωση – και συνήθως την πετυχαίνεις. Οι ήττες χρειάζονται στους λαούς, όπως τα βάσανα και οι συμφορές χρειάζονται σε μεμονωμένους ανθρώπους: σε αναγκάζουν να εμβαθύνεις στην εσωτερική σου ζωή, και να ανυψωθείς πνευματικά.»

Αλεξάντρ Σολζενίτσιν, Αρχιπέλαγος Γκουλάγκ

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα Εικόνων	5
Περιεχόμενα πινάκων	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	8
ABSTRACT	9
Κεφ. 1 Εισαγωγή	10
1.1 Ιστορική αναδρομή	10
2. Ορισμός.....	11
3. Ρύπανση περιβάλλοντος.....	12
3.1 Παραγωγή του πλαστικού και η απορροή του στο περιβάλλον	12
3.2 Κύριες πηγές μικροαστικών στο περιβάλλον	16
4. Σύνθεση πλαστικού.....	17
4.1 Πολυμερή.....	17
4.2 πρόσθετα	21
4.2.1 Πλαστικοποιητές	21
5. Τοξικότητα	26
6. Σκοπός	33
Κεφ 2. Υλικά και μέθοδοι	33
2.1 Συλλογή δεδομένων.....	33
Κεφ 3. Αποτελέσματα και συζήτηση.....	34
Συμπεράσματα.....	62
Βιβλιογραφία	63

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: α) Παραγωγή πλαστικών ανά χρησιμότητα. β) Είδη πολυμερούς για την παραγωγή πλαστικού. (Plastic Europe, 2022)	13
Εικόνα 2: κύριες πηγές των μακρο-πλαστικών και των μικρο-πλαστικών σωματιδίων στο περιβάλλον ανά γεωγραφική περιοχή.	15
Εικόνα 3: Διαφορές στα σημεία τήξης γραμμικών και διακλαδισμένων αλυσίδων	18
Εικόνα 4: μέθοδοι συλλογής δεδομένων	34

Περιεχόμενα πινάκων

Πίνακας 1: Είδος του πολυμερούς, η συντομογραφία του, η ελάχιστη και η μέγιστη πυκνότητά τους αλλά και η κύρια χρήση τους. (van Emmerik T & Schwarz A, 2020)(14)	19
Πίνακας 2: Πολυμερή πλαστικών, ο μοριακός τους τύπος και η χημική δομή τους.	20
Πίνακας 3: πρόσθετα με τον μοριακό τους τύπο και τη χημική δομή τους	23
Πίνακας 4: κατηγορίες πρόσθετων, αρίθμηση με βάση την Ε.Ε, ο αριθμός CAS, άλλες χρήσεις που ενδέχεται να έχουν, τύπος πολυμερούς και η % ποσότητα που χρησιμοποιείται στο εκάστοτε πολυμερές. (ECHA, 2018)	24
Πίνακας 5: Χώρες της Ασίας με το είδος θαλασσινού, την επιστημονική ονομασία του θαλασσινού, τα μικρο-πλαστικά (MP) που έχουν καταναλώσει και τα μικρο-πλαστικά ανά δείγμα αλιεύματος	35
Πίνακας 6: Χώρες Ασίας με το είδος του πολυμερούς που βρέθηκε στα θαλασσινά, το μέγεθος του μικρο-πλαστικού (MP) που βρέθηκε, το είδος του μεγέθους τους και το χρώμα τους.	39
Πίνακας 7: Χώρες της Αμερικής με το είδος θαλασσινού, την επιστημονική ονομασία του θαλασσινού, τα μικρο-πλαστικά (MP) που έχουν καταναλώσει και τα μικρο-πλαστικά ανά δείγμα θαλασσινού.	44
Πίνακας 8: Χώρες Αμερικής με το είδος του πολυμερούς που βρέθηκε στα θαλασσινά, το μέγεθος του μικρο-πλαστικού (MP) που βρέθηκε, το είδος του μεγέθους τους και το χρώμα τους.	48
Πίνακας 9: Χώρες της Ευρώπης με το είδος θαλασσινού, την επιστημονική ονομασία του θαλασσινού, τα μικρο-πλαστικά (MP) που έχουν καταναλώσει και τα μικρο-πλαστικά ανά δείγμα θαλασσινού.	50
Πίνακας 10: Χώρες Αμερικής με το είδος του πολυμερούς που βρέθηκε στα θαλασσινά, το μέγεθος του μικρο-πλαστικού (MP) που βρέθηκε, το είδος του μεγέθους τους και το χρώμα τους.	53
Πίνακας 11: Χώρες της Αφρικής με το είδος θαλασσινού, την επιστημονική ονομασία του θαλασσινού, τα μικρο-πλαστικά (MP) που έχουν καταναλώσει και τα μικρο-πλαστικά ανά δείγμα θαλασσινού	57
Πίνακας 12: Χώρες Αφρικής με το είδος του πολυμερούς που βρέθηκε στα θαλασσινά, το μέγεθος του μικρο-πλαστικού (MP) που βρέθηκε, το είδος του μεγέθους τους και το χρώμα τους.	58
Πίνακας 13: Χώρες της Ωκεανίας με το είδος θαλασσινού, την επιστημονική ονομασία του θαλασσινού, τα μικρο-πλαστικά (MP) που έχουν καταναλώσει και τα μικρο-πλαστικά ανά δείγμα θαλασσινού	59
Πίνακας 14: Χώρες Ωκεανίας με το είδος του πολυμερούς που βρέθηκε στα θαλασσινά, το μέγεθος του μικρο-πλαστικού (MP) που βρέθηκε, το είδος του μεγέθους τους και το χρώμα τους.	61

Συντομογραφίες

Συντομογραφία των πολυμερών που αναγράφονται στους πίνακες:
acrylic (AC), alkyd resin (AK), aromatic hydrocarbon resin (AHR), cellophane (CP), Cellulose acetate (CA), dibutyl phthalate (DBP), ethyl vinyl acetate (EVA), Ethylene vinyl alcohol (EVOH), Ethylene-Propylene-Dien-Monomer (EPDM), high-density polyethylene (HDPE), low low-density polyethylene (LLDPE), Melamine-urea-formaldehyde resin (MUF), Phenol resin (PF), Poly (butyl methacrylate (PBMA), Poly (N-vinyl carbazole) (PVK), Poly urea-formaldehyde (UF), Poly(ethylene-co-vinyl acetate) (PEVA), polyacrylamide (PAM), polyacrylic acid (PAA), Polyacrylonitrile (PAL), polyacrylonitrile (PAN), polyamide (PA), Poly-amide+imide (PAI), polybutadiene acrylonitrile (PBA), polycarbonate (PC), polycyclohexylenedimethylene terephthalate (PCT), Polyester, polyester (PES), polyether urethane (PEU), Polyethersulfone (PES), polyethylene (PE), Polyethylene glycol (PEG), Polyethylene low density (LDPE), polyethylene terephthalate (PET), Polyethyleneimine (PEI), Polylactic acid (PLA), polymethyl methacrylate (PMMA), Polyphenylene sulfide (PPS), polypropylene (PP), Polypropylene chlorinated (CPP), polystyrene (PS), Polytetrafluoroethylene (PTFE), Polyurethane (PU), Polyvinyl acetate (EVA), poly-vinyl alcohol (PVA), polyvinyl chloride (PVC), polyvinylidene fluoride (PVDF), Styrene-Acrylonitrile-Copolymer (SAN), syndiotactic polypropylene (sPP), Vinyl chloride/Vinyl acetate Copolymer (PVCA).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα πλαστικά είναι ανθρωπογενής προέλευσης αποτελούμενα από υδρογονάνθρακες και μπορούν να χωριστούν σε μακροπλαστικά, μικροπλαστικά και τα νάνοπλαστικά. Τα πλαστικά έχουν ευρεία χρήση στην καθημερινότητα του ανθρώπου με την παραγωγή τους να έχει ξεπεράσει τους 390 εκατομμύρια τόνους με το 90,2% να αποτελεί ορυκτά ως πηγή παραγωγής τους. Η αυξημένη τους ζήτηση και παραγωγή δημιουργεί πρόβλημα διαχείρισης αποβλήτων με 6-15 εκατομμύρια τόνους να καταλήγουν στο περιβάλλον κάθε χρόνο, αποτελώντας κίνδυνο για το θαλάσσιο βιότοπο και κατ' επέκταση στον άνθρωπο. Ερώτημα αποτελούν και τα πρόσθετα των πλαστικών όπως οι πλαστικοποιητές, χρωστικές ουσίες, επιβραδυντικά φλόγας κ.α., τα οποία είναι χημικές ουσίες που προστίθενται στα πλαστικά για να τους προσδώσουν τις επιθυμητές ιδιότητες. Τα χημικά αυτά αποτελούν ερώτημα για την υγεία του ανθρώπου. Στην παρούσα εργασία περιλαμβάνονται 88 ερευνητικά άρθρα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή των πληροφοριών, και η αναζήτηση έγινε από τις βάσεις δεδομένων *PubMed*, *Google Scholar* και *Scopus* με περιορισμό στην ημερομηνία δημοσίευσης, εντός της τελευταίας εξαετίας (2017-2023). Σκοπός της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας ήταν η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με την παρουσία των μικροπλαστικών (MP) στα αλιεύματα και την κατανομή με βάση τη χώρα προέλευσής τους στις 5 ηπείρους (Ευρώπη, Αμερική, Αφρική, Ασία και Ωκεανία). Στην ανάλυση αυτή η παρουσία των μικροπλαστικών χωρίστηκε: 1) ανά είδος θαλασσινού, 2) αριθμό των δειγμάτων, 3) αριθμό των μικροπλαστικών, 4) το πολυμερές που τα αποτελεί, 5) το μέγεθός τους, 6) το σχήμα τους 7) το χρώμα τους. Τα αλιεύματα που έχουν ερευνηθεί περισσότερο ήταν το μπαρμπούνι (*Mullus surmuletus*) και το στρείδι Πορτογαλίας (*Crassostrea gigas*). Οι ήπειροι με τα περισσότερα MP ήταν η Ευρώπη με 11.003 MP συνολικά ενώ η Αμερική ήταν η δεύτερη με 9.966 MP. Στις έρευνες αυτές την περίοδο 2017-2023 στα ψάρια βρέθηκαν συνολικά περίπου 14.500 MP ενώ στα μύδια βρέθηκαν 9.000 MP. Ενώ, τα περισσότερα MP βρέθηκαν στο Μεξικό στα ψάρια με σύνολο 3.144 MP ενώ αμέσως μετά ακολουθεί η Βραζιλία με 2.597 MP στις γαρίδες. Το πολυμερές που παρατηρήθηκε συχνότερα ήταν το *PP* και το *PE* όπου βρέθηκαν σε 49 έρευνες το κάθε ένα με το *PE* να βρίσκεται σε μεγαλύτερα ποσοστά στα θαλασσινά. Το σχήμα που βρέθηκε τις περισσότερες φορές ήταν οι ίνες και τα θραύσματα. Τέλος τα μεγέθη που βρέθηκαν σε μεγαλύτερη συχνότητα ήταν τα MP με μεγέθη <1.000μm, ενώ τα κυρίαρχα χρώματα ήταν το μαύρο και το μπλε.

Λέξεις κλειδιά: πλαστικό, μικρο-πλαστικό, πολυμερές, πρόσθετα, θαλασσίνα, ψάρια.

ABSTRACT

Plastics are of man-made origin and are composed of hydrocarbons and can be divided into macro-plastics, micro-plastics and nano-plastics. Plastics are widely used in the daily life of humans with their production exceeding 390 million tons, with 90.2% being minerals as their source of production. Their increased demand and production create a waste management problem with 6-15 million tonnes ending up in the environment every year, posing a risk to the marine habitat and therefore to humans. There is also the issue of plastic additives such as plasticisers, dyes, flame retardants, etc., which are chemicals added to plastics to give them the desired properties. These chemicals are a human health issue. This thesis includes 88 research articles which were used to collect the information, and the search was done from PubMed, Google Scholar and Scopus databases with restriction on the date of publication, within the last six years (2017-2023). The aim of this Master's Thesis aims to evaluate the presence of microplastics (MP) in seafood and their distribution based on their country of origin in the 5 continents (Europe, America, Africa, Asia and Oceania). In this analysis, the presence of microplastics was divided: 1) by seafood species, 2) number of samples, 3) number of microplastics, 4) the polymer that constitutes them, 5) their size, 6) their shape 7) their colour. Based on this work, it was observed that the main samples in all continents were fish followed by mussels. The fish that were investigated the most were *Mullus surmuletus* and *Crassostrea gigas*. The continents with the most MP were Europe with 11003 MP in total while America was the second with 9966 MP. In these surveys during the period 2017-2023, a total of about 14500 MP were found in fish while 9000 MP were found in mussels. While, the most MP were found in Mexico City in fish with a total of 3144 MP followed closely by Brazil with 2597 MP in shrimps. The most frequently observed polymer was PP and PE where each was found in 49 surveys with PE being found in higher proportions in seafood. The shape most often found was fibres and fragments. Finally, the sizes found most frequently were MP with sizes <1000µm, while the dominant colors were black and blue.

Key words: plastic, micro-plastic, polymer, additives, seafood, fish.

Κεφ. 1 Εισαγωγή

1.1 Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη εμφάνιση των συνθετικών πολυμερών έγινε το 1850 από τον *Alexander Parkes* ο οποίος με την επεξεργασία κυτταρίνης με νιτρικό οξύ δημιούργησε τη θερμοπλαστική νιτροκυτταρίνη, την οποία αργότερα, το 1862, καταχώρησε ως *Parkesine*. Στη συνέχεια, ο *John Wesley Hyatt* το 1869, πειραματίστηκε με την ουσία αυτή και κατασκεύασε τα κυτταρινοειδή (κελουλοΐτης), όπου χρησιμοποιήθηκε ευρέως ως υποκατάστατο ελεφαντόδοντου για την παραγωγή μάλων μπιλιάρδου⁽¹⁾. Επίσης, το 1907 εφευρέθηκε η πρώτη θερμοσκληρυντική ουσία, ο βακελίτης, από τον χημικό *Leo Baekeland*, όπου χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου ως νάιλον, το οποίο αντικατέστησε το μετάξι στα αλεξίπτωτα και στα σχοινιά⁽²⁾.

Τα σύγχρονα πλαστικά έχουν την ιστορία τους από το 1872 όπου κατασκευάστηκε το πρώτο πολυβινυλοχλωρίδιο (*PVC*), το οποίο λόγω του ότι ήταν εύθραυστο και άκαμπτο η χρησιμότητά του ήταν περιορισμένη. Το πρόβλημα αυτό λύθηκε το 1920 όπου έγινε προσθήκη πλαστικοποιητών, όπως είναι οι φθαλικοί εστέρες, οι οποίες είναι χημικές ουσίες όπου κατέστησαν το υλικό αυτό (*PVC*) πιο εύκαμπτο από το καθαρό πολυμερές^(1,3). Έτσι, παρόλο που η παραγωγή του πλαστικού τη δεκαετία του 50 ήταν χαμηλή, μόλις 350 εκατομμύρια κιλά, η παραγωγή του σήμερα έχει αυξηθεί περίπου 200 φορές⁽⁴⁾. Σε αυτό συνέβαλε η χρηστικότητά του όπου λόγω των χαρακτηριστικών του, όπως είναι το μικρό βάρος, η ευκαμψία, το χαμηλό κόστος και η θερμική μόνωση, έχει αντικαταστήσει αρκετά υλικά όπως το γυαλί, ο χάλυβας και το αλουμίνιο⁽⁵⁾. Σήμερα, σύμφωνα με το plasticseurope.org η παραγωγή του πλαστικού το 2021 παγκοσμίως, ήταν 390,7 εκατομμύρια τόνους, από τα οποία οι 57,2 εκατομμύρια τόνοι ανήκουν στην Ευρώπη. Ενώ, 500,000 τόνοι πλαστικών καταλήγουν κάθε χρόνο στις θάλασσες σύμφωνα με interregeurope.org επηρεάζοντας έτσι άμεσα την θαλάσσια ζωή και κατ' επέκταση, με βάση την τροφική αλυσίδα τον ίδιο τον άνθρωπο.

2. Ορισμός

Ως πλαστικό θεωρείται ένα συνθετικό υλικό το οποίο αποτελείται από πολυμερή ανθρωπογενής προέλευσης με τον σκελετό τους να αποτελείται, κυρίως, από υδρογονάνθρακες. Οι κύριες πηγές τους κατά κύριο λόγο είναι τα ορυκτά καύσιμα, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο⁽⁶⁾, ενώ υπάρχουν και τα πολυμερή τα οποία βρίσκονται στην φύση, όπως είναι η κυτταρίνη, το μετάξι και τα μαλλιά, τα οποία δεν παράγονται ανθρωπογενώς και συνεπώς δεν θεωρούνται πλαστικά⁽¹⁾.

Τα πλαστικά διακρίνονται επίσης στα θερμοσκληρυνόμενα και τα θερμοπλαστικά. Τα θερμοπλαστικά έχουν την ιδιότητα, με την αλλαγή της θερμοκρασίας, να μεταβάλλεται η μορφή τους για παράδειγμα το τereφθαλικό πολυαιθυλένιο (*PET*), το πολυβινυλοχλωρίδιο (*PVC*), το πολυπροπυλένιο (*PP*), το πολυκαρβονικό (*PC*) κ.α. Αντιθέτως, τα θερμοσκληρυνόμενα δεν μπορούν να μορφοποιηθούν με την αλλαγή της θερμοκρασίας λόγω της δημιουργίας ενός τρισδιάστατου δικτύου που τα καθιστά άκαμπτα⁽⁴⁾, γεγονός που τα καθιστά δύσκολα στην ανακύκλωση^(1,7).

Υπάρχουν διαφόρων ειδών μεγέθη των πλαστικών όπως είναι τα μάκρο-, μικρο-, και νανο-πλαστικά⁽⁸⁾. Σύμφωνα με το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών τα μακρο-πλαστικά θεωρούνται οποιαδήποτε πλαστικά τα οποία είναι ορατά με γυμνό μάτι (συνήθως, μεγέθους >5mm)⁽⁹⁾. Ενώ, τα μικροπλαστικά προέρχονται από την αποικοδόμηση των μακρο-πλαστικών σε μικρότερα σωματίδια λόγω των διαφόρων συνθηκών όπως είναι η οξείδωση, η ηλιακή ακτινοβολία *UV* και η τριβή. Ενώ η προέλευση των νανοπλαστικών έχει να κάνει με την περεταίρω αποικοδόμησή των μικροπλαστικών σε ακόμα μικρότερα μεγέθη⁽¹⁰⁾.

Τα μεγέθη των μικροπλαστικών έχουν ως το ανώτατο όριο τα 5mm και η προέλευσή τους μπορεί να είναι πρωτογενής, είτε δευτερογενής. Τα πρωτογενή πλαστικά που παράγονται σκόπιμα σε κλίμακες αυτές χρησιμοποιούνται σε διάφορα προϊόντα της βιομηχανίας όπως είναι τα μικροσφαιρίδια για παραγωγή προϊόντων προσωπικής φροντίδας ή και τα σφαιρίδια που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μπουκαλιών ποτών. Από την άλλη τα δευτερογενή μικροπλαστικά σχηματίζονται από την διάσπαση των μακρο-πλαστικών στο περιβάλλον ^(11,12).

Όσον αφορά τα νανο-πλαστικά, δεν έχει δοθεί ένας συγκεκριμένος ορισμός για αυτά, λόγω του ότι είναι ένα πρόσφατο πρόβλημα το οποίο έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον των επιστημόνων⁽¹¹⁾. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ορίζει ως νανο-υλικό ένα σωματίδιο το οποίο έχει

50% ή περισσότερα από τα σωματίδια στην κατανομή μεγέθους τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά : “1) μία ή περισσότερες εξωτερικές διαστάσεις του σωματιδίου κυμαίνονται μεταξύ 1 nm και 100 nm. 2) το σωματίδιο έχει επιμήκη μορφή, όπως ράβδο, ίνα ή σωλήνα, όπου δύο εξωτερικές διαστάσεις είναι μικρότερες από 1 nm και η άλλη διάσταση είναι μεγαλύτερη από 100 nm. 3) το σωματίδιο έχει σχήμα που μοιάζει με πλάκα, όπου μία εξωτερική διάσταση είναι μικρότερη από 1 nm και οι άλλες διαστάσεις είναι μεγαλύτερες από 100 nm”. Ενώ η ειδική επιφάνεια κατ' όγκο $<6\text{m}^2/\text{cm}^3$ δεν θεωρείται νανουλικό.

Ως εκ τούτου υπάρχει μια γενική συμφωνία για τα νανοπλαστικά σε αυτά τα μεγέθη. Ακόμη, τα νανοπλαστικά αυτά μπορούν να χωριστούν με τη σειρά τους σε πρωτογενή και δευτερογενή^(11,13). Πέρα από τα μεγέθη, τα πλαστικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και με βάση το σχήμα τους. Τα συχνότερα σχήματα για αυτά είναι, τα σφαιρίδια, οι αφροί (φελιζόλ, *foam*), οι ίνες, τα θραύσματα, οι μεμβράνες και οι νιφάδες⁽⁸⁾.

Τα πλαστικά έχουν αντικαταστήσει άλλα υλικά όπως το γυαλί, ο χάλυβας και το αλουμίνιο μιας και το πλαστικό είναι φθηνότερο και πιο ελαφρύ συγκριτικά με αυτά. Επίσης, το πλαστικό έχει την ικανότητα να μορφοποιηθεί σε διαφόρων ειδών σχήματα και μεγέθη, καθιστώντας το εξαιρετικό υποκατάστατο των υλικών αυτών.⁽¹⁴⁾ Υπάρχει μια γενική ανησυχία για τα πλαστικά λόγω μεγεθών των μικρο- και κατά πόσο μάλλον των νανοπλαστικών για τις επιπτώσεις στο περιβάλλον αλλά και στην ανθρώπινη υγεία. Συγκεκριμένα, είναι δύσκολη η απομόνωση αλλά και η ανίχνευση των νανοπλαστικών λόγω του μικρού τους μεγέθους μιας και μπορούν να διαπερνούν διάφορους βιολογικούς φραγμούς αλλά και να προσροφούν άλλους τοξικούς ρύπους.⁽¹¹⁾

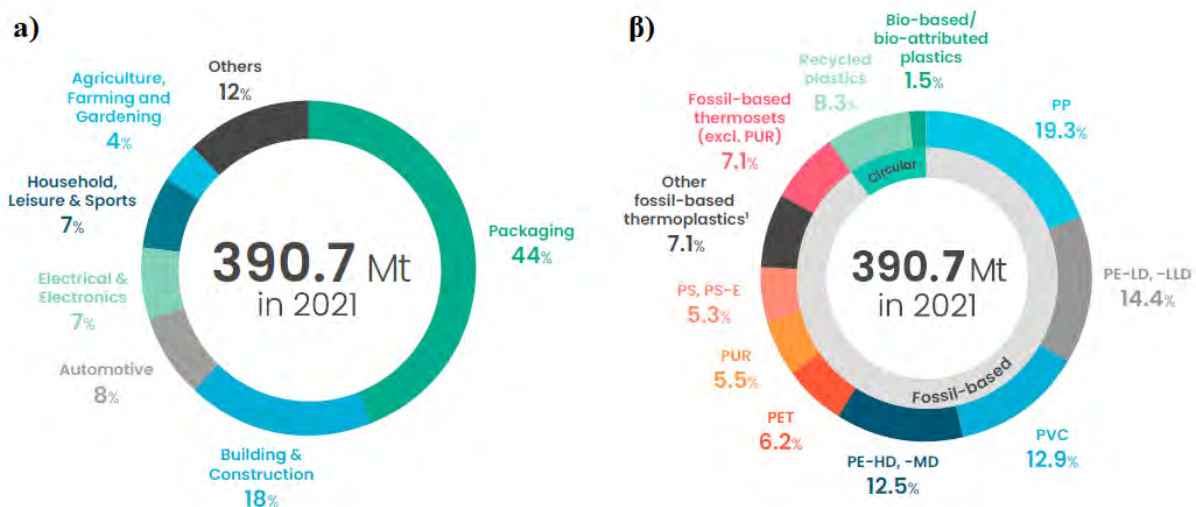
3. Ρύπανση περιβάλλοντος

3.1 Παραγωγή του πλαστικού και η απορροή του στο περιβάλλον

Τα πλαστικά έχουν ευρεία χρήση στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου και χρησιμοποιούνται σε διάφορους τομείς όπως είναι για την παραγωγή των αυτοκινήτων, τη συσκευασία, στη γεωργία κ.α.^(15,16) Η παραγωγή των πλαστικών, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους και της υψηλής τους ζήτησης, έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια εκτιμώντας πως από το 2004, όπου η παραγωγή τους ήταν στα 225 εκατομμύρια τόνους ετησίως αυξήθηκε στους 390

εκατομμύρια τόνους το 2021.^(15,17) Συγκεκριμένα, το 2021 η Κίνα ήταν υπεύθυνη για την παραγωγή του 32% του πλαστικού παγκοσμίως σε αντίθεση με την Ευρώπη όπου η παραγωγή της καταγράφεται στο 15% (57,2 εκατομμύρια τόνοι). Το 90,2% της παραγωγής των πλαστικών είχε ως κύρια πηγή τα ορυκτά, ενώ το υπόλοιπο 9,8% της παραγωγής είχε ως πηγή τα βιοδιασπώμενα (1,5%) και τα ανακυκλώσιμα (8,3%) υλικά.⁽¹⁷⁾

Στην εικόνα 1 α) φαίνεται η ανακατανομή και η χρήση του πλαστικού σε διάφορους τομείς της παραγωγής. Ενώ, στη β) παρατηρούνται οι διάφοροι χημικοί τύποι από τους οποίους παράγονται τα πλαστικά.



Εικόνα 1: α) Παραγωγή πλαστικών ανά χρησιμότητα. β) Είδη πολυμερούς για την παραγωγή πλαστικού. (Plastic Europe, 2022)

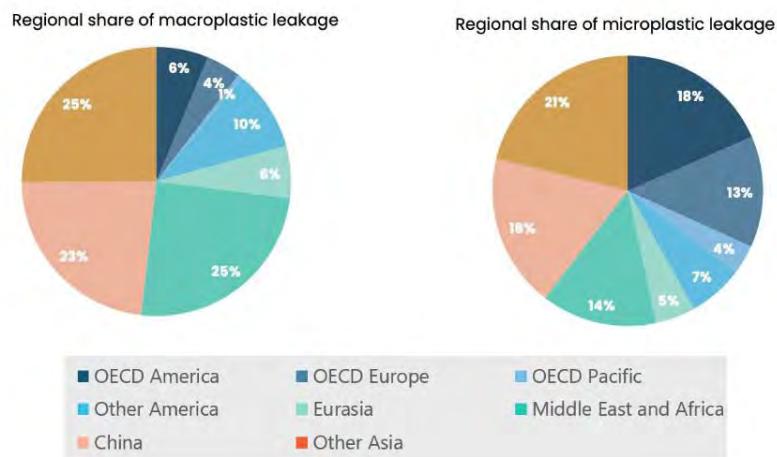
Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η περίοδος της πανδημίας *COVID-19* μιας και η χρήση τους την εποχή εκείνη ήταν αυξημένη λόγω της ζήτησης σε για πλαστικά μίας χρήσης όπως είναι οι μάσκες, τα γάντια και οι συσκευασίες *take-away*. Πέρα από αυτά συνέβαλε και η αναστολή διαφόρων πολιτικών αποφάσεων για τα πλαστικά, όπως έγινε στις *HΠΑ* και στο Ηνωμένο Βασίλειο. Υπολογίζεται πως η κατανάλωση των масκών κυμάνθηκε στα 259 δισεκατομμύρια, ενώ των γαντιών υπολογίζεται στα 65 δισεκατομμύρια τον μήνα^(18,19), κατατάσσοντας το πλαστικό, κατά την πανδημία, στα 3 κατασκευαστικά υλικά με την μεγαλύτερη ζήτηση μαζί με το τσιμέντο και τον χάλυβα.⁽²⁰⁾

Με την αυξημένη χρήση και παραγωγή των πλαστικών δημιουργείται ένα πρόβλημα διαχείρισης αποβλήτων μιας και η χωρητικότητα για τα απόβλητα δεν επαρκεί για την ορθή διαχείρισή τους παγκοσμίως, συνεπάγοντας αυξημένη ρύπανση του περιβάλλοντος^(21,22).

Βάση των χαρακτηριστικών τους όπως είναι η ανθεκτικότητα αλλά και το χαμηλό τους βάρος, τα πλαστικά καταλήγουν σε διάφορα οικοσυστήματα όπως είναι οι θάλασσες, τα γλυκά νερά και τα χερσαία εδάφη, το οποίο επιτυγχάνεται μέσω της κακής τους διαχείρισης, των υδάτινων αλλά και των αέρινων ρευμάτων⁽²³⁾. Ενώ, υπολογίζεται πως περίπου το 6-15 εκατομμύρια τόνοι (2-4%) πλαστικών που παράγονται καταλήγουν στο περιβάλλον κάθε χρόνο⁽²⁴⁾.

Τα πλαστικά δεν καταλήγουν όλα με την ίδια μορφή στο περιβάλλον, μιας και από την αρχική τους κατάσταση (μακροπλαστικά) μπορούν να διασπαστούν σε μικρότερα σωματίδια, τα μικροπλαστικά (<5mm) και με την περαιτέρω διάσπασή τους στα νανοπλαστικά (<1000 nm)^(25,26). Τα πρωτογενή πλαστικά, δηλαδή αυτά που παράγονται σκόπιμα σε μεγέθη <5mm, μπορεί είτε να προστίθενται στα προϊόντα προσωπικής φροντίδας και καταλήγουν μέσω των αποβλήτων στο περιβάλλον, είτε να παραχθούν με τη τριβή των ελαστικών των αυτοκινήτων, τη φθορά των χρωμάτων και των επιστρώσεων ή και μέσω του πλυσίματος των συνθετικών υφασμάτων. Απεναντίας, τα δευτερογενή πλαστικά, δηλαδή τα μακροπλαστικά που με την φθορά τους μετατρέπονται σε μικρότερης κλίμακας πλαστικά, μπορούν να προκύψουν από τη τριβή, την υδρόλυση εστερικών δεσμών, τη φωτοοξείδωση, την έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία, τη θερμότητα και τη μικροβιακή αποικοδόμηση^(25,24,27). Τα πλαστικά σωματίδια έχουν παρατηρηθεί σε πληθώρα στα χερσαία και υδάτινα περιβάλλοντα όπως είναι τα γεωργικά χωράφια, το έδαφος, οι δρόμοι, οι απορροές βρόχινων υδάτων από αστικά κέντρα, τα ποτάμια, οι λίμνες, οι εκβολές ποταμών, τα εσωτερικά ύδατα, τα ιζήματα της θάλασσας, τα υποθαλάσσια φαράγγια, τον θαλάσσιο πάγο της Αρκτικής, την ατμόσφαιρα ακόμη και στο βουνό Έβερεστ^(20,23,28).

Στην εικόνα 2 φαίνονται οι κύριες πηγές των μακροπλαστικών και των μικροπλαστικών σωματιδίων στο περιβάλλον ανά γεωγραφική περιοχή.



Εικόνα 2: κύριες πηγές των μακρο-πλαστικών και των μικρο-πλαστικών σωματιδίων στο περιβάλλον ανά γεωγραφική περιοχή.

Οι θάλασσες αποτελούν σημαντική πηγή απορροής των πλαστικών απορριμμάτων από τα χερσαία περιβάλλοντα, όπου υπολογίζεται πως το 80% της θαλάσσιας πλαστικής ρύπανσης προέρχεται από τη ξηρά^(28,18), ενώ το υπόλοιπο 20% προέρχεται από τις αλιευτικές δραστηριότητες όπως είναι τα διάφορα αλιευτικά εργαλεία^(15,29). Λόγω της κακής διαχείρισης των πλαστικών αποβλήτων στις χωματερές, υπάρχει η δυνατότητα, μέσω του ανέμου, να μεταφερθούν τα πλαστικά, στα ποτάμια σε αποστάσεις έως και 10 χιλιόμετρα μακριά. Ενώ, εκτιμάται πως περισσότερα από 1000 ποτάμια είναι υπεύθυνα για το 80% της ρύπανσης του πλαστικού στις θάλασσες, με τα ποτάμια των πυκνοκατημένων περιοχών να είναι περισσότερο μολυσμένα^(24,30). Τα πλαστικά απορρίμματα που καταλήγουν στις θάλασσες συσσωρεύονται σε διάφορα στρώματα της θάλασσας, όπως η επιφάνεια, τα ιζήματα αλλά και σε διάφορα θαλασσινά.^(31,32) Ενώ, η Μεσόγειος θάλασσα θεωρείται η 4^η πιο ρυπογόνος περιοχή στον κόσμο, με την υψηλότερη συγκέντρωση επιπλέοντων απορριμμάτων⁽¹⁵⁾.

Με την αυξημένη χρήση πλαστικών μιας χρήσης κατά την διάρκεια της πανδημίας *COVID-19*, στο Ηνωμένο Βασίλειο, στους 3 πρώτους μήνες από την νομοθεσία περί απαίτησης χρήσης μάσκας προσώπου, τα πλαστικά μιας χρήσης βρέθηκαν στο 69% της ξηράς και στο 30% των παραλιών όπου έγινε περισυλλογή⁽¹⁸⁾. Ακόμη, με την ανάλυση 12 εκατομμυρίων διαφορετικών σημείων παγκοσμίως μόλις 10 είδη πλαστικών (>3cm) αποτελούν το 75% της θαλάσσιας ρύπανσης, με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις να εντοπίζονται στις ακτογραμμές και στα βάθη της θάλασσας κοντά στις ακτές. Το 2020 συλλέχθηκαν παγκοσμίως 1.885.833 πλαστικά μπουκάλια από τις θαλάσσιες ακτές⁽²⁰⁾. Η θαλάσσια ρύπανση αποτελεί ένα πρόβλημα σε όλες τις πτυχές επηρεάζοντας όχι μόνο τον θαλάσσιο βίοτο όπως είναι τα φύκη, τα ζωοπλαγκτόν, τα ψάρια και τα θαλασσοπούλια⁽²³⁾

αλλά μπορεί να επηρεάσει και την οικονομία μέσω του τουρισμού και της ναυτιλίας όπου το κόστος λόγω της ρύπανσης ανέρχεται στα 13 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως. Ακόμη, μπορεί να αποτελέσει φορέας διάφορων ασθενειών,⁽²¹⁾ ενώ εγείρεται και το ερώτημα της τοξικότητάς τους λόγω των μικρών τους μεγεθών αλλά και των πρόσθετων που εμπεριέχονται σε αυτά⁽²³⁾.

3.2 Κύριες πηγές μικροαστικών στο περιβάλλον

Η φθορά των ελαστικών των αυτοκινήτων αποτελεί έναν παράγοντα ο οποίος αποτελεί πηγή εκπομπής μικροπλαστικών στο περιβάλλον. Τα σωματίδια αυτά, με την φθορά, απελευθερώνονται στον δρόμο ενώ αργότερα λόγω της βροχής απορρέονται στο περιβάλλον⁽³³⁾. Υπολογίζεται πως για ένα επιβατικό αυτοκίνητο εκπέμπεται 1g ανά 10km⁽²⁷⁾, με το ένα ποσοστό από τα σωματίδια αυτά να καταλήγει στα λύματα, ενώ το υπόλοιπο υπολογίζεται πως ανακατανέμεται στα διάφορα περιβάλλοντα όπως είναι το έδαφος (56%), τα ιζήματα των ποταμών (13-16%), τις θάλασσες (2-5%) και τον αέρα (2%).^(33,34)

Μια άλλη σημαντική πηγή ρύπανσης μικροπλαστικών είναι τα συνθετικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα (μικρο-ίνες), ενώ πέρα από τις μικρο-ίνες μπορούν να απελευθερωθούν και άλλου είδους μικροπλαστικά από τις διάφορα είδη αξεσουάρ όπως για παράδειγμα τα σχέδια στα ρούχα (εκτυπώσεις), οι επιστρώσεις, τα κουμπιά και τα γκλίτερ. Τα μικροπλαστικά αυτά απελευθερώνονται στον αέρα και στην συνέχεια εναποτίθενται στο έδαφος, στους δρόμους και στα πεζοδρόμια. Ένα ποσοστό από τα μικροπλαστικά αυτά καταλήγει στα λύματα και αργότερα με την επεξεργασία τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα στα χωράφια. Ενώ αυτά που απορρίπτονται στους κάδους μπορούν να αποικοδομηθούν και να οδηγήσουν σε διαρροή μικρο-ινών στο έδαφος. Η απελευθέρωση των σωματιδίων αυτών (μικρο ίνες) εκτιμάται να είναι υπεύθυνη για το 0,2 έως 0,5 εκατομμυρίων τόνων ετησίως μικροπλαστικών στις θάλασσες.^(24,35)

Ακόμη, η διάσπαση σε μικρότερα σωματίδια νανο-κλίμακας και μικρο-κλίμακας μπορεί να προκληθεί από το πλύσιμο των ρούχων, το καθάρισμα, το βάνισμο κ.λπ. που αποτελούν σημαντικές πηγές νανοσωματιδίων. Έχουν επίσης εντοπιστεί σε προϊόντα περιποίησης και σε σακουλάκια τσαγιού⁽³⁶⁾, όπου υπολογίζεται ότι ένα σακουλάκι τσαγιού στους 95 °C απελευθερώνει περίπου $1,16 \times 10^{10}$ μικροπλαστικά σε ένα μόνο φλιτζάνι του ροφήματος. Επιπλέον τα μικρο- και νανοπλαστικά μέχρι τη διάβρωσή τους, έχουν τη δυνατότητα να απελευθερώσουν διάφορες ουσίες που περιέχονται σε αυτά. Έχει αποδειχθεί *in vitro* ότι οι ουσίες αυτές έχουν αρνητικές επιδράσεις στη βιωσιμότητα των κυττάρων.⁽³⁷⁾

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η παρουσία των μικροπλαστικών στα γεωργικά προϊόντα όπως βρεθεί στα καρότα, το μαρούλι, το μπρόκολο, το μήλο και το αχλάδι που βρέθηκαν στα σούπερ μάρκετ. Τα σωματίδια αυτά προέρχονται από την αποικοδόμηση των πλαστικών μεμβρανών *mulch*, από την άρδευση και από τα λιπάσματα που προέρχονται από την επεξεργασία λυμάτων. Τα κύρια πλαστικά που χρησιμοποιούνται στις γεωργικές περιοχές είναι το πολυπροπυλένιο (PP), πολυαιθυλένιο (PE), χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC) και τереφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET). Ενώ, ανάλογα με το μέγεθος τους μπορούν να επηρεάσουν την παραγωγή των φυτών προκαλώντας σχισμές στις ρίζες των φυτών μειώνοντας έτσι την απορροφητικότητα του νερού, αλλαγές στο pH του εδάφους λόγω των χημικών πρόσθετων που υπάρχουν στα πλαστικά σωματίδια, επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στο φυτό και μπορεί να επηρεάσει το των φυτών.^(25,38)

Τέλος, τα πλαστικά μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών στις υδάτινες περιοχές με την αύξηση της συγκέντρωσης της διαλυμένης οργανικής ύλης (DOM), λόγω της παρουσίας τους στα νερά, με την αποικοδόμησή τους. Η παρουσία των πλαστικών στα νερά προσφέρουν επιπλέον ενέργεια στα ήδη υπάρχοντα βακτήρια, αυξάνοντας έτσι την ανάπτυξή τους. Ενώ μπορεί τα βακτήρια να προσκολληθούν στα πλαστικά σωματίδια και να αναπτυχθούν. Ανάλογα με το βακτήριο, μπορεί να αποβούν τοξικά λόγω των πρόσθετων που περιλαμβάνουν. Η βακτηριακή ανάπτυξη ποικίλει και έχει να κάνει με το είδη υπάρχον DOM στα νερά αλλά και με το είδος του βακτηρίου. Ενώ, πέρα από τα βακτήρια έχει παρατηρηθεί ανάπτυξη της *Daphnia* όταν τρεφόταν με μικροπλαστικά το ίδιο αποτελεσματικά με όταν τρέφονταν με φύκια^(39,40).

4. Σύνθεση πλαστικού

4.1 Πολυμερή

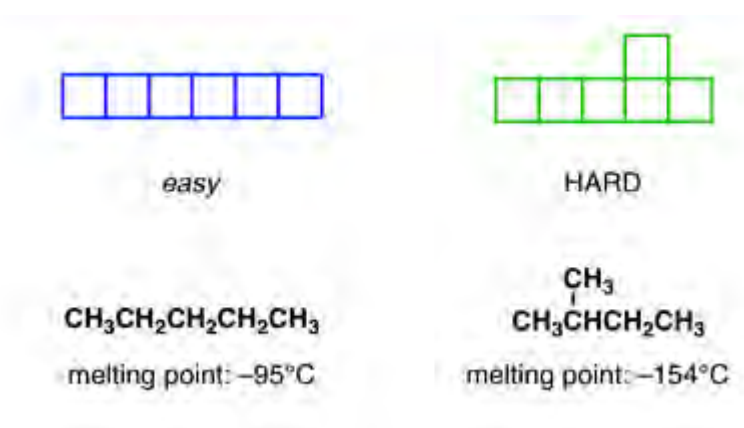
Όπως αναφέρθηκε, για την παρασκευή του πλαστικού χρησιμοποιούνται είτε πετρέλαιο είτε το φυσικό αέριο όπου γίνεται η διάσπασή τους σε μικρότερα μόρια (μονομερή) και αργότερα ανασυνδιάζονται σε πολυμερή με την βοήθεια της πίεσης και της θερμοκρασίας. Ενώ, παράλληλα γίνεται προσθήκη χημικών ουσιών για τον προσδιορισμό των ιδιαίτερων ιδιοτήτων των πλαστικών⁽⁴¹⁾.

Το είδος του μονομερούς είναι αυτό το οποίο θα καθορίσει τα τελικά χαρακτηριστικά και την εφαρμογή του τελικού προϊόντος. Ένας χαρακτηρισμός για την τελική τους εφαρμογή είναι η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g), όπου εάν είναι χαμηλή τότε τα μόρια του

πλαστικού είναι πιο εύκαμπτα και το τελικό προϊόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σακούλες ή καουτσούκ. Ενώ, εάν η T_g είναι υψηλή τότε τα μόρια είναι πιο άκαμπτα. Αυτό είναι σημαντικό, δεδομένου ότι ο τύπος και το ποσοστό του μονομερούς είναι το συστατικό (των μικρο-πλαστικών) με τη μεγαλύτερη συμβολή στην τοξικότητα. Ακόμη, για τα τελικά χαρακτηριστικά των πλαστικών είναι υπεύθυνο το μοριακό βάρος (όπου η αύξησή του αυξάνει την T_g) και ο βαθμός διακλάδωσής τους.⁽⁴²⁾ Από την άλλη, τα μοριακά βάρη των πολυμερών που χρησιμοποιούνται συχνότερα, κυμαίνονται μεταξύ 0,8 και 2,3 g/cm^3 .⁽⁴³⁾

Επίσης, υπάρχει η κατηγορία των θερμοπλαστικών, όπου είναι τα πλαστικά τα οποία σε υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να λιώσουν, ενώ παράλληλα έχουν την ιδιότητα και να ανασχηματιστούν. Μερικά παραδείγματα των θερμοπλαστικών είναι πολυαιθυλένιο (*PE*), το πολυπροπυλένιο (*PP*), το χλωριούχο πολυβινύλιο (*PVC*), το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (*PET*), το πολυστυρένιο (*PS*) και το πολυαμίδιο (*PA*) (πίνακας 1 και 2). Ενώ η άλλη κατηγορία είναι τα θερμοσκληρυνόμενα τα οποία δεν μπορούν να επαναλιωθούν και να ανασχηματιστούν λόγω του σχηματισμού ενός μη αναστρέψιμου τρισδιάστατου δικτύου έναντι των γραμμικών ή διακλαδισμένων αλυσίδων. Μερικά παραδείγματα είναι οι πολυουρεθάνες (*PUR*), οι ακόρεστοι πολυεστέρες (*UPR*), η σιλικόνη και οι εποξειδικές, μελαμινικές, φαινολικές και ακρυλικές ρητίνες. Τα θερμοπλαστικά και τα θερμοσκληρυνόμενα μπορούν να συνδυαστούν με ίνες και να προσδώσουν ένα πολυμερές ενισχυμένο με ίνες (*FRP*).⁽¹⁾

Στην εικόνα 3 μπορούμε να δούμε τις διαφορές στα σημεία τήξης των γραμμικών και των διακλαδισμένων αλυσίδων.



Εικόνα 3: Διαφορές στα σημεία τήξης γραμμικών και διακλαδισμένων αλυσίδων

Το πολυμεθακρυλικό μεθύλιο (*PMMA*) λόγω των ιδιοτήτων του όπου είναι σκληρό και διαφανές πολυμερές χρησιμοποιείται ως τεχνητό γυαλί (πλεξιγκλάς) - το πολυαιθυλένιο (*PE*) χρησιμοποιείται σε πλαστικές μεμβράνες και δοχεία τροφίμων ή ποτών λόγω του ότι είναι αδιάβροχο και συνήθως διαφανές υλικό. Το πολυαμίδιο 66 ή νάιλον 66 (*PA 66*) έχει υψηλή αντοχή στην τριβή, είναι ένα ημικρυσταλλικό θερμοπλαστικό και χρησιμοποιείται σε κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα. Το πολύ (τερεφθαλικό αιθυλένιο) (*PET*) χρησιμοποιείται κυρίως σε μπουκάλια ποτών λόγω του ότι η διαπερατότητα σε αέρια και υγρά (π.χ. διοξείδιο του άνθρακα) είναι χαμηλή.⁽³²⁾ Το πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (*LDPE*), για παράδειγμα, είναι σκληρό, εύκαμπτο και διαφανές, και γι' αυτό χρησιμοποιείται για την κατασκευή ταινιών. Το πολυπροπυλένιο (*PP*) έχει υψηλό σημείο τήξης και είναι χημικά ανθεκτικό, χαρακτηριστικά τα οποία το καθιστούν κατάλληλο για τη χρήση προϊόντων με υψηλής θερμοκρασίας υγρά⁽⁴¹⁾.

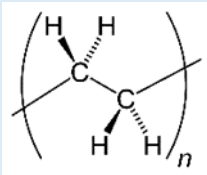
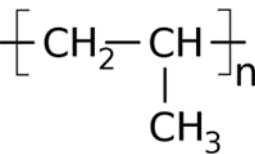
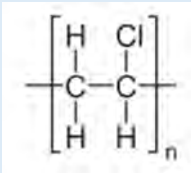
Επίσης, υπάρχουν πλαστικά τα οποία κατασκευάζονται από βιοπολυμερή, όπου η προέλευση των πολυμερών είναι βιολογική, όπως είναι το καλαμπόκι, το κέλυφος γαρίδας και το ζαχαροκάλαμο^(1,41). Παράδειγμα πλαστικού από βιοπολυμερή είναι το *Ingeo* και το *PlantBottle* της *Coca-Cola*, όπου το πολυμερές πολυλακτίδιο (*PLA*) παράγεται από το καλαμπόκι. Το *PlantBottle* είναι *PET*, το οποίο χρησιμοποιεί μονοαιθυλενογλυκόλη (*MEG*), το οποίο αποτελεί το 30% ενώ το υπόλοιπο 70% είναι τερεφθαλικό οξύ (*PTA*). Το πλαστικό αυτό, βιολογικής προέλευσης, είναι χημικά πανομοιότυπο με αυτό της ορυκτής προελεύσεως το οποίο δεν προσδίδει καλύτερη βιοδιασπασιμότητα στο προϊόν. Η βιοαποικοδόμηση είναι εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι η θερμοκρασία, η υγρασία και τα μικροβιολογικό φορτίο.⁽⁴⁾ Τα συνθετικά πολυμερή δεν χρησιμοποιούνται σε καθαρή μορφή, αλλά απεναντίας γίνεται εμπλουτισμός τους με χημικά πρόσθετα τα οποία τους προσδίδουν τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά.⁽⁴²⁾

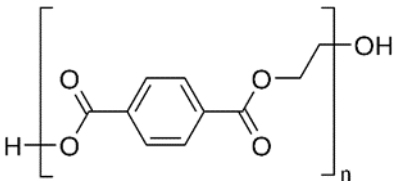
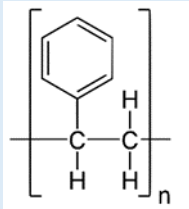
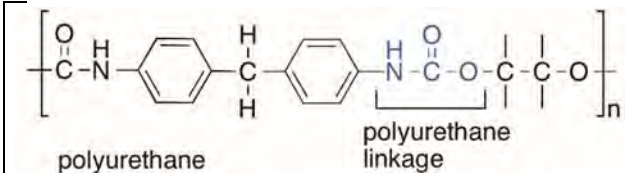
Στον πίνακα 1 φαίνονται τα πιο συχνά πολυμερή που χρησιμοποιούνται, η ελάχιστη και η μέγιστη πυκνότητά τους αλλά και η κύρια χρήση τους στην αγορά. Ενώ, στον πίνακα 2 φαίνονται τα πλαστικά με τον μοριακό τους τύπο και τη χημική δομή τους.

Πίνακας 1: Είδος του πολυμερούς, η συντομογραφία του, η ελάχιστη και η μέγιστη πυκνότητά τους αλλά και η κύρια χρήση τους. (van Emmerik T & Schwarz A, 2020)(14)

Polymer	Abbreviation	Density (g/cm ³)		Main application
		Min	Max	
Polyethylene	PE	0.91	0.97	Packaging
Polypropylene	PP	0.9	0.91	Many applications, but mainly packaging
Polyester	PES	1.24	2.3	Textiles
Polyethylene terephthalate	PET	1.37	1.45	Packaging
Polystyrene	PS	1.01	1.04	Packaging
Expanded polystyrene	EPS	0.016	0.640	Food packaging, construction material
Ethylene vinyl acetate	EVA	0.92	0.94	Others
Alkyd	Al	1.67	2.1	Paints, fibers
Polyvinyl chloride	PVC	1.16	1.58	Building and construction
Polymethyl methacrylate	PMMA	1.17	1.2	Electronics (touch screens)
Polyamide (nylon)	PA	1.02	1.05	Automotive, textiles
Polyacrylonitrile	PAN	1.09	1.2	Textiles
Polyvinyl alcohol	PVOH	1.19	1.31	Textiles
Acrylonitrile butadiene styrene	ABS	1.06	1.08	Electronics
Polyurethane	PUR	0.03	0.1	Building and construction

Πίνακας 2: Πολυμερή πλαστικών, ο μοριακός τους τύπος και η χημική δομή τους.

Πολυμερή	Μοριακός τύπος	Χημική δομή	Πηγή
polyethylene (PE)	(C ₂ H ₄) _n		https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6325#section=Molecular-Formula
polypropylene (PP)	(C ₃ H ₆) _n		https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ppropylene#section=3D-Conformer
polyvinyl chloride (PVC)	(C ₂ H ₃ Cl) _n		https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Vinyl%20Chloride#section=Names-and-Identifiers

polyethylene terephthalate (PET)	$(C_{10}H_8O_4)_n$		https://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene_terephthalate
polystyrene (PS)	$(C_8H_8)_n$		https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Styrene
polyurethanes (PUR)			https://en.wikipedia.org/wiki/Polyurethane

4.2 πρόσθετα

Τα πρόσθετα είναι χημικές ουσίες οι οποίες προστίθενται σε διάφορα πολυμερή ώστε να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά τους, όπως είναι η ευκολία επεξεργασίας τους, παραμετροποίηση της διάρκειας ζωής τους, βελτίωση της απόδοσης και της λειτουργικότητάς τους. Συνήθως, οι ποσότητες των πρόσθετων στα πλαστικά ποικίλουν, με τις πιο σύνηθες ποσότητες, ανάλογα το πολυμερές, να είναι από 2 έως 35%.^(43,44) Τα περισσότερα πρόσθετα δεν συνδέονται χημικά με τα πολυμερή του πλαστικού ως εκ τούτου έχουν την δυνατότητα να εκβληθούν με την φθορά των πλαστικών στο περιβάλλοντα χώρο^(45,46). Υπολογίζεται πως προστίθενται ετησίως περίπου 27 εκατομμύρια τόνοι πρόσθετων στα πλαστικά⁽²⁰⁾. Ακόμη, τα πρόσθετα υπάρχουν σχεδόν σε όλα τα πλαστικά και υπάρχουν διάφορες κατηγορίες όπως είναι οι σταθεροποιητές, οι αντιστατικοί παράγοντες, οι επιβραδυντές φλόγας, οι πλαστικοποιητές, οι παράγοντες σκλήρυνσης, τα βιοκτόνα, οι χρωστικές κ.α.⁽⁴⁴⁾

4.2.1 Πλαστικοποιητές

Οι πλαστικοποιητές είναι πρόσθετα τα οποία χρησιμοποιούνται για να προσδώσουν καλύτερη ελαστικότητα, λόγω της χαλάρωσης των διπολικών δυνάμεων μεταξύ των

πολυμερών, αλλά μπορούν να προσδώσουν και ανθεκτικότητα στα πολυμερή (Πίνακας X). Οι φθαλικοί εστέρες (*PAEs*), κυρίως οι *DEHP*, είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται ευρέως και αποτελούν περίπου το 80% κατ' όγκο των *PVC*, ενώ αντιθέτως τα *PET* μπορεί να περιέχουν διάφορους πλαστικοποιητές όπως είναι *DPP*, *DEHA*, *DOA*, και *DEP*. Αυτό το υψηλό ποσοστό σύνθεσης αποκάλυψε ότι το σημαντικό συστατικό που σχετίζεται με την τυχόν τοξικότητα των συγκεκριμένων μικρο-πλαστικών δεν είναι πλέον το πολυμερές (στην περίπτωση αυτή το *PVC*) αλλά ένα από τα πρόσθετα και ειδικότερα ο πλαστικοποιητής. Ακόμη, έχει παρατηρηθεί πως οι φθαλικές ενώσεις μπορούν να προσβάλουν τον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της σκόνη ή του αέρα αλλά και μέσω της τροφής.^(44,47,48) Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι πλαστικοποιητές είναι η δισφαινόλη Α και ο φθαλικός εστέρας, όπου οι ουσίες αυτές έχουν παρατηρηθεί στο 75-90% του γενικού πληθυσμού.⁽⁴⁹⁾ Οι φθαλικές ενώσεις και η δισφαινόλη Α είναι μερικές από αυτές τις ουσίες που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τη γονιμότητα, ευθύνονται για καρκίνο, αλλεργίες και άσθμα.⁽³⁵⁾ Τα πρόσθετα που προστίθενται συχνότερα στα πλαστικά είναι οι πλαστικοποιητές και οι επιβραδυντές φλόγας. Αυτές οι χημικές ουσίες μπορεί να είναι επικίνδυνες για την υγεία, καθώς έχουν εντοπιστεί φθαλικές ενώσεις (*PAEs*) και βρωμιούχα επιβραδυντικά φλόγας (*BFRs*).⁽⁵⁰⁾ Ενώ, η μακροχρόνια έκθεση στη δισφαινόλη Α μπορεί να προκαλέσει καρδιακές παθήσεις.⁽⁴⁹⁾

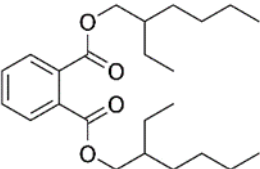
Από την άλλη, οι σταθεροποιητές είναι ουσίες οι οποίες προστατεύουν το πλαστικό από την αυτοοξειδωση, καταστρέφοντας τα υπεροξυπεροξειδία, η οποία προκαλείται από την καταπόνηση του πλαστικού λόγω της θερμότητας, φωτός ή και μηχανικά. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται διάσπαση των αλυσίδων με σχηματισμό υπεροξυπεροξειδίων, τα οποία διασπώνται μετέπειτα σε ρίζες καταστρέφοντας τις αλυσίδες πολυμερισμού.^(47,51) Οι πιο συχνά χρησιμοποιήσιμες είναι οι αρυλαμίνες (*BHT*, *BHA*, *Irganox 1010*, *BPA* και *Cyanox 2246* και *425*) όπου προστίθενται στις πλαστικές συσκευασίες τροφίμων. Ενώ, γίνεται χρήση και των φαινολών και οι οργανοφωσφιτών (*TNPP* και *Irgafos 168*). Υπάρχουν και οι σταθεροποιητές θερμότητας οι οποίοι βοηθούν τα πλαστικά να είναι πιο ανθεκτικά στην διάσπαση των πολυμερών λόγω της υψηλής θερμότητας. Τα πολυμερή όπως το *PVC*, *PVDC*, συμπολυμερή χλωριούχου βινυλίου και τα μείγματα *PVC* για να διατηρήσουν τα χαρακτηριστικά τους είναι απαραίτητο η προσθήκη τέτοιων σταθεροποιητών ενώ απεναντίας υπάρχουν και πολυμερή όπως το *LDPE* και τα πολυαμίδια, τα οποία διατηρούν τις ιδιότητές τους και χωρίς τους σταθεροποιητές.^(44,52)

Ένα ακόμη παράδειγμα είναι τα βρωμιούχα επιβραδυντικά φλόγας (*BFR*) όπου σε υψηλές θερμοκρασίες απελευθερώνουν ρίζες βρωμίου οι οποίες έχουν την ιδιότητα να δεσμεύουν τις αντιδραστικές ρίζες υδρογόνου σε περίπτωση φωτιάς μειώνοντας την αλληλεπίδραση με το οξυγόνο. Λόγω έλλειψης ομοιοπολικών δεσμών τα *BFR* μπορούν να εκπλυθούν στο περιβάλλον κατά την παραγωγή, την (επαν)επεξεργασία, τη μεταφορά, τη χρήση και την αποθήκευση.⁽⁴⁷⁾

Άλλες ουσίες που μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως πρόσθετα είναι αλκυλοφαινόλες (*AP*), δηλαδή η οκτυλοφαινόλη (*OP*) και η εννεύλοφαινόλες (*NP*) οι οποίες χρησιμοποιούνται στα στεγανωτικά και στα προϊόντα επικάλυψης.⁽⁵³⁾ Ως πληρωτικά είναι η μαρμαρυγία, ο τάλκης, ο καολίνης, ο άργιλος, το ανθρακικό ασβέστιο, το θειικό βάριο κ.α. Ως ενισχυτικά οι ίνες γυαλιού και άνθρακα. Ενώ, τα αμίδια λιπαρών οξέων, οι εστέρες λιπαρών οξέων, οι μεταλλικοί στεατικοί εστέρες (π.χ. στεατικός ψευδάργυρος) χρησιμεύουν ως ενώσεις ολίσθησης, δηλαδή βοηθούν στην μείωση της τριβής της επιφάνειας⁽⁴⁴⁾

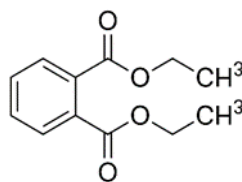
Τέλος, μερικές ενώσεις είναι σε απαγόρευση είτε σε περιορισμό λόγω της πιθανής τους επίπτωσης στον ανθρώπινο οργανισμό. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι οι εστέρες φθαλικών εστέρων και μερικοί πολυβρωμιωμένοι διφαινυλαιθέρες (*PBDE*) και τα συγγενή στοιχεία του εξαβρωμοκυκλοδεκανίου (*HBCTD*) που χρησιμοποιούνται ως *BFRs*. Ακόμη, τα πλαστικά που έρχονται σε επαφή με τα τρόφιμα έχουν μερικούς περιορισμούς διάχυσης όπως είναι με το *BPA* όπου το έχει οριστεί το όριο διάχυσης τα 0,5 mg/kg τροφίμου.^(53,54,55) Στον πίνακα 3 φαίνονται τα πρόσθετα με τον μοριακό τους τύπο και τη χημική δομή τους. Ενώ, στον πίνακα 4 αναφέρονται μερικά παραδείγματα από διάφορα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται στα πλαστικά, ενώ ο αναλυτικός πίνακας μπορεί να βρεθεί [εδώ](#).

Πίνακας 3: πρόσθετα με τον μοριακό τους τύπο και τη χημική δομή τους

Πρόσθετα	Μοριακός τύπος	Χημική δομή	Πηγή
Bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)	C ₂₄ H ₃₈ O ₄		https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/8343

Diethyl
phthalate
(DEP)

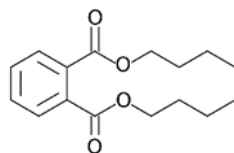
$C_{12}H_{14}O_4$



<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6781>

Dibutyl
phthalate
(DBP)

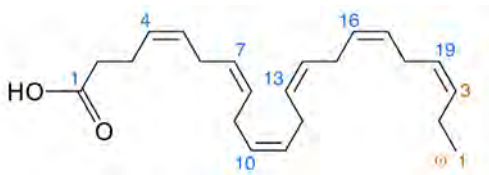
$C_{16}H_{22}O_4$



<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/3026>

Docosahexaen
oic acid (DHA)

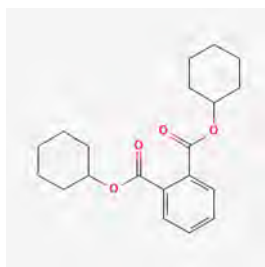
$C_{22}H_{32}O_2$



<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Docosahexaenoic-Acid>

Dicyclohexyl
phthalate
(DCHP)

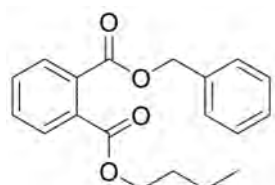
$C_{20}H_{30}O_4$



<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Dicyclohexyl-phthalate>

Benzyl butyl
phthalate
(BBP)

$C_{19}H_{20}O_4$



<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Benzyl-butyl-phthalate>

Πίνακας 4: κατηγορίες πρόσθετων, αρίθμηση με βάση την Ε.Ε, ο αριθμός CAS, άλλες χρήσεις που ενδέχεται να έχουν, τύπος πολυμερούς και η % ποσότητα που χρησιμοποιείται στο εκάστοτε πολυμερές. (ECHA, 2018)

Πρόσθετα	Αριθμός Ευρωπαϊκής Ένωσης (EC number)	Αριθμός CAS	Χημική ονοματολογία	Άλλη λειτουργία σε πλαστικό	Τύπος πολυμερούς	Σύνηθη συγκέντρωση σε %
Σταθεροποιητές φωτός	411-380-6	147315-50-2	2-(4,6-diphenyl-1,3,5-triazin-2-yl)-5-((hexyl)oxy)phenol	Άλλος σταθεροποιητής, αντιοξειδωτικό	PVC (soft), PVC (rigid), PET, PMMA,	6

PC						
	413-610-0	124172-53-8	N,N'-1,6-hexanediylbis(N-(2,2,6,6-tetramethylpiperidin-4-yl)formamide	-	Polyolefin-I, Polyolefin-II, ABS, PMMA, PA, (E)PS	0.5 - 0.8
	403-800-1	103597-45-1	2,2'-methylenebis(6-(2H-benzotriazol-2-yl)-4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)phenol)	Άλλος σταθεροποιητής, αντιοξειδωτικό	PMMA, PC	0.2 - 6.0
	274-570-6	70321-86-7	2-(2H-benzotriazol-2-yl)-4,6-bis(1-methyl-1-phenylethyl)phenol	Άλλος σταθεροποιητής, αντιοξειδωτικό	Polyolefin-I, PUR, Polyolefin-II, PVC (soft), ABS, PVC (rigid), PET, PMMA, PA, PC, (E)PS PVC (soft), ABS, PVC (rigid), PA, PC, (E)PS	0.2 - 5.0
	245-950-9	23949-66-8	N-(2-ethoxyphenyl)-N'-(2-ethylphenyl)oxamide	Άλλος σταθεροποιητής, αντιοξειδωτικό	Polyolefin-I, PUR, Polyolefin-II, PVC (soft), ABS, PVC (rigid), PA, PC, (E)PS	0.7
χρωστική ουσία	231-784-4	7727-43-7	Barium sulfate	-	Polyolefin-I, PUR, Polyolefin-II, PVC (soft), ABS, PVC (rigid), PET, PMMA, PA, PC, (E)PS	50
	236-675-5	13463-67-7	Titanium dioxide	Σταθεροποιητής υπεριώδους ακτινοβολίας/φωτός	Polyolefin-I, PUR, Polyolefin-II, PVC (soft), ABS, PVC (rigid), PET, PMMA; PA, PC, (E)PS	5.0 - 20.0
	215-609-9	1333-86-4	Carbon black	αντιστατικό, σταθεροποιητής υπεριώδους ακτινοβολίας/φωτός	Polyolefin-I, PUR, Polyolefin-II, PVC (soft), ABS, PVC (rigid), PET, PMMA, PA, PC, (E)PS	2.5 - 40.0
Επιβραδυντικά φλόγας	215-251-3	1314-98-3	Zinc sulphide	-	Polyolefin-I, PUR, Polyolefin-II, ABS, PET, PMMA, PA, PC, (E)PS	2.0 - 10.0
	203-615-4	108-78-1	Melamine	-	PUR	25
	215-170-3	1309-42-8	Magnesium hydroxide	-	Polyolefin-I, Polyolefin-II, ABS	4.0 - 8.0
	215-175-0	1309-64-4	Diantimony trioxide	-	Polyolefin-I, Polyolefin-II, PVC (soft),	8

					ABS, PA	
	244-492-7	21645-51-2	Aluminium hydroxide	χρωστική ουσία	Polyolefin-I, PUR, PA	0.25 - 50.0
	273-066-3	68937-41-7	Phenol, isopropylated, phosphate (3:1)	πλαστικοποιητές	PUR, PVC (soft)	15.0 - 35.0
Πλαστικοποιητές	201-071-2	77-94-1	Tributyl citrate	-	PUR, PVC (soft)	10.0 - 35.0
	204-211-0	117-81-7	Di-2-ethylhexyl phthalate	-	PUR, PVC (soft), ABS, (E)PS	2.0 - 35.0
	204-112-2	115-86-6	Triphenyl phosphate	Επιβραδυντικά φλόγας	ABS	2
	203-051-9	102-76-1	Triacetin		PVC (soft)	10

5. Τοξικότητα

Στην μελέτη των *Yang Xu et. al. (2019)* χορηγήθηκαν 4-400 mg/kg ανά ημέρα *ATEC*, *ATHC* και *DEHP* σε ποντίκια για 28 ημέρες και παρατηρήθηκε πως στην ομάδα που ταΐστηκε με 400 mg/kg *DEHP* πως είχαν αυξημένο βάρος ήπατος, των επινεφριδίων, του θύμου, του σπλήνα, των νεφρών, των όρχεων και του προστάτη. Ακόμη, στα ποντίκια που χορηγήθηκε 400 mg/kg *ATEC* είχαν αυξημένο βάρος των νεφρών, των επινεφριδίων και των όρχεων, ενώ στην ομάδα που χορηγήθηκε 40 mg/kg ποσότητα *ATEC* είχαν αυξημένο μόνο τα επινεφρίδια και τους όρχεις. Παράλληλα, φάνηκε πως η *ATHC* μείωσε τα *T3* ενώ αύξησε τα *T4*.⁽⁵⁶⁾ Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η χορήγηση ενδοφλέβια της *DEHP* σε ποσότητες 2,1-27,5 mg/kg ημερησίως σε πίθηκους μακροχρόνια όπου είχε ως αποτέλεσμα την πρόκληση της ηπατοτοξικότητας. Στην μελέτη των 96 παρατηρήθηκε ηπατοτοξικότητα σε επαναλαμβανόμενη δόση *DEHP* στα 400 mg/kg-ημέρα ενώ οι *ATEC* και *ATHC* δεν επηρέασε το ήπαρ.⁽⁵⁶⁾

Ακόμη, πραγματοποιήθηκε έκθεση ψαριών *medaka* σε 20-200 µg/L *DEHP* για 21 ημέρες μείωσε το σωματικό τους βάρος και προκάλεσε ανωμαλίες στην κολυμβητική συμπεριφορά. Ενώ, η έκθεση σε *DEHP* (0-400 µg/L) για 14 ημέρες σε αφρικανικά γατόψαρα επηρέασε την έκκριση νεφρικών στεροειδών.⁽⁵⁷⁾ Όταν εκτέθηκαν ψάρια ζέβρας κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, σε συγκεντρώσεις *PAEs* 50 µg/L, παρουσίασαν ανώμαλο κρόκο και μειωμένο μήκος σώματος. Ενώ, μια μελέτη σε έγκυες τρωκτικές που εκτέθηκαν σε *PAEs* (*DBP*) είχε ως αποτέλεσμα την απόπτωση των νευρώνων του ιππόκαμπου σε νεογέννητους αρουραίους, επηρεάζοντας τη χωρική μάθηση και τη μνήμη στους απογόνους αρουραίους.⁽⁵⁸⁾ *Federica*

Arrigo et. al. εξέθεσαν αρουραίους σε *DBP* με ταυτόχρονη έκθεση σε άλλους φθαλικούς εστέρες προκαλώντας αύξηση της συστολικής αρτηριακής πίεσης. Οι φθαλικές ενώσεις, λόγω της λιποδιαλυτότητάς τους, εισέρχονται στην ερυθροκυτταρική μεμβράνη και αλληλεπιδρούν με την αιμοσφαιρίνη, μεταβάλλοντας τη δομή και τη λειτουργία της και προκαλώντας επιτάχυνση της ερυθροποίησης, μείωση των ερυθροκυττάρων και αναιμία (*Sicińska et al., 2020*). Οι φθαλικές ενώσεις, συμπεριλαμβανομένης της *DEHP*, επηρεάζουν την πλασματική μεμβράνη των ερυθροκυττάρων, προκαλώντας οσμωτική ευθραυστότητα.⁽⁵⁹⁾

Σε μια άλλη έρευνα με δοκιμή *in vitro* με χρήση ανθρώπινων ερυθροκυττάρων, τα οποία επώαστηκαν με διαφορετικές συγκεντρώσεις *BPA-A* (25-150 µg mL) για 4 ώρες στους 37 °C, αναφέρθηκε υπεροξείδωση λιπιδίων (*LPO*) και αύξηση των *SOD*, *CAT* και *GPx*. Οι *Dong et al., (2018)* αξιολόγησαν την πιθανή διαγενεακή επίδραση της *BPA* (0,1, 1, 10 µg L) και της δισφαινόλης S (*BPS*, 10 mg L) και δισφαινόλης F (*BPF*, 10 mg L) σε ψάρια ζέβρα. Οι απόγονοι που προέρχονταν από τους εκτεθειμένους γονείς παρουσίασαν βιοσυσσώρευση της *BPA* και των αναλόγων της με εξασθενημένο ανοσοποιητικό σύστημα και χαμηλότερη επιβιωσιμότητα. Σε μια άλλη *in vitro* μελέτη, οι ίδιες ενώσεις (*BPA*, *BPF*, *BPS* και *BPAF*) σε χαμηλές συγκεντρώσεις (0,02-0,1 mg mL) ήταν ικανές να μεταβάλλουν το μέγεθος και την κοκκοποίηση των *PBMCs* και να εξαντλήσουν το ενδοκυτταρικό επίπεδο *ATP* που υποδηλώνει ενίσχυση της παραγωγής *ROS*, οδηγεί σε πτώση της βιωσιμότητας των κυττάρων.⁽⁶⁰⁾

Από την άλλη οι *Yang Xu et. al. (2022)* έθεσαν γυρίνους σε *DBP* με συγκέντρωση 5,0 και 10 mg/L και παρατηρήθηκε πως το μήκος του σώματος μειώθηκε σημαντικά. Το ίδιο φάνηκε και στην *BBP* σε συγκέντρωση των 10 20,0 mg/L ενώ στην *DOTP* το μήκος μειώθηκε στις συγκεντρώσεις 150,0, 120,0 και 120,0 mg/L. Ακόμη υπήρχαν και ανώμαλη περιτύλιξη του εντέρου, η δυσμορφία του κεφαλιού και κοιλιακό φούσκωμα σε έκθεση *DBP* 10 mg/L. Στην περίπτωση της *BBP* στα 20 mg/L υπήρχε αυξημένη ανώμαλη περιτύλιξη του εντέρου, λυγισμένος κορμός, δυσπλασία κεφαλής και κοιλιακό φούσκωμα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει πως η επιβίωση των γυρίνων στα 20,0 mg/L *DBP* έπειτα από 72 ώρες ήταν χαμηλή ενώ στα 30 mg/L έπειτα από 48 ώρες επιβίωσαν μόνο το 32,5%. Ενώ, το *LC50* για τις 96 ώρες υπολογίστηκε 18,3 mg/L *DBP*.⁽⁶¹⁾

Σε άλλη μελέτη των *Yang Xu & Myung Chan Gye (2018)* υποβλήθηκαν *Xenopus embryos* σε *DBP* παρατήρησαν πως η επιβίωση σε 48 ώρες ήταν 32,5% σε συγκέντρωση 31,5 mg/L ενώ η *LC50* για τις 96 ώρες υπολογίστηκε 13,3 mg/L *DBP*. Ακόμη παρατηρήθηκε μειωμένο

συνολικό μήκος, το μήκος κεφαλής και το μήκος ουράς σε 6,3, 9,4 και 14,1 mg/L DBP. Αντιθέτως η έκθεση σε ATBC σε συγκεντρώσεις 15,8 mg/L είχε αυξημένο συνολικό μήκος, το μήκος κεφαλής και το μήκος ουράς, ενώ η LC50 υπολογίστηκε στις 96 ώρες 13,3 mg/L.⁽⁶²⁾ Ακόμη, έχει παρατηρηθεί μειωμένη ανογενετική απόσταση στα αρσενικά έμβρυα μετά από έκθεση εγκύων μητέρων σε δόσεις DBP σε δόσεις 500 mg/kg ή άνω⁽⁶³⁾.

Οι *Mylchreest et al.* παρατήρησαν ότι οι αυξημένες συχνότητες υποανάπτυκτης επιδιδυμίδας, ατροφίας των όρχεων, υποσπαδίας και έκτοπων ή απόντων όρχεων χαρακτηρίζουν έκθεση σε φθαλικούς εστέρες σε δόσεις 250 mg/kg/ημέρα ή υψηλότερες⁽⁶³⁾ Έτσι εκτέθηκαν έγκυοι, θηλυκοί αρουραίοι σε DiNP σε 400, 4000 και 20 000 ppm και φάνηκε πως μειώθηκε το βάρος των ωοθηκών και της μήτρας στους απογόνους F1 πριν από την εφηβεία.⁽⁶⁴⁾

Οι *Molina-Molina* και οι συνεργάτες της πρότειναν ότι τα BPS, BPF και BPA ενεργοποιούν αποτελεσματικά τα *bothers*, ιδίως το *er-β*. Η BPA και η BPF μπορούν να δράσουν ως ανταγωνιστές του υποδοχέα ανδρογόνων (*ar*). Με αυτόν τον τρόπο, η BPA και τα παράγωγά της διαταράσσουν πολλαπλούς NRs και, επομένως, μπορεί να παρεμβαίνουν στο ενδοκρινικό σύστημα. Ακόμη, παρατηρήθηκε πως σε χαμηλή συγκέντρωση (0,001, 0,01 και 0,1 mg mL), οι BPA, BPF, BPS ή BPAF ήταν σε θέση να προκαλέσουν οξειδωτική βλάβη στο DNA, αλλά σε σχετικά μακρά έκθεση (48 ώρες). Ακόμη έχει φανεί πως σε έκθεση ψαριών *zebrafish* φθαλικού διβουτυλεστέρα (DBP), φθαλικού διαιθυλεστέρα (DEP) (5, 50, 500 µg L⁻¹) ή του μείγματός τους (5, 500 µg L) είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση των αντιδραστικών ειδών οξυγόνου (ROS). Ενώ σε βραχυπρόθεσμη έκθεση σε DBP σε 0,02, 0,2, 2 mM ανέστειλε το σχηματισμό σε ουδετερόφιλα και μακροφάγα, σε *zebrafish*. Ενώ έχει παρατηρηθεί πως σε προνύμφες *Gobiocypris rarus* έκθεση σε BPA για 7 μέρες με συγκεντρώσεις 225µg/L είχε φλεγμονώδεις επιδράσεις, το οποίο συνδέεται με την αυξημένη παραγωγή ROS και μονοξειδίου του αζώτου (NO). Σε μελέτη των *Gu et al.* (2020), όπου κοινός κυπρίνος εκτέθηκε σε BPA σε διαφορετικές συγκεντρώσεις 0, 0,01, 0,1, 0,5 και 2 mg L για 30 ημέρες και φάνηκε πως υπήρχε αυξημένη οξειδωτική βλάβη ενώ ταυτόχρονα υπήρχε και ανοσοκαταστολή και φλεγμονώδους απόκρισης.⁽⁶⁰⁾

Έχει φανεί πως η έκθεση αρουραίων σε DEHP (250, 500 και 750 mg/kg/ημέρα) προκαλεί μεταβολή των γονιδίων που εμπλέκονται στη σηματοδότηση του TH. Παρατηρήθηκε πως σε δόσεις των 500 και 750 mg/kg/ημέρα, η ολική T4 (TT4) και η ελεύθερη T4 (FT4) μειώθηκαν

ενώ τα επίπεδα της θυρεοειδούς υπεροξειδάσης (*TPO*) στον ορό μειώθηκαν. Σε μελέτη των *Baralic et al. (2020)* οι αρουραίοι που έλαβαν *DEHP* (150, 300 και 600 mg/ kg) για 90 μέρες, είχε ως αποτέλεσμα ιστολογικές αλλαγές στον θυρεοειδή αδένα ενώ παράλληλα μεταβλήθηκε η έκφραση γονιδίων και πρωτεϊνών που εμπλέκονται στα μονοπάτια σηματοδότησης *TSH/TSHr*. Σε άλλη μελέτη όπου εκτεθήκανε αρουραίοι σε 0, 5, 50 και 500 mg/kg/ημέρα *DEHP* για 28 ημέρες φάνηκε πως στις υψηλές συγκεντρώσεις *DEHP* μειώνονται τα πρωτεϊνικά επίπεδα της *TRH* στον υποθάλαμο, τα πρωτεϊνικά και *mRNA* επίπεδα της *TRHr* αυξάνονται στον υποθάλαμο και μειώνονται τα *mRNA* επίπεδα της *TSHr* στον θυρεοειδή.⁽⁶⁵⁾

Επιπρόσθετα η χορήγηση 1250 mg/ kg ημέρα *DEHP* για δυο εβδομάδες σε αρουραίους φάνηκε να προκαλεί ηπατοκαρκίνωμα και αναπαραγωγική δυσλειτουργία ενώ σε σίτιση αρσενικών ποντικών με περιεκτικότητα *DEHP* 1,2% (περίπου 1700 mg/ kg ημέρα) για 24 εβδομάδες προκάλεσε κυστική νεφρική σωληναριακή νόσο και νεφρική ανεπάρκεια.⁽⁵⁶⁾ Οι *Wu et al. (2017)* ελέγξαν ούρα οκτώ μονοφθαλαμικών μεταβολιτών (*mPAEs*) και της λειτουργίας του θυρεοειδούς στην Κίνα με 216 παιδιά ηλικίας 5-7 ετών. Φάνηκε πως συγκεντρώσεις οι περισσότερες από τις *mPAEs* συσχετίστηκαν θετικά με την *FT3* και την *FT4* υποδεικνύοντας την συσχέτιση έκθεσης των παιδιών σε φθαλικούς εστέρες με την επήρεια της *TH*.⁽⁶⁵⁾

Ακόμη, οι πλαστικοποιητές μπορούν να συνδεθούν και να ενεργοποιήσουν το *PPARγ* και ενδεχομένως να πυροδοτούν την αδιπογένεση στα ανθρώπινα προαδipoκύτταρα. Ο *PPARγ* είναι σημαντικός για την ρύθμιση της λειτουργίας των λιποκυττάρων και της διαφοροποίησης των προαδipoκυττάρων. Η βιωσιμότητα των κυττάρων *SGBS* που εκτέθηκαν σε *MHNP* και αυξήθηκε η συγκέντρωση των λιπιδίων στα 10 μM ενώ παρόμοια επίδραση είχαν και οι μεταβολίτες *DEHP* και *MEHP* στα κύτταρα *3T3-L1*. Παράλληλα φάνηκε πως οι πλαστικοποιητές, σε χαμηλές συγκεντρώσεις, μπορούν να προκαλέσουν οξειδωτικό στρες στα κύτταρα πειράζοντας την λειτουργία των μιτοχονδρίων.⁽⁶⁶⁾

Το *PCB 95* είναι μια λιπόφιλη ένωση και ανακατανέμεται περισσότερο σε ιστούς οι οποίοι έχουν μεγαλύτερη συγκέντρωση λίπους. Σε έρευνα σε ποντίκια φάνηκε η περιεκτικότητα *PCB 95* να είναι 8 φορές μεγαλύτερη στο λίπος έναντι το ήπαρ (8,8 και 72% αντίστοιχα). Ενώ, η του *PCB 95* στα λίπη εγκεφάλου και ήπατος ήταν παρόμοια παρόλο που ο εγκέφαλος έχει χαμηλότερα επίπεδα λίπους. Στην μελέτη των *Xueshu Li et. al (2023)* εκτέθηκαν ποντίκια σε *PCB* (1.0 mg/kg) και φάνηκε πως έπειτα από 24 ώρες τα επίπεδα *PCB* στον

λιπώδη ιστό ήταν 690 ng/g για τα αρσενικά ποντίκια *Cyp2abfgs-null* (MKO) και 1300 ng/g για τα ποντίκια που ήταν “άγρια”. Ενώ τα επίπεδα στο αίμα ήταν 9 ng/g στα ποντίκια θυλικά *Cyp2abfgs-null* (FKO) και 16 ng/g στα ποντίκια με *CYP2A6-transgenic* (MKI). Έχει φανεί πως το PCB 95 είναι ένας ισχυρός ευαισθητοποιητής του υποδοχέα ριανοδίνης (RyR)14 που επηρεάζει τη δενδριτική αρχιτεκτονική. Ακόμη οι Xueshu Li et. al. (2023) εκθέσαν αρουραίους σε PCB 95 μέσω της διαίτας της μητέρας, φάνηκε πως προάγει τη δενδριτική ανάπτυξη μέσω ενός μηχανισμού που περιλαμβάνει τους RyRs19 και μεταβάλλει τη συμπεριφορά. Έχει φανεί σε μελέτες *in vitro* και *in vivo* πως το PCB 95 οξειδώνεται από ένζυμα CYP2, όπως τα ανθρώπινα CYP2A6 και CYP2B6, σε υδροξυλιωμένους μεταβολίτες το οποίο παρατηρήθηκε στον εγκέφαλο ποντικών που εκτέθηκαν μέσω της διαίτας της μητέρας⁽⁶⁷⁾

Οι Nina Hårdnes Tremoen et. al. (2014) χρησιμοποίησαν H295R κύτταρα τα οποία εκτέθηκαν σε συγκεντρώσεις PCB: 4 μM ως η χαμηλή συγκέντρωση και 10 μM, 12,76 μM και 14,1 μM ως οι υψηλές συγκεντρώσεις για τα PCB 126, 153 και 118, αντίστοιχα. Η PCB 118 με την υψηλότερη συγκέντρωση αύξησε τη παραγωγή οιστραδιόλης, ενώ ταυτόχρονα παρατηρήθηκε αυξημένη παραγωγή κορτιζόλης και μειωμένη τεστοστερόνη. Αντιθέτως, η υψηλή συγκέντρωση PCB 153 αύξησε την παραγωγή οιστραδιόλης και προγεστερόνης και μείωσε τη τεστοστερόνη. Τέλος, με την έκθεση σε PCB 126 παρατηρήθηκε αύξηση της οιστραδιόλης, προγεστερόνης και σημαντική αύξηση της παραγωγής κορτιζόλης.⁽⁶⁸⁾

Σε μελέτη των Prabha Ranasinghe et. al. (2020) εκθέσαν προνύμφες ψαριών σε διάφορες συγκεντρώσεις PCB-95 (0,25 ppm, 0,5 ppm, 0,75 ppm και 1 ppm) έως τις 3 ημέρες μετά την γονιμοποίηση (DPF). Παρατηρήθηκε πως σε υψηλές συγκεντρώσεις των 0,75ppm και 1ppm τα ποσοστά επιβίωσης ήταν χαμηλότερα σε σχέση με την ομάδα ελέγχου, ξεκινώντας από τις 2 DPF. Ενώ ταυτοχρόνως φάνηκε να επηρεάζεται και ο χρόνος εκόλαφσης τους στις 3 DPF. Οι προνύμφες αυτές που εκκολάφθηκαν είχαν υψηλά ποσοστά μορφολογικών δυσμορφιών μετά τις 5 DPF, το οποίο επαναλήφθηκε σε τρεις επαναλήψεις. Ακόμη, φάνηκε να επηρεάζεται και το μήκος των ματιών αλλά και την καμπυλότητα της ουράς. Φάνηκε επίσης πως με την έκθεση σε PCB-95 επηρεάζεται και η περιοχή του *subpallium* προκαλώντας κυτταρικό θάνατο. Τέλος, παρατηρήθηκε μείωση ταχύτητας κολύμβησης το οποίο υποδηλώνει φυσιικές και νευρωνικές επιδράσεις με την έκθεση σε PCB⁽⁶⁹⁾

Το DEHP και το DBP είναι οι φθαλικές ενώσεις με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στον ατμοσφαιρικό αέρα, με αποτέλεσμα να γίνεται καθημερινή έκθεση σε αυτά μέσω του

δέρματος. Επίσης μέσω της καθημερινής χρήσης των *PCP* γίνεται έκθεση σε φθαλικές ενώσεις μέσω της πλαστικής συσκευασίας. Ακόμη τα βρέφη μπορούν να εκτεθούν σε αυτά μέσω του πιπιλίσματος των παιχνιδιών που περιέχουν *DEHP*, *DBP* και *BBP*. Ενώ έχει φανεί πως οι φθαλικές ενώσεις διαπερνούν τον φραγμό πλακούντα-αίματος το οποίο είναι η κύρια έκθεση στο έμβρυο. Από τις φθαλικές ενώσεις τα *DEHP* είναι αυτά που συναντώνται συχνότερα στα τρόφιμα. Ενώ έχει φανεί πως στον άνθρωπο το επίπεδο μη παρατηρούμενης ανεπιθύμητης ενέργειας για την *DEHP* στον άνθρωπο είναι 4,8 mg/kg σωματικού βάρους/ημέρα και η ανεκτή ημερήσια πρόσληψη (*TDI*) είναι 48 μg/kg σωματικού βάρους. Σε μελέτη σε τρωκτικά έχει φανεί πως η μέση θανατηφόρα δόση (*LD50*) των φθαλικών ενώσεων, είναι 1-30 g/kg σωματικού βάρους και η τοξικότητά τους συγκεντρώνεται κατά κύριο λόγο στο ήπαρ, στα νεφρά, τον ιστό του θυρεοειδούς αδένος και τους όρχεις. Ακόμη έχει παρατηρηθεί πως με την πρόσληψη λαχανικών από την εκτροφή τους σε πλαστικά θερμοκήπια η έκθεση των παιδιών ήταν 3 φορές μεγαλύτερη σε *DEHP* και *DnBP*. Γενικά τα τρόφιμα που είναι πλούσια σε λίπος έχουν μεγαλύτερη απορροφητικότητα σε φθαλικές ενώσεις από τις συσκευασίες.⁽⁷⁰⁾

Η μέση έκθεση σε *BPA* με βάση τους *Lorber et al.* Είναι 0,03 με 0,07 μg ανά kg σωματικού βάρους ανά ημέρα. Η *BPA* επηρεάζει αρνητικά το ενδοκρινικό σύστημα, ενώ έχει και αντιανδρογόνα αποτελέσματα. Αυτή η ουσία συνδέεται με τους υποδοχείς των οιστρογόνων (όπως οι *ER* άλφα και βήτα) και αλληλοεπιδρά με τις βιολογικές οδούς που σχετίζονται με τα οιστρογόνα. Η επίδρασή της στο ενδοκρινικό σύστημα οδηγεί σε σημαντική πίεση πάνω στον οστικό ιστό, προκαλώντας κυτταρικό θάνατο και βλάβη στο *DNA*. Επιπλέον, η *BPA* αναστέλλει τον σχηματισμό οστεοκλαστών *in vitro* και παρεμβαίνει στη διαφοροποίηση τόσο των οστεοβλαστών όσο και των οστεοκλαστών. Σε πειράματα με ωοθηκτομμένους αρουραίους, παρατηρήθηκε απώλεια τραπεζοειδούς οστού μετά από έκθεση στη *BPA*, με αυτό το φαινόμενο να εμφανίζεται κυρίως σε θηλυκούς αρουραίους, ενώ δεν παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση στους αρσενικούς αρουραίους, όπου η οστική πυκνότητα παρέμεινε υψηλότερη στις ομάδες που δεν είχαν εκτεθεί στη *BPA*.⁽⁷¹⁾

Έτσι, έγινε έκθεση 36 αρουραίων *Wistar* 10 εβδομάδων χωρισμένα σε 3 ομάδες, ομάδα ελέγχου, χαμηλής δόσης (10,2 μg *BPA* ανά kg) και υψηλής δόσης (156 μg *BPA* ανά kg) ανά ημέρα. Οι δοσολογίες αυτές ισοδυναμούν για έναν άνθρωπο 70 kg ως 714 μg *BPA* και 10.920 μg *BPA* ανά ημέρα αντίστοιχα. Έπειτα από 12 εβδομάδες χορήγησης *BPA* φάνηκε πως στην ομάδα με την υψηλή χορήγηση, η αναλογία οστικού ιστού με τον συνολικό ιστό ήταν

υψηλότερη συγκριτικά με την ομάδα χορήγησης χαμηλής δόσης. Ενώ παράλληλα φάνηκε να επηρεάζεται και ο αριθμός trabeculae όπου ήταν αυξημένος στα θηλυκά με την υψηλότερη δόση. Ακόμη επηρεάζεται και ο μυελός των οστών όπου η διατομή του ήταν υψηλότερη στην ομάδα με την υψηλή δόση σε σύγκριση με την ομάδα χορήγησης χαμηλής δόσης. Με βάση τη μελέτη των Miki *et.al.* η BPA, μέσω των στεροειδών υποδοχέων επηρεάζει τους ανθρώπινους οστεοβλάστες, όπου φάνηκε επίσης πως ενεργοποιείται ο ρυθμός κυτταρικού πολλαπλασιασμού και συσσώρευση κολλαγόνου στους οστεοβλάστες⁽⁷¹⁾

Στη μελέτη των Jun-Lin Lee *et. al.* (2022) χρησιμοποιήθηκε η χρώση Oil Red O η οποία έδειξε πως η έκθεση ποντικών σε BPA με FFA αύξησε την ενδοκυτταρική συσσώρευση λιπιδίων στα κύτταρα HUH-7 με δόσοεξαρτώμενο τρόπο. Δηλαδή σε έκθεση σε 10 μ M BPA για 6 ώρες αυξήθηκε την πρόσληψη λιπαρών οξέων και την ενδοκυτταρική συσσώρευση λιπιδίων. Ακόμη, η BPA βοηθά στην παραγωγή των ROS το οποίο φάνηκε όταν έγινε χορήγηση των NAC όπου τα ROS ήταν μειωμένα αλλά και μείωσε τη συσσώρευση λιπιδίων λόγω της BPA. Στη μελέτη αυτή τα ποντίκια τρεφόντουσαν καθημερινώς με τροφή και νερό εκτιθέμενο σε ομάδες ND, HFCCD, BPA + HFCCD και NAC + BPA + HFCCD τα οποία ήταν 2,9, 2,6, 2,4 και 2,6 g και 4,6, 4,3, 4,2 και 4,3 ml, αντίστοιχα. Φάνηκε πως το βάρος του σπλήνα και του ήπατος ήταν αυξημένο όταν έγινε χορήγηση BPA + HFCCD συγκριτικά με NAC + BPA + HFCCD. Ενώ ήταν υψηλά και τα επίπεδα τρανσαμινάσης (ALT), ινσουλίνης και ολικής χοληστερόλης στο πλάσμα, καθώς και η περιεκτικότητα του ήπατος σε ολική χοληστερόλη. Ακόμη όταν χορηγήθηκε η NAC, αποτράπηκε η ηπατική βλάβη που προκλήθηκε από το οξειδωτικό στρες που προκάλεσε η BPA σύμφωνα με τα επίπεδα 8-OHdG (δείκτης οξειδωτικής βλάβης του DNA). Σε ορισμένες μελέτες έχει φανεί πως η BPA μπορεί να προκαλέσει ηπατοστεάτωση στα ανθρώπινα κύτταρα ήπατος μέσω της ρύθμισης του ενδοκανναβινοειδούς συστήματος. Επιπλέον, η BPA παίζει ρόλο στην έναρξη και την εξέλιξη της NAFLD μέσω των πλειοτροπικών δράσεων σε βασικούς παθοφυσιολογικούς παράγοντες.⁽⁷²⁾

Σε *in vitro* πειράματα των Jun-Lin Lee *et. al.* (2022) φάνηκε πως η BPA βοήθησε στην πρόσληψη των λιπαρών οξέων ενισχύοντας τα επίπεδα των πρωτεϊνών C/EBP α και CD36 ως αποτέλεσμα της αυξημένης παραγωγής ROS. Ενώ σε *in vivo* φάνηκε πως όταν η παραγωγή των ROS αποκλείστηκε μειώθηκαν η επιδράσεις της BPA στην εξέλιξη της NAFLD. Έτσι οι Jun-Lin Lee *et. al.* (2022) συμπέραναν πως “η BPA και ένα HFCCD μπορούν να διεγείρουν τη συσσώρευση λιπιδίων στα ηπατοκύτταρα, να προκαλέσουν την παραγωγή ROS και να

προωθήσουν την εξέλιξη της *NAFLD*. Η ύπαρξη οξειδωτικού στρες έχει συσχετιστεί με τη *NAFLD*/μη αλκοολική στεατοηπατίτιδα (*NASH*)”.⁽⁷²⁾

Η *EFSA* προσδιόρισε πως ότι η συνολική διαιτητική πρόσληψη *PCB* μέσω των τροφίμων, όπως τα ψάρια, το κρέας και τα γαλακτοκομικά προϊόντα τα οποία είναι και τα τρόφιμα με την μεγαλύτερη έκθεση στα *PCBs*, κυμαινόταν από 1 έως 83 ng *PCB*/kg σωματικού βάρους (*bw*) ανά ημέρα. Ενώ, όσον αφορά τα *PAHs*, χρησιμοποιώντας το βενζο[α]πυρένιο ως δείκτη αναφοράς, η προσληψή τους ήταν από 4 έως 10 ng/kg σωματικού βάρους ανά ημέρα.⁽⁷³⁾ Ενώ ο *FDA* και ο *WHO* επιτρέπουν ως ημερήσια πρόσληψη *PCB* 6 μg/kg. Συγκεκριμένα Ο *FDA* επιτρέπει 0,2-3,0 ppm *PCBs* για όλα τα τρόφιμα, με όριο ανοχής στα ψάρια τα 2 ppm. Επίσης όσον αφορά τις συσκευασίες τα *PCB* επιτρέπονται σε χάρτινα υλικά συσκευασίας τροφίμων στα 10 ppm⁽⁷⁴⁾

6. Σκοπός

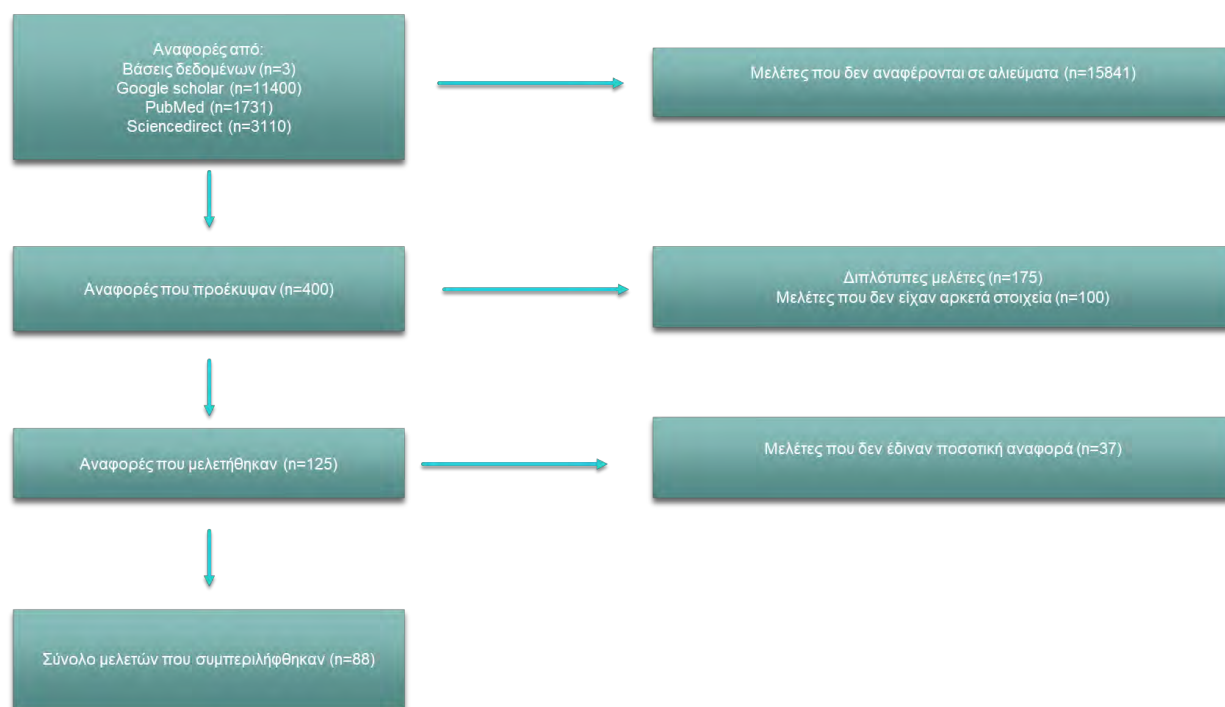
Σκοπός της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας ήταν η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με την παρουσία των μικροπλαστικών (MP) στα αλιεύματα και την κατανομή με βάση τη χώρα προέλευσής τους στις 5 ηπείρους (Ευρώπη, Αμερική, Αφρική, Ασία και Ωκεανία). Στην ανάλυση αυτή η παρουσία των μικροπλαστικών χωρίστηκε: 1) ανά είδος θαλασσινού, 2) αριθμό των δειγμάτων, 3) αριθμό των μικροπλαστικών, 4) το πολυμερές που τα αποτελεί, 5) το μέγεθός τους, 6) το σχήμα τους 7) το χρώμα τους.

Κεφ 2. Υλικά και μέθοδοι

2.1 Συλλογή δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων έγινε μέσω χρήσης τριών βάσεων δεδομένων *SCOPUS* (n=3110), *Pubmed* (n=1731) και *Google Scholar* (n=11400), χρησιμοποιώντας κατάλληλες λέξεις κλειδιά: “*microplastics*”, “*seafood*”, “*fish*”, “*contamination*”, καθώς και τους συνδυασμούς τους. Ακόμη, έγινε περιορισμός στις δημοσιεύσεις με βάση το έτος (2017-2023). Οι Μελέτες που δεν αναφέρονται σε αλιεύματα ήταν 15841, ενώ οι αναφορές που προέκυψαν ήταν 400. Από αυτές οι διπλότυπες μελέτες ήταν 175, ενώ οι μελέτες με ανεπαρή στοιχεία 100. Συνολικά βρέθηκαν 125 άρθρα με έρευνες σε παγκόσμιο επίπεδο από τα οποία χρησιμοποιήθηκαν τα 88 μιας και τα 37 δεν έδιναν ποσοτική αναφορά.

Η κατηγοριοποίηση των ερευνών έγινε με βάση τις ηπείρους (Ευρώπη, Αμερική, Αφρική, Ασία και Ωκεανία) ενώ η μόλυνση μικροπλαστικών σε ψάρια κατηγοριοποιήθηκε με βάση το είδος μικροπλαστικών, τον αριθμό μικροπλαστικού, το μέγεθος μικροπλαστικού, το σχήμα μικροπλαστικού και το χρώμα. Τέλος, υπολογίστηκε, ανά ήπειρο, ο συνολικός αριθμός των μικροπλαστικών ανά δείγμα, το κύριο χρώμα των μικροπλαστικών, το σχήμα και το μέγεθος. Στην εικόνα 4 φαίνονται οι μέθοδοι συλλογής δεδομένων.



Εικόνα 4: μέθοδοι συλλογής δεδομένων

Κεφ 3. Αποτελέσματα και συζήτηση

Στον πίνακα 5 που ακολουθεί, καταγράφεται ότι οι περισσότερες έρευνες έχουν γίνει στην Κίνα με 14 έρευνες, ενώ αμέσως μετά ακολουθεί το Ιράν με 5 και η Ινδία με 4. Στο σύνολο των ερευνών που έγιναν τα περισσότερα δείγματα είναι τα ψάρια και στη συνέχεια τα μύδια και τα στρείδια. Τα ψάρια στο οποίο έγιναν οι περισσότερες έρευνες ήταν *Crassostrea gigas*, το *Meretrix meretrix* και το *Epinephelus coioides* όπου έγιναν από 3 έρευνες στο κάθε ένα. Ενώ, 2 έρευνες έγιναν στο *Portunus pelagicus*, *Larimichthys polyactis* και *Rastrelliger kanagurta*. Ακόμη, παρατηρούμε πως τα περισσότερα δείγματα ήταν στο Μομπάι με 900 δείγματα, ακολουθούμενη από την Ινδία, Αραβία, Κίνα, Κίνα με 540, 425, 366, 349 δείγματα. Οι υπόλοιπες χώρες είχαν λιγότερο ή ίσο από 200 δείγματα ανά έρευνα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η παρουσία των μικροπλαστικών στη Μαλαισία, συγκεκριμένα στο

θαλάσσιο αγγούρι (*Acaudina molradioides*), όπου βρέθηκαν 1652 MP σε 20 δείγματα τα οποία ήταν και τα περισσότερα μικροπλαστικά που παρατηρήθηκαν στις έρευνες αυτές. Αμέσως μετά ήταν η Κίνα με 989 MP σε 100 διάφορα είδη δείγματος (κυδώνι, σαλιγκάρι, μύδι, χτένι, σαλιγκάρι και αχιβάδα), ενώ σε άλλη έρευνα της Κίνας όπου έγινε σε 175 δείγματα ψαριού (*Takifugu bimaculatus*) βρέθηκαν 978 MP. Αντιθέτως τα λιγότερα μικροπλαστικά βρέθηκαν σε ψάρια στην Κίνα με 39 MP σε 20 δείγματα, και στη Ταϊλάνδη σε Δίθυρα (*Marcia opima*, *Lingula anatina*) με 52 MP σε 61 δείγματα. Με βάση τα δεδομένα που έχουμε τα μικροπλαστικά/δείγμα (MP/δείγμα) που βρέθηκαν περισσότερο ήταν 24.49MP/gr Στη Κίνα σε 40 δείγματα Στρείδιού *Crassostrea gigas*. Ενώ, το Μπανγκλαδές ήταν το ακριβώς επόμενο με 19.13 ± 10.77 MP/δείγμα σε 35 ψάρια (*Tenualosa ilisha*) με σύνολο 287 MP. Αντιθέτως τα λιγότερα MP/δείγμα (1.03 ± 1.04) βρέθηκαν στη Κίνα, σε 349 δείγματα ψαριών *Larimichthys polyactis* στα οποία βρέθηκαν 442 MP.

Πίνακας 5: Χώρες της Ασίας με το είδος θαλασσινού, την επιστημονική ονομασία του θαλασσινού, τα μικρο-πλαστικά (MP) που έχουν καταναλώσει και τα μικρο-πλαστικά ανά δείγμα αλιεύματος

Χώρα	Είδος	Επιστημονική ονομασία	Αριθμός δείγματος	Αριθμός μικρο-πλαστικού	Μικρο-πλαστικά/δείγμα	Πηγή
Κίνα	κυδωνι, σαλιγκάρι, μύδι, χτένι, σαλιγκαρι, αχιβάδα	<i>Rapana, venosa, Neverita didyma, Sinonovacula constricta, Mactra chinensis, Scapharca subcrenata, Mytilus galloprovincialis, Ruditapes philippinarum, Chlamys farreri, Haliotis discus hannai, Saxidomus purpurata</i>	100	989 MP	0.86 ± 0.82 MP/g	Jiajia Liu et. Al. 2021
Κίνα	Μύδι	<i>Meretrix meretrix, Ruditapes philippinarum, Sinonovacula constricta</i>	366	861 MP	0.71–6.55 Mp/δείγμα ή $0.07\text{--}0.54$ MP/g	Teng Wang et. Al. 2021
Κίνα	Μύδι	<i>Meretrix meretrix</i>	135	-	0.66 ± 0.54 MP/g	Yinglin Wu et. Al. 2022
Κίνα	Στρείδι	<i>Crassostrea gigas</i>	40	-	24.49MP/g	Xiaotong Zhu et. Al. 2020
Κίνα	Χτένι	<i>Chlamys farreri</i>	30	-	9.5 ± 2.96 MP/δείγμα	Mingyi Sui et. Al. 2020

Κίνα	Στρείδι	<i>Saccostrea cucullata</i>	30	-	1.84 MP/g	Duojia Wang et. Al. 2021
Κίνα	Ψάρι	<i>Takifugu bimaculatus</i>	175	978 MP	3.00 ± 2.63 MP/δείγμα	Kexin Song et. Al. 2022
Κίνα	Στρείδι	<i>Crassostrea gigas</i>	24	277 MP	6.1 ± 2.4 MP/δείγμα ή 0.17 ± 0.125 MP/g	Yunchao Du et. Al. 2022
Κίνα	Ψάρι	<i>Amblychaeturichthys hexanema, Callionymus beniteguri, Chaeturichthys stigmatias, Coilia nasus, Collichthys lucidus, Conger myriaster, Cynoglossus abbreviates, Cynoglossus joyneri, Eupleurogrammus muticus, Ilisha elongate, Johnius belangerii, Larimichthys polyactis, Liza haematocheila, Mugil cephalus, Odontamblyopus rubicundus, Pampus argenteus, Pennahia argentata, Sebastiscus marmoratus, Setipinna tenuifilis, Thryssa kammalensis, Tridentiger barbatus, Tridentiger trigonocephalus</i>	146	438 MP	2.92 ± 0.10 MP/δείγμα ή 0.36 ± 0.02	Shuo Zhang et. Al. 2022
Κίνα	Ψάρι	<i>Larimichthys polyactis</i>	349	442 MP	1.03 ± 1.04 MP/δείγμα ή 0.95 ± 0.92 MP/10g	Feng Yuan et. Al. 2021
Κίνα	Ψάρι	-	167	132 MP	1.25 ± 2.36 MP/δείγμα	Lei Huang et. Al. 2023
Κίνα	Ψάρι	<i>Pagrus major, Acanthopagrus schlegelii</i>	20	39 MP	2.44 ± 1.56 MP/g	Jincheng Sun et. Al. 2023
Χονγκ Κονγκ	Ψάρι	<i>Evynnis cardinalis, Inegocia japonica, Repomucenus richard, Solea ovata, Lutjanus stellatus</i>	147	191 MP	2.4MP/δείγμα	Hing Sang Hamsun Chan et. Al. 2019

Ιράν	Ψάρι, καβούρι, στρείδι	<i>Arius maculatus</i> , <i>Cynoglossus bilineatus</i> , <i>Planiliza macrolepis</i> , <i>Rhinoptera javanica</i> Müller & Henle, <i>Atule mate</i> , <i>Sphyraena putnamae</i> Jordan & Seale, <i>Portunus pelagicus</i> , <i>Saccostrea cucullata</i>	200	304 MP	3 MP/δείγμα	Kamalodin Kor et. Al. 2023
Ιράν	-	<i>Saccostrea cucullata</i> , <i>Circenita callipyga</i> , <i>Barbatia helblingii</i> , <i>Solen brevis</i> , <i>Amiantis umbonella</i> , <i>Telescopium telescopium</i> ,	-	-	-	Fatemeh Abootalebi Jahromi et. Al. 2021
Ιράν	Ψάρι, γαρίδα, καβούρι	<i>Penaeus semisulcatus</i> , "Portunus armatus", <i>Epinephelus coioides</i> , <i>Platycephalus indicus</i> , <i>Liza klunzingeri</i>	116	-	0.45 MP/g	Razegheh Akhbarizadeh et. Al. 2019
Ιράν	Ψάρι	<i>Leaping mullet</i> , <i>Common carp</i> , <i>Caspian kutum</i>	35	111 MP	-	Mohammad Javad Nematollahi et. Al. 2021
Ιράν	Γαρίδα	<i>Metapenaeus affinis</i>	75	-	1.02 MP/g ή 4.31 ± 1.7 MP/δείγμα	Mehrzaad Keshavarzifard et. Al. 2021
Ινδία	Μύδι	<i>Meretrix meretrix</i> , <i>Perna viridis</i>	200	-	1.26 ± 0.38 MP/g	Kaushik Dowarah et. Al. 2020
Ινδία	Ψάρι	<i>Rastrilliger kanagurta</i> , <i>Epinephalus merra</i>	40	-	-	Vigneshwari Easwar Kumar et. Al. 2018
Ινδία	Μύδι	<i>Perna perna</i> , <i>Perna viridis</i>	540	-	(0.1 ± 0.03) - (2.05 ± 0.33) MP/gr ή (0.87 ± 0.55) - (10.02 ± 4.15) MP/μύδι	Jamila Patterson et. Al. 2021
Ινδία	Ψάρι	<i>Johnius dussumieri</i>	188	-	6.21 ± 1.67 MP/δείγμα ή 22.15 ± 8 MP/g	Nely Debbarma et. Al. 2022

Μαλαισία	Θαλάσσιο αγγούρι	<i>Acaudina molpadioides</i>	20	1652 MP	-	Nurzafirah Mazlan et. Al. 2023
Μαλαισία	Ψάρι	<i>Megalaspis cordyla, Seri Kembangan, Epinepheus cooides, Rastrelliger kanagurta, Euthynnus affinis, Thunnus tonggol, Eleutheronema tridactylum, Clarias gariepinus, Colossoma macropomum, Nemipterus bipunctatus, Ctenopharyngodon idella, Selar boops</i>	110	-	43 MP	Vigneshwari Easwar Kumar et. Al. 2018
Μπανγκλαδές	ψάρι	<i>Tenualosa ilisha</i>	35	287 MP	19.13 ± 10.77 MP/ψάρι	Mohammad Abdul Momin Siddique et. Al. 2022
Μπανγκλαδές	ψάρι	<i>Lates Calcarifer, Pterolithus macolatus, Sillaginopsis panijus, Panna microdon, Polynemus paradiseus, Ilisha ilongata, Rastrelliger brachyosoma, Anodontostomata chacunda</i>	64	453 MP	7.1 ± 3.14 MP/δείγμα	Marhaba Matluba et. Al. 2023
Αραβία	Ψάρι, γαρίδα, καβούρι	<i>Tenualosa illisha, Platycephalus indicus, Metapenaeus affinis, Penaeus semisulcatus, Portunus plagicus</i>	425	181 MP	2.1 ± 0.81 MP/δείγμα ή 0.41 ± 0.13 MP/g	Azam Ahmadi et. Al. 2022
Βιετνάμ	Στρείδι	<i>Crassostrea gigas</i>	40	445 MP	18.54 ± 10.08 MP/δείγμα ή 1.88 ± 1.58 MP/g	Van Manh Do et. Al. 2022
Ταϊλάνδη	Δίθυρα	<i>Marcia opima, Lingula anatina</i>	61	52 MP	1.86 MP/δείγμα	Pensiri Akkajit et. Al. 2023

Μομπάι	Ψάρι	<i>Anodontostoma chacunda</i> Hamilton, <i>Mugil cephalus</i> Linnaeus, <i>Nematalosa nasus</i> , <i>Johnius glaucus</i> Day, <i>Eleutheronema tetradactylum</i> Shaw, <i>Epinephelus diacanthus</i> Valenciennes	900	-	6.7 ± 1.63 MP/δείγμα	Abhijit Mallik et. Al. 2023
Κουβέιτ	Ψάρι	<i>Acanthopagrus latus</i> , <i>Eleutheronemaa tetradactylum</i> , <i>Lutjanus quinquelineatus</i>	20	-	-	S.M. Al-Salem et. Al. 2020
Νήσοι Άνταμαν	Ψάρι	<i>Alepes djedaba</i> , <i>Cynoglossus lida</i> , <i>Saurida tumbil</i> , <i>Gerres filamentous</i> , <i>Nemipterus peronii</i> , <i>Upeneus vittatus</i> , <i>Carangoides malabaricus</i> , <i>Portunus pelagicus</i> , <i>Penaeus indicus</i>	72	389 MP	10.65 ± 7.83 MP/δείγμα	Prasun Goswami et. Al. 2020
Σαουδική Αραβία	Ψάρι	<i>Lethrinus nebulosus</i> , <i>Gerres acinaces</i> , <i>Siganus canaliculatus</i> , <i>Liza parsia</i> , <i>Scomberomorus commerson</i> , <i>Euthynnus affinis</i> , <i>Epinephelus coioides</i> , <i>Rastrelliger kanagurta</i> , <i>Carangoides malabaricus</i>	140	-	1.8 ± 0.73 · 10 ⁻⁷ g MP/δείγμα	Fadiyah M. Baalkhuyur et. Al. 2020

Πίνακας 6: Χώρες Ασίας με το είδος του πολυμερούς που βρέθηκε στα θαλασσινά, το μέγεθος του μικρο-πλαστικού (MP) που βρέθηκε, το είδος του μεγέθους τους και το χρώμα τους.

Χώρα	Πολυμερές	Μεγεθος μικρο-πλαστικού	Σχήμα μικρο-πλαστικού	Χρώμα	Πηγή
Κίνα	CP (80,88%), PET (11,76%), PU (2.94%), PE (0,98%), PP (0,98%), EVA (0,98%), PAL (0,49%), Polyester 0,98%	< 500 μm (41.72%), 500–1000 μm (28.2%) 1000–1500 μm (12.57%), 1500–5000 μm (17.48%)	ινες 95%, θραυσματα 2%, σφαιριδια 2%, φιλμ 1%,	-	Jiajia Liu et. Al. 2021

Κίνα	Rayon (28.84%), Polyester (24.22%), PS (14.42%), Nylon (9.13%), PE (8.73%), PVC (5.48%), PP (3.32%), PAA (3.03%), άλλα (2.83%)	0-500μm (66%) 500-1000μm (20%), 1000-2000μm (10%), 2000-3000μm (2%), 3000-4000μm (1%), 4000-5000μm (1%)	ίνες (65%), σφαιρίδια (15%), κόκκοι (6%), θραύσματα (6%), φιλμ (5%), αφρός (3%)	διάφανο (35%), μπλέ (25%), μαύρο (22%), κόκκινο (4%), κίτρινο (5.5%), άσπρο (3.5%), γκρι (3%), μόβ (2%)	Teng Wang et. Al. 2021
Κίνα	PE (40%), PET (23%), PP (18%), PVC (13%), PS και PMMA (6%)	25-150 μm (65 ± 21%), μέσο όρο 168.15 μm	ίνες (55 ± 24%), θραύσματα (43 ± 23%)	μαύρο (31 ± 19%), κόκκινο (25 ± 25%), μπλε (24 ± 20%)	Yinglin Wu et. Al. 2022
Κίνα	80% (polyester, CP και AHR), 20% (PE, PET)	-	Ινες (46.65%), θραύσματα (53.35%)	κόκκινο, κίτρινο, μπλε, άσπρο	Xiaotong Zhu et. Al. 2020
Κίνα	PP, PE	-	-	μαύρο, μπλέ, διάφανο, πράσινο, κόκκινο	Mingyi Sui et. Al. 2020
Κίνα	PE (22.9%), PET (14.3%), PVC (5.7%), PP (11.4%), PS (11.4%), nylon 2.9%, rayon (20%), άλλο (11.4%)	1–100μm (37.87%), 101–500μm (34.47%), 501–1000μm (15%), 1001–5000μm (12.66%)	ίνες (51,6%), θραύσματα (45,1%), φιλμ (0,7%), κόκκοι (2,6%)	μαύρο (80%), μπλε (7%), πράσινο (<1%), κόκκινο (7%), λευκό (<1%), διαφανές (3%), κίτρινο (2%)	Duojia Wang et. Al. 2021
Κίνα	PET (87%), PE (6%), PA (5%), PP (1%), άλλα (1%)	<1000μm (68%), 1000 - 2000μm (21.7%), 2000 - 3000μm (4.8%), 3000 - 4000μm (3.7%), 4000 - 5000μm (0.7%), >5000μm (1.1%)	ίνες (95,9%), θραύσματα (2,5%), φιλμ (1,6%)	μπλε (84%), κόκκινο (7%), διαφανές (5%), μαύρο (3%), άλλο (1%)	Shuo Zhang et. Al. 2022
Κίνα	rayon (31.58%), polyester (23.44%), CP (15.31%), PE (11.48%), PP (4.78%), PA (3.35%), PS (2.87%), nylon (1.91%), AC (1.91%), AK (1.45%), PP/PE (0.96%), PAN (0.96%).	-	ίνες (95%), θραύσματα (5%), φιλμ (<1%)	Μαύρο (65.5%), μπλε (20,5%), κόκκινο (12.5%), πράσινο (1.5%).	Kexin Song et. Al. 2022
Κίνα	CP (70.76%), PET (21.30%), PAN (1.81%), PA (1.08%), PE/PP (1.08%)	30–500 μm (26.22%), 500–1000 μm (32.74 %), 1000–2000 μm (26.39%), 2000–3000 μm (9.55%), 3000–4000 μm (3.50%), 4000–5000 μm (1.60%)	ίνες (97,69%), θραύσματα (1,84%), φιλμ (0,47%)	-	Yunchao Du et. Al. 2022

Κίνα	CP (51.06%), rayon (14.89%), AC (8.51%), PET (8.51%), polyester (7.45%), PS (3.19%), PP (2.13%)	$1190 \pm 1000 \mu\text{m}$	ίνες (90.27%), θραύσματα (8.60%), φιλμ (0.68%), κόκκοι (0.45%).	μπλε (45,48%), μαύρο/γκρι (23,76%), λευκό/διαφανές (14,03%), μοβ/κόκκινο (10,63%), κίτρινο (3,62%), πράσινο (2,49%)	Feng Yuan et. Al. 2021
Κίνα	PA (77.3%), PET (11.4%), PP (3.4%), PAA (3.4%), PE (2.3%), PU (2.3%).	$952.8 \pm 643.5 \mu\text{m}$	ίνες (100%)	Μπλέ (60.6%), διάφανο (33.3%), υπόλοιπα (6.1%): πράσινο, κίτρινο, κόκκινο	Lei Huang et. Al. 2023
Κίνα	PES (19.26%), PE-PP (21.87%), PS (61.28%), PE (1.13%), PP (6.89%), PET (20.21%)	<300 μm (25.38%), 30–500 μm (7.55%), 500–1000 μm (13.71 %), 1000–2500 μm (36.2%), 2500–5000 μm (17.14%)	ίνες (74.78%), θραύσμα (8.85%), άλλο (16.36%)	Μπλέ (43.62%), διάφανο (30%), μαύρο (12.61%), κόκκινο (2.77%), λευκό (7.17%)	Jincheng Sun et. Al. 2023
Χονγκ Κονγκ	nylon, PS, PVC, PE	84 (54%) είχαν MP (191)	θραύσματα (31), ίνες (160)	-	Hing Sang Hamsun Chan et. Al. 2019
Ιράν	PE-PP (62.0%), PS (15.0%), υπόλοιπα (23%): PET, PVA, nylon, PVC	1900 μm	ίνες (33.6%), θραύσματα (29.95%), φιλμ (26.7%), pellet (9.75%)	μπλέ (45%), λευκό (23%), μαύρο (15.5%), διάφανο (9.5%), άλλο (7%)	Kamalodin Kor et. Al. 2023
Ιράν	PP (100%)	-	ίνες, θραύσματα	μαύρο/γκρι (32%), μπλε/πράσινο (53%), κόκκινο/ροζ (12%)	Fatemeh Abootalebi Jahromi et. Al. 2021
Ιράν	-	ίνες, θραύσματα	-	μαύρο (70%), διαφανές (12%), ροζ (8%), άλλα χρώματα.	Razegheh Akhbarizadeh et. Al. 2019
Ιράν	PS, PP, PP-PS	100-250 μm (3.5%), 250-500 μm (17%), 500-1000 μm (48%), 1000-5000 μm (31.5%)	ίνες	μαύρο/γκρι (72%), μπλε/πράσινο (16%), κόκκινο/ροζ (6%), λευκό/διαφανές (4%), κίτρινο/πορτοκαλί (2%)	Mohammad Javad Nematollahi et. Al. 2021

Ιράν	PET (46%), PP (27%), PS (27%)	<100µm (13%), 100-250µm (23%), 250-500µm (27%), 500-1000µm (36%)	ίνες (78,6%), φιλμ (16,1%)	λευκό/διαφανές (43%), μπλε (21%), μαύρο (18%), υπόλοιπα (κίτρινο, πορτοκαλί, κόκκινο, ρόζ)(18%)	Mehrzad Keshavarzifard et. Al. 2021
Ινδία	PU, PVCA, PVC, PES, PVC/Acrylic alloy, PET, PVK, PEVA	<100 µm (77.42%), 100-200 µm (12.90%), 200-300 µm (9.68%), 300-400 µm (0%), 400-500 µm (0%), >500 µm (0%)	-	-	Kaushik Dowarah et. Al. 2020
Ινδία	PP, PE	-	ίνες (80%), θραύσματα (20%)	μαύρο, κόκκινο, διαφανές	Vigneshwari Easwar Kumar et. Al. 2018
Ινδία	PE (65.7%), PP (19%), PA (6%), <10%: PS, PET, polyester (PEST), PEU, EVA, CP, PMMA, PBA.	<500 µm (26%), 500–1000 µm (42%), 1000 µm (23%), 3000 µm (9%).	Ίνες (77%), θραύσματα (16%), φιλμ (4%), αφρός (3%)	μπλέ (50%), μαύρο (30%), διάφανο (20%)	Jamila Patterson et. Al. 2021
Ινδία	Polyester, Polyethylene, Polyamide, Polystyrene	<100 µm (70.5%), 100–250 µm (15%), 251–500 µm (7.5%), 501–1000 µm (4.5%), >1000 µm (2.5%)	Σφαιρίδια (44.5%), ίνες (22%), θραύσματα (17%), φίλμ (16.5%)	μαύρο (25.5%), μπλε (25.5%), κόκκινο (15%), ημιδιαφανές (11%), καφέ (8.5%), λευκό (8%), πράσινο (5%), κίτρινο (1.5%).	Nely Debbarma et. Al. 2022
Μαλαισία	PMMA, PE	0-500µm (235MP ή 14.23%) 500-1000µm (377MP ή 22.82%), 1000-2000µm (548MP ή 33.17%), 2000-3000µm (250MP ή 15.13%), 3000-4000µm (93MP ή 5.63%), 4000-5000µm (84MP ή 5.08%), >5000µm (65MP ή 3.93%)	ίνες (1642 ή 99.4%), θραύσματα (11 ή 0.6%)	Μαύρο (54,42%) , μπλε (23,61%), κόκκινο (12,77%), λευκό (7,45%), καφέ (1,15%), κίτρινο/πορτοκαλί (0,36%), ροζ (0,24%)	Nurzafirah Mazlan et. Al. 2023
Μαλαισία	PE (88.4%), PP (9.3%), PET (2.3%)	μέσο όρο 2612.83 µm	θραύσματα (67,4%), ίνες (16,3%), φιλμ		Vigneshwari Easwar Kumar et. Al. 2018

Μπανγκλαδές	-	300–1500 µm (250MP), 1500–3000 µm (50MP), 3000–5000 µm (37MP)	θραύσμα (15%), φιλμ (6%), αφρός (12%), ίνες (50%), γραμμές (11%), σφαίρα (1%), pellet (5%)	λευκό (1%), διαφανές (30%), κίτρινο/ροζ (3%), πορτοκαλί (11%), μαύρο (23%), γκρί (26%), πράσινο (6%)	Mohammad Abdul Momin Siddique et. Al. 2022
Μπανγκλαδές	PP (45%), PET (6.67%), PE (20%), PES (15%), PU (3.33%), (PP + PES) (5%), (PE + PES) (5%)	<1000 µm (42.16%), 1000–3000 µm (50,55%), 3000–5000 µm (7.28%)	ίνες (71,37%), φιλμ (14,1%), θραύσματα (13,22%).	Μαύρο (31%), Κόκκινο (21%), Λευκό (19%), Μπλε (15%), Διάφανο (8%), Πράσινο (6%)	Marhaba Matluba et. Al. 2023
Αραβία	-	<100 µm (62.4%), 100 µm–250 µm (23.76%), 250 µm–500 µm (9.94%), 500 µm–1000 µm (3.9%)	ίνες	μαύρο (49%), διάφανο (25%), κόκκινο-καφέ (10%), μπλε (15%), κίτρινο-πράσινο (1%)	Azam Ahmadi et. Al. 2022
Βιετνάμ	Nylon (50.56%), MUF (13.93%), EVOH (9.44%), PF (8.31%), PTFE (5.39%), PEI (3.15%), PVA (2.70%), CPP (2.25%), XT POLYMER (1.12%), Polyester (PET) (1.12%), Melamine (0.90%), CP (0.45%), PAI (0.24%), LDPE (0.24%), UF (0.24%)	μέσο όρο 92.33µm. <50 µm (45.84%), 51–100 µm (31.46%)	θραύσμα (73,71%), ίνες (25,84%), σφαιρίδιο (0,45%)	-	Van Manh Do et. Al. 2022
Ταϊλάνδη	polyester (41%), PVC (6%), PET (47%), PVA (6%)	20 - 300 µm (96.4%)	ίνες (97,6%), θραύσμα (2,4%)	μπλε (44,58 %), μαύρο (39,76 %), κόκκινο (7,23 %), άλλο (8,43 %)	Pensiri Akkajit et. Al. 2023
Μομπάι	PE, PP, PET, PA, PVC, PS	<100 µm (17.5%), 100–250 µm (28.3%), 250–500 µm (20.83%), 500–100 µm (16.6%), >1000 µm (16.6%)	ίνες (51.16%), θραύσματα (32.5%), φιλμ (3.83%), σφαιρίδιο (7.83%), άλλο (4.66%)	μαύρο (35%), κόκκινο (17.83%), Μπλέ (14.5%), διάφανο (24.16%), κίτρινο (5.3%), καφέ (3.16%)	Abhijit Mallik et. Al. 2023
Κουβέιτ	PE	1570µm, 960µm, 960µm	-	κίτρινο	S.M. Al-Salem et. Al. 2020
Νήσοι Άνταμαν	Ionomer surlyn (20.2%), Poly etherimide (1.0%), AC (23.1%), PPS (5.8%), EVOH (8.7%), Nylon (26.0%), EVA (5.8%), Polyisoprene (3.8%), PU (4.8%), PVC (1.0%)	μέσο όρο 1308.46 ± 1016.73 µm	ίνες (49.14%), θραύσματα (46.55%), σφαίρες (4.31%)	-	Prasun Goswami et. Al. 2020

Σαουδική Αραβία	PP (37%), PE (38%), LDPE (25%)	1160 ± 110 μm	ίνες (94%), θραύσματα (2%),	μαύρο (56%), μλέ (40%), κόκκινο (3%), πράσινο (1%)	Fadiyah M. Baalkhuyur et. Al. 2020
-----------------	--------------------------------	---------------	-----------------------------	--	------------------------------------

Στον πίνακα 6 αναφέρονται τα μικροπλαστικά που βρέθηκαν σε διάφορες χώρες της Ασίας κατηγοριοποιημένα ανάλογα το πολυμερές, το μέγεθός τους, το σχήμα και το χρώμα. Συνολικά βρέθηκαν 56 διαφορετικά πολυμερή με το *PE* να είναι αυτό που βρέθηκε συχνότερα στη Μαλαισία στα ψάρια, ενώ το αμέσως επόμενο ήταν το *PET* στη Κίνα στα ψάρια. Αντιθέτως, τα μικρότερα βρέθηκαν στο Βιετνάμ στα δείγματα στρειδιών με το *LDPE* το *UF* και το *PAI*. Ενώ το πολυμερές που είχε τη μεγαλύτερη επαναληψιμότητα στα δείγματα στις διάφορες χώρες της Ασίας ήταν το *PE*, *PP* και το *PET* τα οποία βρέθηκαν σε 20, 19 και 16 έρευνες εκάστοτε. Όσον αφορά τα μεγέθη, τα περισσότερα μικροπλαστικά που βρέθηκαν ήταν στο εύρος <1000μm. Η μικρότερη ποσότητα που βρέθηκε σε δείγματα ήταν <100 μm το οποίο ήταν και το κύριο μέγεθος των μικροπλαστικών σε δείγματα ψαριών στην Ινδία. Τα σχήματα των μικροπλαστικών ήταν ίνες, θραύσματα, φιλμ, σφαιρίδια, κόκκοι, *pellet* και αφρός. Το σχήμα το οποίο βρέθηκε σε μεγαλύτερη συχνότητα ήταν οι ίνες και στη συνέχεια τα θραύσματα ενώ οι κόκκοι και τα *pellet* είναι αυτά που βρέθηκαν ελάχιστες φορές, μόνο σε 2 έρευνες το κάθε ένα. Από την άλλη τα χρώματα που αντιπροσώπευαν τα μικροπλαστικά είχαν μεγαλύτερο εύρος. Γενικά ήταν μαύρο, μπλε, διάφανο, κόκκινο, κίτρινο, λευκό, πράσινο, μοβ, καφέ, πορτοκαλί, ροζ, άλλο. Τα κύρια χρώματα που βρέθηκαν ήταν το μαύρο και το μπλε σε 23 και 22 έρευνες το κάθε ένα. Το μαύρο και το μπλε ήταν τα χρώματα που συναντήθηκαν περισσότερο. Αντιθέτως, το μοβ χρώμα ήταν αυτό που βρέθηκε τις λιγότερες φορές σε 2 έρευνες στη Κίνα σε μύδια και σε ψάρια.

Πίνακας 7: Χώρες της Αμερικής με το είδος θαλασσινού, την επιστημονική ονομασία του θαλασσινού, τα μικρο-πλαστικά (MP) που έχουν καταναλώσει και τα μικρο-πλαστικά ανά δείγμα θαλασσινού.

Χώρα	Είδος	Επιστημονική ονομασία	Αριθμός δείγματος	Αριθμός μικρο-πλαστικού	Μικρο-πλαστικά/δείγμα	Πηγή
Βραζιλία	Γαρίδα	<i>Macrobrachium amazonicum</i>	600	2597 MP	4.325 ± 3.355 MPs/δείγμα	dos Anjos Guimarães, G. et. Al. (2023)
Βραζιλία	Δίθυρα	<i>Anomalocardia flexuosa</i>	60	309 MP	5.15 ± 3.80 MP/δείγμα	David N.A. Bruzaca et. Al. (2022)

Βραζιλία	Μύδι	<i>Perna perna</i>	20	-	31.2 MP/δείγμα	Stéphanie Birnstiel et. Al. (2019)
Βραζιλία	Ψάρι	-	189	228 MP	1.75 MP/δείγμα	Tamyris de Souza e Silva Pegado et. Al. (2018)
Αργεντινή	Ψάρι	<i>M. Furnieri</i>	20	241 MP	12.05±5.38 MP/δείγμα	Arias H.A. et. At. (2019)
Αργεντινή	Γαρίδα	<i>Pleoticus muelleri</i>	39	295 MP	3.0 ±2.90 MP/g	Carolina Victoria Colombo et. Al. (2023)
Αργεντινή	Γαρίδα	<i>Pleoticus muelleri</i>	40	-	-	M.D. Fernández Severini et. Al. (2020)
Κόστα ρίκα	Ψάρι, μύδι, καβούρι	<i>mangrove cockle, Arched swimming, tolmann's weakfish</i>	88	-	3.3 ± 2.9 MP/g	Virginia Montero et. Al. (2023)
Κόστα ρίκα	Μύδι	<i>Asthenometis asthenodon, Leukoma asperrima, Leukoma ecuadoriana, Mytella strigata, Mytella guyanensis, Tagelus affinis</i>	168	840 MP	4.8 ± 8.0 MP/δείγμα	Keilor Rojas-Jimenez et. Al. (2022)
Μεξικό	Ψάρι	<i>Euthynnus lineatus, Coryphaena hippurus, Istiophorus platypterus</i>	177	3144 MP	95.33 MP/δείγμα	María del Carmen Alejo-Plata et. Al. (2019)
Μεξικό	Ψάρι	<i>Opisthopterus dovii, Lile stolifera, Opisthonema libertate, Mugil curema, Hyporhamphus unifasciatus, Caranx caninus, Trachinotus kennedyi, Trachinotus paitensis, Lutjanus argentiventris, Lutjanus colorado, Eucinostomus entomelas, Gerres cinereus, Polydactylus approximans, Menticirrhus elongatus, Umbrina xanti</i>	1905	1384 MP	1.3MP/δείγμα	C. Salazar-Pérez et. Al. (2021)

Χιλή	Ψάρι	<i>Trachurus murphyi</i> , <i>Strangomera bentincki</i> , <i>Merluccius gayi</i> , <i>Eleginops maclovinus</i> , <i>Aplodactylus punctatus</i> , <i>Basilichthys australis</i>	60	20 MP	-	Karla Pozo et. Al. (2019)
Καλιφόρνια	Γαρίδα	<i>Litopenaeus vannamei</i>	80	241 MP	(43.8 ± 13) g	Valencia-Castañeda, G. et. al. (2022)
Αμερική	Στρείδι	<i>Crassostrea virginica</i>	48	6 MP	-	Mackenzie L. Minder et. Al. (2023)
Γκάνα	Ψάρι	<i>Pseudupeneus prayensis</i> , <i>Pagellus bellottii</i> , <i>Sardinella maderensis</i> , <i>Decapterus rhonchus</i>	115	133 MP	1.13 MP/δείγμα	Christopher Pappoe et. Al. (2022)
Μιντλεσεξ	Μύδι	<i>Mytilus edulis</i>	26	23 MP	0-5.1 MP/g ή 0-2.0 MP/δείγμα	Shiye Zhao et. Al. (2018)
Εκουαδόρ	Ψάρι, γαρίδα, καβούρι, στρείδι, μύδι, καλαμάρι	<i>Alopias pelagicus</i> , <i>Alopias superciliosus</i> , <i>Centropomus robalito</i> , <i>Cetengraulis mysticetus</i> , <i>Coryphaena hippurus</i> , <i>Chloroscombrus orqueta</i> , <i>Cynoscion stolzmanni</i> , <i>Cynoscion analis</i> , <i>Diapterus brevirostris</i> , <i>Diplectrum maximun</i> , <i>Dormitator latifrons</i> , <i>Hemanthias peruanus</i> , <i>Larimus argenteus</i> , <i>Lutjanus argentiventris</i> , <i>Mugil cephalus</i> , <i>Peprilus medius</i> , <i>Selene peruviana</i> , <i>Sphyrna lewini</i> , <i>Urotrygon chilensis</i> , <i>Crassostrea cf. corteziensis</i> , <i>Dosidicus gigas</i> , <i>Mytella charruana</i> ,	390	133 MP	1.35 ± 0.568 MP/θδείγμα	Lenin C´aceres-Farias et. Al. (2023)

		<i>Striostrea prismatica,</i> <i>Penaeus occidentalis,</i> <i>Penaeus vannamei,</i> <i>Menippe frontalis</i>				
Βιρτζίνια	Στρείδι	<i>Crassostrea virginica</i>	144	372 MP	6.5 MP/g	Thet Aung et. Al. (2022)

Στον πίνακα 7 βλέπουμε τις χώρες και τα διάφορα είδη θαλασσινών στα οποία έχουν βρεθεί μικροπλαστικά, τα οποία είναι χωρισμένα σε αριθμό μικροπλαστικών και μικροπλαστικά ανά δείγμα. Οι περισσότερες έρευνες έχουν γίνει στις περιοχές τις Βραζιλίας και της Αργεντινής με τις περισσότερες έρευνες (8) να έχουν επικεντρωθεί στα ψάρια. Παρόλα αυτά οι γαρίδες *Pleoticus muelleri*, τα στρείδια *Crassostrea virginica* και τα ψάρια *Lutjanus argentiventris* παρατηρούνται σε 2 διαφορετικές έρευνες το κάθε ένα. Τα περισσότερα μικροπλαστικά (3144) βρέθηκαν στο Μεξικό σε 177 δείγματα ψαριών, ενώ το αμέσως επόμενο υψηλότερο δείγμα ήταν οι γαρίδες *Macrobrachium amazonicum* όπου βρέθηκαν 2597 MP σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στη Βραζιλία. Τα Ψάρια στο Μεξικό ήταν αυτά που είχαν τα περισσότερα μικροπλαστικά ανά δείγμα ψαριού (95,33 MP/δείγμα), ενώ στη Βραζιλία σε δείγματα μυδιού *Perna perna* βρέθηκαν 31,2 MP/δείγμα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει και τα δείγματα γαρίδας *Litopenaeus vannamei* όπου βρέθηκαν 43,8 g MP/g δείγματος στη

Καλιφόρνια. Αντιθέτως, τα λιγότερα MP/δείγμα ήταν στη Γκάνα σε 115 δείγματα ψαριού όπου βρέθηκαν 1,13 MP/δείγμα.

Πίνακας 8: Χώρες Αμερικής με το είδος του πολυμερούς που βρέθηκε στα θαλασσινά, το μέγεθος του μικρο-πλαστικού (MP) που βρέθηκε, το είδος του μεγέθους τους και το χρώμα τους.

Χώρα	Πολυμερές	Μεγεθος μικρο-πλαστικού	Σχήμα μικρο-πλαστικού	Χρώμα	Πηγή
Βραζιλία	-	<250 μm (14.36%), 250-500 μm (11.36%), 500-1000 μm (26.37%), 1000-5000 μm (48%)	ίνες (84%), θραύσματα (16%)	Σκούρο μπλε (82%), Κόκκινο (8%), Σκούρο πράσινο (5%), Ανοιχτό πράσινο (4%), Γκρι (0,3%), Πράσινο νέον (0,1%), Μωβ (0,1%), Πορτοκαλί (0,1%), Κίτρινο (0.2%), Λευκό (0,2%)	dos Anjos Guimarães, G. et. Al. (2023)
Βραζιλία	-	17 - 1057 μm	θραύσματα (54%), ίνες (43%), σφαιρίδια (3%)	-	David N.A. Bruzaca et. Al. (2022)
Βραζιλία	nylon (polyamide), MMA	-	ίνες, θραύσματα	-	Stéphanie Birnstiel et. Al. (2019)
Βραζιλία	PE, Rayon, nylon, PA	1820 $\pm$ 680 μm	σφαιρίδια (97,4%), φύλλα (1,3%), θραύσματα (0,4%), νήματα (0,9%)	διαφανές, κίτρινο, πορτοκαλί, μπλε	Tamyris de Souza e Silva Pegado et. Al. (2018)
Αργεντινή	-	0.2-0.5mm, < 1 mm (48.3%), 1-2mm (26%), 2-3mm (15%), 3-4mm (6.6%), 4-5mm (2.8%), >5mm (1%)	ίνες (48,9%), πελ-lets (30,6%), θραύσματα (6,8%) και ελάσματα(lamina) (2,04%).	διάφανο (36,81%), λευκό (26,3%), μπλε (13,52%), μαύρο (9%), κόκκινο (7,51%) κίτρινο (6,7%).	Arias H.A. et. At. (2019)
Αργεντινή	cellulose, PET	<500 μm (20%), 500-1500 μm (42%), 1500-2500 μm (22%), 2500-3500 μm (12%), 3500-5000 μm (4%)	ίνες	μαύρο (15.94%), μπλέ (13.05%), γκρι (4.35%), πράσινο (2.9%), κόκκινο (5.8%), διάφανο (52.16%), κίτρινο (5.8%)	Carolina Victoria Colombo et. Al. (2023)

Αργεντινή	PE, PP, cellulose	<500µm (30.77%), 500-1500µm (43.59%), 1500-2500µm (15.39%), 2500-3500µm (2.56%), >5000µm (7.69%)	ίνες (95%)	διάφανο (10.27%), μπλέ (23.08%), μαύρο (25.64%), κόκκινο (15.38%), πράσινο (2.56%), ανοιχτό πράσινο (2.56%), ανοιχτό μπλέ (12.82%), γκρι (7.69%)	M.D. Fernández Severini et. Al. (2020)
Κόστα ρίκα	PE, PP	-	-	-	Virginia Montero et. Al. (2023)
Κόστα ρίκα	PET, PE	-	ίνες (92%), θραύσματα (8%)	Μαύρο, μπλε, λευκό, μπλε, καφέ, γκρι κόκκινο, κίτρινο, πράσινο	Keilor Rojas-Jimenez et. Al. (2022)
Μεξικό	-	<250µm (4%), 250-500µm (8%), 600-1000µm (20%), 1100-5000µm (60%), >5000µm (8%)	ίνες	διάφανο (72%), μπλέ (13%), μαύρο (10%), κόκκινο (2%), πράσινο (1%), ρόζ (1%), μώβ (0.6%), πορτοκαλί (0.4%)	María del Carmen Alejo-Plata et. Al. (2019)
Μεξικό	polyamide (nylon) (51.2%), PE (36.6%), PP (7.3%), polyacrylic (4.9%)	2710 µm	ίνες	μπλε (45,2%), διαφανές (26,9%), κόκκινο (8,6%)	C. Salazar-Pérez et. Al. (2021)
Χιλή	PET (77.5%), PE (22.5%)	<500µm (50%), 500-1000µm (25%), 1000-2500µm (25%), 2500-5000µm (0%)	ίνες 100%	κόκκινο (90%), λευκό (10%)	Karla Pozo et. Al. (2019)
Καλιφόρνια	-	251-500 µm (39,0 ± 3,5%), 151-250 µm (25,4 ± 5,5%) και 501-1000 µm (17,0 ± 7,0%)	ίνες (92,3 ± 5,8%), θραύσματα (6,0 ± 5,6%), ταινίες (1,0 ± 0,6%), και κόκκοι (0,3 ± 0,0%).	διαφανές (79,4 ± 4,2%), μπλε (8,0 ± 5,0%), κόκκινο (5,3 ± 0,9%), μαύρο (2,9 ± 3,0), καφέ (2,0 ± 0,5%), κίτρινο (1,4 ± 1,7%) και λευκό (1,7 ± 0,6%)	Valencia-Castañeda, G. et. al. (2022)
Αμερική	PET, PS PP	-	-	-	Mackenzie L. Minder et. Al. (2023)
Γκάνα	PE (55.56%), PVA (33.33%), PA (11.11%)	100–500 µm (26.96 %), 500–1000 µm (48.85 %), 1000–5000 µm (24.20 %).	ίνες (94%), θραύσματα (6%)	μαύρο (70.01 %), καφέ (11.03 %), κόκκινο (10.37 %), πράσινο (6.21 %), διαφανές (2.38 %)	Christopher Pappoe et. Al. (2022)

Μιντλεσεξ	PP, PES, cellulose acetate, PE	<1000µm (95%)	ίνες (52,2%), Θραύσματα (47,8%)	-	Shiye Zhao et. Al. (2018)
Εκουαδόρ	-	-	-	-	Lenin C´aceres- Farias et. Al. (2023)
Βιρτζίνια	-	ίνες (10-2300 µm), θραύσματα (14- 1280) µm,σφαιρίδια (6- 282 µm)	Θραύσμα, ίνες, σφαιρίδια	μαύρο, λευκό, διαφανές	Thet Aung et. Al. (2022)

Στον πίνακα 8 τα μικροπλαστικά που έχουν βρεθεί έχουν χωριστεί με βάση το είδος του πολυμερούς, το μέγεθός τους, το σχήμα και το χρώμα τους. Με βάση αυτά παρατηρούμε πως το *PE* ήταν αυτό που βρέθηκε στις περισσότερες έρευνες (8) ενώ το *PP* και το *PET* εμφανίζονται 5 και 4 φορές το κάθε ένα. Ενώ σε συχνότερα έχει βρεθεί το *PET* στη Χιλή σε δείγματα ψαριών και αμέσως μετά το *PE* στη Γκάνα και αυτό σε δείγματα ψαριών. Τα περισσότερα μεγέθη των μικροπλαστικών ήταν κατά κύριο λόγο από 500-1500 µm, με το μεγαλύτερο ποσοστό να έχει βρεθεί στα μεγέθη <1000 µm στο Μιντλεσεξ σε δείγματα μυδιού. Όσον αφορά τα σχήματα, αυτά που βρέθηκαν ήταν ίνες, θραύσματα, σφαιρίδια, φιλμ, νήματα, *pellet*, *lamina* και κόκκοι. Τα περισσότερα σχήματα των μικροπλαστικών ήταν στη κατηγορία των ινών και των θραυσμάτων με τις ίνες να έχουν βρεθεί σε περισσότερα δείγματα αλλά και έρευνες από ότι τα θραύσματα. Τα χρώματα τα οποία βρέθηκαν στις χώρες αυτές ήταν μπλε, μαύρο, κόκκινο, πράσινο, μοβ, κίτρινο, λευκό, διαφανές, πορτοκαλί, γκρι και καφέ. Το μπλε ήταν αυτό που βρέθηκε στις περισσότερες (9) έρευνες ενώ το μαύρο βρέθηκε σε 8 έρευνες.

Πίνακας 9: Χώρες της Ευρώπης με το είδος θαλασσινού, την επιστημονική ονομασία του θαλασσινού, τα μικρο-πλαστικά (MP) που έχουν καταναλώσει και τα μικρο-πλαστικά ανά δείγμα θαλασσινού.

Χώρα	Είδος	Επιστημονική ονομασία	Αριθμός δείγματος	Αριθμός μικρο-πλαστικού	Μικρο-πλαστικά/δείγμα	Πηγή
Ισπανία	Δίθυρα	<i>Arca noae</i>	150	119MP	1.43MP/ψάρι	Stefanie Reinold et. Al. (20221)

Ισπανία	Ψάρι	<i>Mullus surmuletus Linnaeus</i>	417	-	0,42 ± 0,04 MP/δείγμα	C. Alomar et. Al. (2017)
Ισπανία	Ψάρι	<i>Sardina pilchardus, Engraulis encrasicolus</i>	129	26 MP	0.15 ± 0.46 MP/δείγμα	Charlotte Lefebvre et. Al, (2019)
Ισπανία	Ψάρι	<i>Platichthys flesus, Mugil cephalus, Cyprinus carpio</i>	128	883 MP	6.66 MP/δείγμα	Lúcia Guilhermino et. Al. (2021)
Ισπανία	Μύδι, σαλιγκάρι, στρείδι	<i>Donax trunculus, Bolinus brandaris, Ensis siliqua, Tapes decussatus, Crassostrea gigas, Mytilus galloprovincialis</i>	54	1460 MP	(32 ± 0.27) - (32.0 ± 13.38) MPs/δείγμα ή (0.54 ± 0.43) - (8.17 ± 10.0) MPs/g	Nora Exp'ósito et. Al. (2022)
Ιταλία	Αχινός	<i>Paracentrotus lividus</i>	100	261 MP	2.6 MP/δείγμα	Lili Wei et. Al.(2022)
Ιταλία	Ψάρι	<i>Sardina pilchardus, Engraulis encrasicolus, Merluccius merluccius, Pegusa impar, Mullus surmuletus, Gobius paganellus</i>	180	233 MP	1.295MP/δείγμα ή 0.031 MP/g	Michele Mistri et. Al. (2022)
Ιταλία	Μύδι	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	51	1401 MP σε 74%	21,35 MP/δείγμα ή 4,24 MP/g	Michela Volgare et. Al. (2022)
Γαλία	Μύδι, στρείδι	<i>Mytilus edulis, Magallana gigas</i>	50	1936 MP	1.15 MP/g	Ad'elaïde Lerebours et. Al. (2022)
Γαλία	Ψάρι	<i>Clupea harengus, Sardina pilchardus, Engraulis encrasicolus</i>	60	43 MP	-	France Collard et. Al. (2017)

Πορτογαλία	Ψάρι	<i>Dicentrarchus labrax, Diplodus vulgaris, Platichthys flesus</i>	120	157 MP	1.67 ± 0.27 MP/δείγμα	Filipa Bessa et. Al. (2018)
Τουρκία	Μύδι	<i>Mytilus galloprovincialis, Ruditapes decussatus</i>	90	1682 MP	-	Aykut Yozukmaz (2021)
Τουρκία	Μύδι	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	412	812 MP	2.06 MP/δείγμα ή 1.12 MP/g	Kenan Gedik et. Al. (2022)
Γεωργία	Στρείδι	<i>Crassostrea virginica</i>	308	213MP	7.61± 3.26 MP/42.58 g μάζας δείγματος	Clarissa Keisling et. Al. (2020)
Ισπανία, Γαλία, Ιτλία, Ελλάδα	Ψάρι	<i>Boops boops</i>	884	1038 MP	1.17 ± 0.07 MP/δείγμα	Catherine Tsangaris et. Al. (2020)
Πορτογαλία	Μύδι, ψάρι	<i>Mytilus galloprovincialis, Mullus surmuletus</i>	65	-	1.57 MP/δείγμα	S.A. Vital et. Al. (2021)
Αγγλία	Μύδι	-	269	-	1.43 ± 0.30 MP/δείγμα	Nicholas Scott et. Al. (2019)
Μαύρη θ/σα	Αχιβάδα	<i>Chamelea gallina</i>	335	190 MP	0.65 MP/δείγμα ή 0.74 MP/g	Kenan Gedik and Ahmet Mutlu Gozler (2022)
Μαύρη θ/σα	Ψάρι	<i>Mullus barbatus</i>	120	335 MP	2.79 MP/δείγμα ή 0.12 MP/g	Hatice Onay et. Al. (2023)
Αδριατική θάλασσα	Μύδι	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	60	214 MP	0.64-0.74 MP/g	Alessio Gomiero et. Al. (2019)

Στον Πίνακα 9 φαίνονται οι χώρες στις οποίες έχουν γίνει αναλύσεις σε διάφορα είδη θαλασσινών, τον αριθμό του δείγματος, τον αριθμό των μικροπλαστικών που βρέθηκαν αλλά και τα μικροπλαστικά ανά δείγμα. Στην Ισπανία έγιναν οι περισσότερες έρευνες, ενώ το είδος το οποίο αναλύθηκε περισσότερο ήταν το ψάρι και αμέσως μετά ήταν το μύδι. Το μύδι *Mytilus galloprovincialis* ήταν αυτό που αναλύθηκε τις περισσότερες φορές το οποίο

εμφανίζεται σε 6 διαφορετικές έρευνες. Από 3 διαφορετικές φορές έχουν ερευνηθεί τα ψάρια *Sardina pilchardus*, *Engraulis encrasicolus*, *Mullus surmuletus*. Παρόλα αυτά ο αριθμός των δειγμάτων (884) ήταν μεγαλύτερος στα ψάρια *Boops boops* όπου τα δείγματα αυτά περισυλλέχθηκαν από τις χώρες της Ισπανίας, Γαλλίας, Ιταλίας και Ελλάδας. Ακόμη, το ψάρι *Mullus surmuletus* Linnaeus ήταν το επόμενο με τον περισσότερο αριθμό δειγμάτων (417) στην Ισπανία. Αντιθέτως η υψηλότερη συγκέντρωση μικροπλαστικών βρέθηκε στη Τουρκία σε 90 δείγματα μυδιών (*Mytilus galloprovincialis* και *Ruditapes decussatus*) στα οποία βρέθηκαν 1682 MP. Απεναντίας, τα λιγότερα μικροπλαστικά βρέθηκαν στη Γαλλία σε 60 δείγματα ψαριών τα οποία περιείχαν 43 MP στο σύνολο. Ακόμη, φαίνεται πως η Ισπανία ήταν αυτή που είχε το μεγαλύτερο MP/δείγμα (32) σε 54 δείγματα μυδιών, σαλιγκαριών και στρειδιών. Αντιθέτως το χαμηλότερο παρατηρήθηκε πάλι στην Ισπανία σε 129 ψάρια με 0,15 MP/δείγμα.

Πίνακας 10: Χώρες Αμερικής με το είδος του πολυμερούς που βρέθηκε στα θαλασσινά, το μέγεθος του μικρο-πλαστικού (MP) που βρέθηκε, το είδος του μεγέθους τους και το χρώμα τους.

Χώρα	Πολυμερές	μεγεθος μικρο-πλαστικού	Σχήμα μικρο-πλαστικού	Χρώμα	Πηγή
Ισπανία	Cellulose (55%), Nylon (27%), AC (9%), Rayon (9%), PE (25%), PP (25%), PS (5%), SAN (5%), PA (5%), EPDM (5%), Ethylene-Propylene-Copolymer (E/P) (5%), EVA (5%)	< 5000μm (97.5%)	ίνες (81%), θραύσματα (12%), φιλμ (4%), άλλο (3%)	Μπλε (26.3%), κίτρινο (23.7%), μαύρο (16.9%), διάφανο (14.4%), ροζ, (5.1%), λευκό (2.5%), κόκκινο (2.5%), ασημί (1.7%), γκρι (1.7%), ανοιχτό ροζ (1.7%), καφέ (0.8%)	Stefanie Reinold et. Al. (20221)
Ισπανία	PET (36.36%), Cellophane (30.30%), Polyacrylate (15.15%), PAN (12.12%), Alkyd (3.03%), Polystyrene acrilonitrile methylmethacrylate (3.03%)	-	-	μπλε (30%), μαύρο (27%), διαφανές (21%), κόκκινο (7%), καφέ (3%), γκρι (3%), πορτοκαλί (3%), ροζ (3%), κίτρινο (3%)	C. Alomar et. Al. (2017)
Ισπανία	PET (80%), PE (14%), PA (3%), PP (3%)	1770 ± 1670 μm	ίνες (99%), θραύσματα (1%)	Ανοιχτό (52%), Μπλε (17%), Σκούρο (17%), Άλλο (14%)	Charlotte Lefebvre et. Al, (2019)

Ισπανία	rayon (22%), polyester (17%), PE (10%), polyacrylate (10%), PP (7%), cellulose acetate (7%), υπόλοιπα (27%): cellulose modified, ethylene vinyl acetate copolymer resin, fluorinated ethylene propylene, methacrylate resin, acrylonitrile-butadiene styrene resin, CP, phenolic resin,	41-30000μm (97%<5000μm)	ίνες (84%), θραύσματα (16%)	μαύρο (45%), μπλε (19%), λευκό (16%), διάφανο (11%), κόκκινο (6%), καφέ (1%), κίτρινο (0,7%), γκρι (0,5%), πράσινο (0,7%), άλλα (0.6%)	Lúcia Guilhermino et. Al. (2021)
Ισπανία	PE (54%), PES (17%), synthetic cellulose (rayon ή viscose) (12%), PVDF (4%), PP (3%), PA (2.4%), PAN (2.2%), PC (0.5%), PU (0.3%), PS (0.3%).	<1000μm (74%)	Ίνες (74%), θραύσματα (13%), φιλμ (13%)	-	Nora Exp'osito et. Al. (2022)
Ιταλία	PA, rayon, PET, PVA, PP, PAM, PE, EVA	53.4% <5000 μm	ίνες (261 MP), θραύσματα (1 MP)	μαύρο, μπλε, γκρι, πράσινο	Lili Wei et. al. (2022)
Ιταλία	PE (57%), PP (32.9%), PET (6.3%), PS (1.3%)	54 - 765 μm	θραύσματα (91,4%), ίνες (8,6%)	-	Michele Mistri et. Al. (2022)
Ιταλία	-	50 μm-350 μm (32%), 350-650 μm (21.41%), 650-950 μm (14,27%), 950-1250 μm (10,70%), 1250-1550 (7.13%), 1550-1850 μm (5%), 1850-2150 μm (3,57%), 2150-2450 μm (<1%), 2450-2750 μm (<1%), 2750-3000 μm (<1%), >3000 μm (<1%)	ίνες	μπλε (34%), μαύρο (26%), διάφανο (25%), ροζ (7%), κόκκινα (4%), κίτρινα (3%) και πράσινα (0.5%)	Michela Volgare et. Al. (2022)
Γαλία	PS), PA, PET, PC, PP, PLA, PAN, CA	17.5 μm	Ίνες, θραύσματα	μπλέ, μαύρο, διαφανές, κίτρινο, κόκκινο	Ad'elaïde Lerebours et. Al. (2022)

Γαλία	PE (37%), PP (26%), PET (16%), polyacrylonitrile (PAN, 7%), polystyrene (PS, 5%), polyamide (PA, 5%), polyethylene glycol (PEG, 2%), and poly(butyl methacrylate) (PBMA, 2%).	660 μm	ίνες, θραύσματα	-	France Collard et. Al. (2017)
Πορτογαλία	polyester (31%), PP (14%), PAL (14%), PE (6%), polyamide 6 - nylon (5%), semi-synthetic cellulose fiber (30%)	≤1000 (12.5%) μm, 1000-2000 (25%) μm, 2000-3000 (30%) μm, 3000-4000 (12.5%) μm, 4000-5000 (20%) μm	ίνες (96%), θραύσματα (4%)	τα μπλε (47%), διαφανή (30%), μαύρα (11%)	Filipa Bessa et. Al. (2018)
Τουρκία	-	150-100 μm (8,25%), 100-500 μm (25,99%), 500-1000 μm (29,14%), >1000 μm (36,62%)	ίνες (87,22%), φιλμ (7,55%), θραύσματα (5,23%).	μπλε (1032 MP), κόκκινο (319 MP), κίτρινο (175 MP), άλλα χρώματα (103 MP), λευκό (39 MP), πράσινο (14 MP)	Aykut Yozukmaz (2021)
Τουρκία	PET (66.38%), PE (15.64%), PP (8.01%), υπόλοιπα 5%: EVA, Poly(BMA-co PEGMA) (PBP), PA, DBP, PC, PAN, PS, halogen-free flame retardant (HFFR), PVC, styrene-acrylonitrile copolymer (SAC), polyvinyl fluoride (PVF)	2170 ± 2010 μm, <500 μm (19.34%), 500-1000 μm (17.00%), 4000-4500 μm (13.79%)	ίνες (80%), θραύσματα (15%), φιλμ (5%), pellet (<1%)	-	Kenan Gedik et. Al. (2022)
Γεωργία	-	ίνες 1640 μm (± 1280), θραύσματα 405μm (± 521)	θραύσματα 107MP (50.2%), ίνες 106MP (49.3%)	-	Clarissa Keisling et. Al. (2020)
Ισπανία, Γαλία, Ιτλία, Ελλάδα	PE (43.37%), PP (28.92%), PS (2.41%), PVC (9.64%), nylon (6.02%), PU (1.2%), CP (1.2%) polyethylene PET (7.23%).	<100μm (5.99%), 100-500μm (24.65%), 500-1000μm (16.9%), 1000-5000μm (52.46%)	νήματα (81.95%), φιλμ (3.19%), θραύσματα (14.29%), σφαίριδια (0.58%)	διάφανο (4.97%), μπλέ (21.77%), μαύρο (44.53%), κόκκινο (10.83%), πράσινο (11.93%), ρόζ (1.66%), λευκό (1.77%), άλλο (2.54%)	Catherine Tsangaris et. Al. (2020)

Πορτογαλία	-	3.6 - 540 μm	Θραύσματα (60%), ίνες (20%), σφαιρίδια (20%).	πράσινο, διαυγές, μπλε	S.A. Vital et. Al. (2021)
Αγγλία	Cellulose (>75%), Υπόλοιπα (25%): PS, polyester, PE, PP, nylon	<1500 μm	ίνες (87%), θραύσματα (12%), microbeats (<1%)	-	Nicholas Scott et. Al. (2019)
μαύρη θ/σα	PET (34.2%), PE (31.1%), PP (18.9%), PS (6.32%), PVC (5.26%), PA (4.21%)	<500 μm (36%), 500–1000 μm (29%), 1000–1500 μm (17%), 500–2000 μm (3%), 2000–2500μm (4%), 2500–3000μm (3%), 3000–3500 μm (4%), 4000–4500 μm (1%), 4500–5000 μm (3%)	ίνες (68,9%), θραύσματα (19,5%), αφρός (7,37%), φιλμ (3,68%), pellet (0.52%)	-	Kenan Gedik and Ahmet Mutlu Gozler (2022)
μαύρη θ/σα	PVA, PE, PAN, PVC, PET, EVA, PVDF, PCT, PP	6680 ± 4000μm	ίνες (77.35%), θραύσματα (22.65%)	λευκό (58.72%), μπλε (21.1%), μαύρο (7.28%), καφέ (6.3%), πράσινο (6.58%)	Hatice Onay et. Al. (2023)
Αδριατική θάλασσα	PVC, PLY, PET, PP, PS, PE	20-40 μm (40-46%), 40-80 μm (21-22%), 80-100 μm (19-11%), >100 μm (20-21%)	θραύσμα, ίνες	-	Alessio Gomiero et. Al. (2019)

Στον πίνακα Πίνακας 10 έχουν χωριστεί τα ευρισκόμενα μικροπλαστικά ανά χώρα με βάση το πολυμερές τους, το μέγεθος, το σχήμα και το χρώμα. Έτσι, από τα διάφορα πολυμερή που βρέθηκαν το περισσότερο ήταν το *PP* το οποίο βρέθηκε σε 13 έρευνες ενώ το *PE* ανιχνεύτηκε σε 15 διαφορετικές έρευνες. Αντιθέτως στην Ισπανία το *PET* ήταν αυτό που βρέθηκε σε μεγαλύτερο ποσοστό με τα μικροπλαστικά να εμπεριέχονται στα ψάρια (*Sardina pilchardus*, *Engraulis encrasicolus*). Ως προς το μέγεθός τους, τα περισσότερα μικροπλαστικά ήταν έως 1000μm με εξαίρεση τη μαύρη θάλασσα όπου εκεί τα πλαστικά που

βρέθηκαν ήταν >5000μm. Από την άλλη, τα χρώματα που βρέθηκαν ήταν μαύρο, μπλε κίτρινο, διαφανές, ροζ, λευκό, κόκκινο, ασημί, γκρι, καφέ, κίτρινο, πορτοκαλί και πράσινο. Από τα χρώματα αυτά το μπλε βρέθηκε σε 12 έρευνες ενώ το μαύρο σε 10. Παρόλα αυτά τα λευκό χρώμα ήταν αυτό που βρέθηκε περισσότερο στη μαύρη θάλασσα σε αχιβάδα *Chamelea gallina*.

Πίνακας 11: Χώρες της Αφρικής με το είδος θαλασσινού, την επιστημονική ονομασία του θαλασσινού, τα μικρο-πλαστικά (MP) που έχουν καταναλώσει και τα μικρο-πλαστικά ανά δείγμα θαλασσινού

Χώρα	Είδος	Αριθμός δείγματος	Επιστημονική ονομασία	Αριθμός μικρο-πλαστικού	Μικρο-πλαστικά/δείγμα	Πηγή
Τυνησία	Ψάρι, μύδι	-	<i>Sardina pilchardus</i> , <i>Sparus aurata</i> , <i>Mullus surmuletus</i> , <i>Solea solea</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i>	-	8.896 ± 4.2 MP/g	Margherita Ferrante et. Al. (2022)
Τυνησία	Μύδι, Βενεροΐδα, στρείδι, σαλιγκάρι, σουπιά	63	<i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Ruditapes decussatus</i> , <i>Crassostrea gigas</i> , <i>Hexaplex trunculus</i> , <i>Bolinus brandaris</i> , <i>Sepia officinalis</i>	-	(703.95 ± 109.80) - (1482.82 ± 19.20) MP/kg	Sami Abidli et. Al. (2019)
Τυνησία	Μύδι	63	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	232 MP	7.7 ± 3.8 MP/δείγμα	Takwa Wakkaf et. Al. (2020)
Αίγυπτος	Ψάρι	159	<i>Siganus rivulatus</i> , <i>Diplodus sargus</i> , <i>Sardinella aurita</i> , <i>Sphyrna viridensis</i> , <i>Boops boops</i> , <i>Lithognathus mormyrus</i> , <i>Terapon puta</i> , <i>Atherina boyeri</i>	-	1912 MP/δείγμα	Soha Hamdy Shabaka et. Al. (2020)
Αίγυπτος	Ψάρι	83	<i>Dicentrarchus labrax</i>	-	0.58 ± 0.04 MP/δείγμα	Radwa Mohamed Said et. Al. (2022)
Γκάνα	Ψάρι	90	<i>Sardinella maderensis</i> , <i>Illisha africana</i>	1995 MP	15.59 MP/δείγμα	Francis Nuamah et. Al. (2023)
Κέιπ Τάουν	Μύδι	168	<i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Choromytilus meridionalis</i> , <i>Aulacomya ater</i>	1572 MP	4.27± 0.5 MP/δείγμα ή 2.33±0.2 MP/g	Conrad Sparks (2020)

Στον πίνακα 11 παρατηρούμε τις χώρες της Αφρικής στις οποίες έχουν βρεθεί μικροπλαστικά σε διάφορα είδη θαλασσινών, με την Τυνησία να έχουν γίνει οι περισσότερες έρευνες. Συγκεκριμένα, το ψάρι ήταν αυτό που αναλύθηκε περισσότερο για τη περιεκτικότητά του σε μικροπλαστικά. Παρόλα αυτά φαίνεται πως στο Κέιπ Τάουν έγινε έλεγχος μικροπλαστικών σε 168 δείγματα μυδιών όπου ήταν τα περισσότερα δείγματα που συλλέχθηκαν από τις έρευνες αυτές. Ενώ, το μύδι *Mytilus galloprovincialis* ήταν αυτό που ελέγχθηκε τις περισσότερες φορές για περιεκτικότητα μικροπλαστικών όπου εμφανίζεται σε 2 διαφορετικές έρευνες για την Αφρική συγκριτικά με τα άλλα θαλασσινά τα οποία εμφανίζονται από μια φορά. Επίσης, στο Κέιπ Τάουν βρέθηκαν τα περισσότερα μικροπλαστικά (1572 MP) σε 168 δείγματα μυδιού σε 3 διαφορετικά είδη *Mytilus galloprovincialis*, *Choromytilus meridionalis*, *Aulacomya ater*. Αντιθέτως, φαίνεται πως τα αλιεύματα αυτά παρουσίασαν τα περισσότερα μικροπλαστικά ανά δείγμα (1912 MP) στη περιοχή της Αιγύπτου. Αντιθέτως τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε MP/δείγμα το είχε το ψάρι *Dicentrarchus labrax* στην Αίγυπτο με 0,58 MP/δείγμα.

Πίνακας 12: Χώρες Αφρικής με το είδος του πολυμερούς που βρέθηκε στα θαλασσινά, το μέγεθος του μικρο-πλαστικού (MP) που βρέθηκε, το είδος του μεγέθους τους και το χρώμα τους.

Χώρα	Πολυμερές	Μέγεθος μικρο-πλαστικού	Σχήμα μικρο-πλαστικού	Χρώμα	Πηγή
Τυνησία	-	2.12 ± 0.34 μm	-	-	Margherita Ferrante et. Al. (2022)
Τυνησία	PP, PE	100-1000μm (70%)	Ίνες (91,30%), θραύσματα (5,47%), φιλμ (3,23%)	μαύρο, μπλε, διάφανο, κόκκινο, πράσινο, λευκό, κίτρινο	Sami Abidli et. Al. (2019)
Τυνησία	PE (80%), PP (15%), cellophane (5%)	-	ίνες, θραύσματα, φιλμ, σφαιρίδια	διάφανο (61.64%), μαύρο/μπλέ (10.34%), υπόλοιπα (28.02%)	Takwa Wakkaf et. Al. (2020)
Αίγυπτος	PEVA, LLDPE, HDPE, PET, sPP	≤25μm (5.66%), 25–100μm (46.33%), 100–300μm (21.33%), 300–500μm (16.33%), 500–1000μm (7.33%), 1000–2000μm (3.33%)	ίνες, φιλμ, θραύσματα	-	Soha Hamdy Shabaka et. Al. (2020)
Αίγυπτος	PE (82%), PP (15.42%), PS (2.58%)	-	-	-	Radwa Mohamed Said et. Al. (2022)

Γκάνα	-	-	ίνες (42,06%), σφαιρίδια (30,38%), θραύσματα (25,71%), φιλμ (1,20%), αφρός (0,65%)	έγχρωμα (38,9%), διαφανές (28,3%), μαύρα (26,6%), λευκά (16.4%)	Francis Nuamah et. Al. (2023)
Κέιπ Τάουν	-	100-500μm (27%) 500-1000μm (28%), 1000-2000μm (22%), 2000-5000μm (8%), >5000μm (15%)	ίνες (67%), θραύσματα (21%), σφαίρες (12%)	μαυρο-γκρι (37%), μπλε-πρασινό (30%), λευκό (12%), διάφανο (11%), κόκκινο-ροζ (8%), κιτρινο-πορτοκαλί (3%)	Conrad Sparks (2020)

Στον πίνακα 12 έχουν χωριστεί οι χώρες ανάλογα με το είδος του πολυμερούς που έχουν παρατηρηθεί στα θαλασσινά, το μέγεθος, το σχήμα αλλά και το χρώμα τους. Φάνηκε πως το *PP* και το *PE* ήταν αυτά που παρατηρήθηκαν στις περισσότερες αναλύσεις και συγκεκριμένα το *PE* ήταν αυτό που είχε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση, στην Αίγυπτο σε 83 δείγματα ψαριού *Dicentrarchus labrax*. Τα μεγέθη που συναντήθηκαν ήταν κατά κύριο λόγο <1000μm το οποίο αναφέρεται στη Τυνησία. Ενώ, τα σχήματα που βρέθηκαν είναι ίνες, θραύσματα, φιλμ, σφαιρίδια και αφρός όπου οι ίνες είναι αυτές που βρέθηκαν τις περισσότερες φορές ενώ ο αφρός παρατηρήθηκε μόνο μία φορά. Στη συνέχεια αναλύθηκαν τα χρώματα τα οποία ήταν μαύρα, μπλε, διάφανα, κόκκινα, πράσινα, λευκά, κίτρινα, ροζ και πορτοκαλί. Από τα χρώματα αυτά το διαφανές ήταν αυτό που ανιχνεύτηκε συχνότερα με το μεγαλύτερο ποσοστό να βρίσκεται επίσης στη Τυνησία, ενώ αντιθέτως το πορτοκαλί και το ροζ βρέθηκαν μονάχα από μια φορά το κάθε ένα με χαμηλά ποσοστά.

Πίνακας 13: Χώρες της Ωκεανίας με το είδος θαλασσινού, την επιστημονική ονομασία του θαλασσινού, τα μικρο-πλαστικά (MP) που έχουν καταναλώσει και τα μικρο-πλαστικά ανά δείγμα θαλασσινού

Χώρα	Είδος	Αριθμός δείγματος	Επιστημονική ονομασία	Αριθμός μικρο- πλαστικού	Μικρο- πλαστικά/δείγμα	Πηγή
Φίτζι	Ψάρι	53	<i>thumbprint emperor</i>	206 MP	4 MP/δείγμα	Rufino Varea et. Al. (2021)

Αυστραλία	Γαρίδα, καβούρι	510	<i>king prawns Melicertus spp, tiger prawns Penaeus esculentus, banana prawns Penaeus merguensis Blue-swimmer crab Portunus armatus, mud crab Scylla serrata</i>	498MP	0.98 ± 0.06 MP/δείγμα	Solomon O. Ogunola et. Al. (2022)
Νέα Ζηλανδία	Ψάρι	155	<i>Pseudophycis bachus, Nemadactylus macropterus, Chelidonichthys kumu, Caesioperca lepidoptera, Helicolenus barathri, Latridopsis ciliaris, Squalus acanthias, Thyrsites atun, Trachurus declivis, Seriolella brama</i>	391 MP	2.5 MP/δείγμα	Isabella K. Clere et. Al. (2022)
uckland, Samoa, Tahiti, Rapa Nui	Ψάρι	932	-	550 MP	2.4 MP/δείγμα	Ana Markic et. Al. (2018)
Ανταρκτική	Σαλιγκάρι	36	<i>Neobuccinum eatoni</i>	19 MP	-	E. Bergam et. Al. (2023)

Στον πίνακα 13 έχουν χωριστεί οι χώρες ανάλογα με τα θαλασσινά που αναλύθηκαν να περιέχουν μικροπλαστικά, τον αριθμό των δειγμάτων, την επιστημονική τους ονομασία, τον αριθμό του μικρο-πλαστικού αλλά και την ποσότητα των μικροπλαστικών ανά δείγμα. Από όσο μπορούμε να παρατηρήσουμε δεν έχουν γίνει πολλές μελέτες στις χώρες της Ωκεανίας μιας και βρέθηκαν μόνο 5 έρευνες που να αναφέρονται σε κατανάλωση μικροπλαστικών στα θαλασσινά. Ενώ υπάρχει και μία μελέτη η οποία έγινε στην Ανταρκτική σε σαλιγκάρια. Παρόλα αυτά στις χώρες τις Ωκεανίας αναλύθηκαν διάφορα είδη ψαριού, γαρίδας και καβουριού. Τα περισσότερα δείγματα (932 δείγματα) να έχουν αναλυθεί στις περιοχές *Samoa, Tahiti, Rapa Nui* όπου και παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη συγκέντρωση σε μικροπλαστικά, άνω η Αυστραλία ήταν η αμέσως επόμενη με σύνολο 498 μικροπλαστικά σε 510 δείγματα γαρίδας και καβουριού. Παρόλη τη μεγάλη εύρεση των μικροπλαστικών στις χώρες αυτές, τα μικροπλαστικά/δείγμα ήταν μεγαλύτερα στη Νέα Ζηλανδία όπου παρατηρήθηκαν 2,5MP/δείγμα σε 155 δείγματα ψαριών.

Πίνακας 14: Χώρες Ωκεανίας με το είδος του πολυμερούς που βρέθηκε στα θαλασσινά, το μέγεθος του μικρο-πλαστικού (MP) που βρέθηκε, το είδος του μεγέθους τους και το χρώμα τους.

Χώρα	Πολυμερές	Μέγεθος μικρο-πλαστικού	Σχήμα μικρο-πλαστικού	Χρώμα	Πηγή
Φίτζι	-	0-400 μm (35%), 500-900 μm (49%), 1000-1400 μm (10.5%), 1500-1900 μm (5.5%).	ίνες (64.5%), θραύσματα (24%), σφαιρίδια (2.5%).	-	Rufino Varea et. Al. (2021)
Αυστραλία	polyolefins (28%), PES (21%), PE (15%), PP (13%), PA (10%), polyacrylate (8%), polyaniline (2%), PU (1.5%), rubber (1.5%)	38 -1000 μm (78,5%), >1000 μm (21,5%)	ίνες (99%), θραύσματα (1.4%)	μπλε (58%), μαύρο (24%), διαφανείς (18%), κόκκινες (0,6%).	Solomon O. Ogunola et. Al. (2022)
Νέα Ζηλανδία	PE (68%), viscose (14%), (PE + plumbophyllite) (12%), (PP + phthalocyanine) (2%), (PP + TiO ₂) (2%), (PE + PO ₄) (2%)	0-500 μm (50%), 500-1000 μm (25%), 1000-2000 μm (15%), 2000-3000 μm (<1%), 4000-5000 μm (<1%), >5000 μm (1%)	ίνα, δέσμη, θραύσμα, φιλμ, σφαιρίδιο	-	Isabella K. Clere et. Al. (2022)
uckland, Samoa, Tahiti, Rapa Nui	PES (28%), PE (26%), rayon (17%), PP (9%), PVC (7%), PA (4%), PU (3%), acrylic (3%), rubber (2%), SAN (< 1%)	<100 μm (1%), 100-500 μm (38%), 500-1000 μm (24%), 1000-5000 μm (34%), >5000 μm (3%)	θραύσματα (49%), ίνες (33%), φιλμ (18%)	μαύρο (22%), μπλε (18%), λευκό (17%), διαφανές (12%), (γκρι, καφέ, πράσινο, μοβ, ροζ, κόκκινο, πορτοκαλί, κίτρινο) <10%	Ana Markic et. Al. (2018)
Ανταρκτική	cellulose (20%), cellulose-PA (27%), PET (30%), rayon (6%)	253–5768 μm	ίνες (89.5%), θραύσματα (10.5%)	μαύρο (41%), μπλε (30%), κόκκινο (29%)	E. Bergam et. Al. (2023)

Στον πίνακα 14 έχουν χωριστεί τα μικροπλαστικά ανάλογα το πολυμερές, το μέγεθος, το σχήμα και το χρώμα τους. Το *PP* και το *PE* ήταν αυτά που εμφανίστηκαν σε μεγαλύτερη συχνότητα ενώ στην Αυστραλία και στις περιοχές *Samoa*, *Tahiti*, *Rapa Nui* κ.α. καταγράφηκαν τα περισσότερα διαφορετικά είδη πολυμερούς. Συγκεκριμένα το *PE* ήταν αυτό που βρέθηκε σε μεγαλύτερη συγκέντρωση στη Νέα ζηλανδία, σε διάφορα είδη ψαριού. Όσον αφορά το μέγεθος των μικροπλαστικών, το μεγαλύτερο ποσοστό ήταν <1000 μm , με το μεγαλύτερο ποσοστό να βρίσκεται στην Αυστραλία. Ακόμη, τα σχήματα που παρατηρήθηκαν στις χώρες αυτές ήταν ίνες, θραύσματα, σφαίρες και φιλμ. Από τα σχήματα που βρέθηκαν τα περισσότερα ανήκαν στη κατηγορία των ινών με τα θραύσματα να είναι τα

αμέσως επόμενα. Από την άλλη τα χρώματα ήταν μπλε, μαύρο, διαφανές, λευκό, κόκκινο, γκρι, καφέ, πράσινο, μοβ, ροζ, πορτοκαλί και κίτρινο. Τα περισσότερα χρώματα των μικροπλαστικών ήταν μπλε ενώ τα μαύρα ήταν τα δεύτερα υψηλότερα σε συγκέντρωση.

Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης τα αλιεύματα που ερευνηθήκαν περισσότερο στις μελέτες που έχουν δημοσιευτεί την περίοδο που εξετάστηκε ήταν το *Mullus surmuletus* και το *Crassostrea gigas*. Οι ήπειροι με τα περισσότερα MP ήταν η Ευρώπη με 11.003 MP συνολικά και η Αμερική ήταν η δεύτερη με 9.966 MP. Στις έρευνες αυτές, την περίοδο 2017-2023, στα ψάρια βρέθηκαν συνολικά περίπου 14.500 MP ενώ στα μύδια βρέθηκαν 9.000 MP, με τα περισσότερα MP να βρίσκονται στο Μεξικό σε ψάρια με σύνολο 3.144 MP ενώ αμέσως μετά ακολουθεί η Βραζιλία με 2.597 MP στις γαρίδες. Το πολυμερές που παρατηρήθηκε συχνότερα ήταν το PP και το PE όπου βρέθηκαν σε 49 έρευνες το κάθε ένα με το PE να βρίσκεται σε μεγαλύτερα ποσοστά στα θαλασσινά από ότι το PP. Το σχήμα που βρέθηκε τις περισσότερες φορές ήταν οι ίνες και τα θραύσματα. Τέλος, τα μεγέθη που βρέθηκαν σε μεγαλύτερη συχνότητα ήταν τα MP με μεγέθη <1000μm, ενώ τα κυρίαρχα χρώματα ήταν το μαύρο και το μπλε με. Όσον αφορά τις ηπείρους, τα MP ήταν 8.221, 9.966, 11.003, 3.799 και 1.664 σε Ασία, Αμερική, Ευρώπη, Αφρική και Ωκεανία. Φαίνεται πως παρόλο που στη Κίνα έχουν ερευνηθεί περισσότερο τα MP σε θαλασσινά, η Ευρώπη είναι αυτή που έχει τα περισσότερα συγκριτικά με τις υπόλοιπες ηπείρους.

Από όσο φαίνεται τα μικροπλαστικά στα θαλασσινά είναι ένα υπαρκτό ζήτημα στο οποίο θα πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση και να ερευνηθεί περαιτέρω. Παρόλο που τα κομμάτια μικροπλαστικών βρίσκονται σε μικρές ποσότητες στα θαλασσινά υπάρχουν πιθανοί κίνδυνοι για την υγεία που συνδέονται με τη μεταφορά των μικροπλαστικών στον άνθρωπο μέσω της κατανάλωσης θαλασσινών. Πέρα από τα θαλασσινά τα πλαστικά είναι πανταχού παρόντα και με την έκθεση σε αυτά σε καθημερινή βάση υπάρχουν κίνδυνοι για τοξικολογικές επιπτώσεις είτε λόγω των πλαστικών είτε λόγω των διάφορων πρόσθετων που εμπεριέχονται σε αυτά. Έτσι, υπάρχει επείγουσα ανάγκη για ολοκληρωμένη έρευνα και αποτελεσματικές στρατηγικές μετριασμού για την κατανόηση αλλά και αντιμετώπιση αυτής της περιβαλλοντικής πρόκλησης για τη δημόσια υγεία.

Βιβλιογραφία

1. Marilena Streit-Bianchi, Cimadevila, M., & Wolfgang Trettnak. (2020a). *Mare plasticum - the plastic sea : combatting plastic pollution through science and art*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-38945-1>
2. Letcher, T. M. (2020). Introduction to plastic waste and recycling. In *Plastic Waste and Recycling* (pp. 3–12). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817880-5.00001-3>
3. Bucci, K., Tulio, M., & Rochman, C. M. (2020). What is known and unknown about the effects of plastic pollution: A meta-analysis and systematic review. *Ecological Applications*, 30(2), e02044. <https://doi.org/10.1002/eap.2044>
4. Verla, A. W., Enyoh, C. E., Verla, E. N., & Nwornorh, K. O. (2019). Microplastic–toxic chemical interaction: A review study on quantified levels, mechanism and implication. *SN Applied Sciences*, 1(11), 1400. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1352-0>
5. Zhang, K., Hamidian, A. H., Tubić, A., Zhang, Y., Fang, J. K. H., Wu, C., & Lam, P. K. S. (2021). Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review. *Environmental Pollution*, 274, 116554. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116554>
6. Shen, M., Huang, W., Chen, M., Song, B., Zeng, G., & Zhang, Y. (2020). (Micro)plastic crisis: Un-ignorable contribution to global greenhouse gas emissions and climate change. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120138>
7. Hacker, M. C., Krieghoff, J., & Mikos, A. G. (2019). Synthetic Polymers. In *Principles of Regenerative Medicine* (pp. 559–590). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809880-6.00033-3>

8. Hartmann, N. B., Hüffer, T., Thompson, R. C., Hassellöv, M., Verschoor, A., Daugaard, A. E., Rist, S., Karlsson, T., Brennholt, N., Cole, M., Herrling, M. P., Hess, M. C., Ivleva, N. P., Lusher, A. L., & Wagner, M. (2019). Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris. *Environmental Science & Technology*, 53(3), 1039–1047.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05297>
9. European Commission (2023), Directorate-General for Environment, *Nanoplastics – State of knowledge and environmental and human health impacts*, Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/632649>
10. Frias, J. P. G. L., & Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138, 145–147.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>
11. European Commission, Directorate-General for Environment, *Nanoplastics – State of knowledge and environmental and human health impacts*, Publications Office of the European Union, 2023, <https://data.europa.eu/doi/10.2779/632649>
12. Koelmans, A. A., Redondo-Hasselerharm, P. E., Nor, N. H. M., De Ruijter, V. N., Mintenig, S. M., & Kooi, M. (2022). Risk assessment of microplastic particles. *Nature Reviews Materials*, 7(2), 138–152. <https://doi.org/10.1038/s41578-021-00411-y>
13. Leslie, H. A., Van Velzen, M. J. M., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J., & Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, 163, 107199.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
14. Emmerik T., & Schwarz A. (2019). Plastic debris in rivers. *WIREs Water*, 7(1) e1398.
<https://doi.org/10.1002/wat2.1398>
15. García Rellán, A., Vázquez Ares, D., Vázquez Brea, C., Francisco López, A., & Bello

- Bugallo, P. M. (2023). Sources, sinks and transformations of plastics in our oceans: Review, management strategies and modelling. *Science of The Total Environment*, 854, 158745. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158745>
16. Nielsen, T. D., Hasselbalch, J., Holmberg, K., & Strippel, J. (2020). Politics and the plastic crisis: A review throughout the plastic life cycle. *WIREs Energy and Environment*, 9(1), e360. <https://doi.org/10.1002/wene.360>
17. Plastic the facts (2022). <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>
18. Ammendolia, J., & Walker, T. R. (2022). Citizen science: A way forward in tackling the plastic pollution crisis during and beyond the COVID-19 pandemic. *Science of The Total Environment*, 805, 149957. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149957>
19. Williams, A. T., & Rangel-Buitrago, N. (2022). The past, present, and future of plastic pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 176, 113429. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113429>
20. Williams, A. T., & Rangel-Buitrago, N. (2022). The past, present, and future of plastic pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 176, 113429. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113429>
21. Lau, W. W. Y., Shiran, Y., Bailey, R. M., Cook, E., Stuchtey, M. R., Koskella, J., Velis, C. A., Godfrey, L., Boucher, J., Murphy, M. B., Thompson, R. C., Jankowska, E., Castillo Castillo, A., Pilditch, T. D., Dixon, B., Koerselman, L., Kosior, E., Favoino, E., Gutberlet, J., ... Palardy, J. E. (2020). Evaluating scenarios toward zero plastic pollution. *Science*, 369(6510), 1455–1461. <https://doi.org/10.1126/science.aba9475>
22. Rozman, U., & Kalčíková, G. (2022). Seeking for a perfect (non-spherical) microplastic particle – The most comprehensive review on microplastic laboratory

research. *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127529.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127529>

23. Bucci, K., Tulio, M., & Rochman, C. M. (2020). What is known and unknown about the effects of plastic pollution: A meta-analysis and systematic review. *Ecological Applications*, 30(2), e02044. <https://doi.org/10.1002/eap.2044>
24. European Environment Agency (2022). *Microplastics from textiles: towards a circular economy for textiles in Europe* — European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/microplastics-from-textiles-towards-a>.
25. Hartmann, G. F., Ricachenevsky, F. K., Silveira, N. M., & Pita-Barbosa, A. (2022). Phytotoxic effects of plastic pollution in crops: What is the size of the problem? *Environmental Pollution*, 292, 118420. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118420>
26. Ford, H. V., Jones, N. H., Davies, A. J., Godley, B. J., Jambeck, J. R., Napper, I. E., Suckling, C. C., Williams, G. J., Woodall, L. C., & Koldewey, H. J. (2022). The fundamental links between climate change and marine plastic pollution. *Science of The Total Environment*, 806, 150392. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150392>
27. Boucher, J., & Billard, G. (2019). The challenges of measuring plastic pollution. *Field Actions Science Reports [Online], Special Issue 19*. <http://journals.openedition.org/factsreports/5319>
28. Kasavan, S., Yusoff, S., Rahmat Fakri, M. F., & Siron, R. (2021). Plastic pollution in water ecosystems: A bibliometric analysis from 2000 to 2020. *Journal of Cleaner Production*, 313, 127946. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127946>
29. Carney Almroth, B., & Eggert, H. (2019). Marine Plastic Pollution: Sources, Impacts, and Policy Issues. *Review of Environmental Economics and Policy*, 13(2), 317–326. <https://doi.org/10.1093/reep/rez012>
30. Tang, Y., Liu, Y., Chen, Y., Zhang, W., Zhao, J., He, S., Yang, C., Zhang, T., Tang, C., Zhang, C., & Yang, Z. (2021). A review: Research progress on microplastic

pollutants in aquatic environments. *Science of The Total Environment*, 766, 142572
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142572>

31. Fagiano, V., Compa, M., Alomar, C., García-Marcos, K., & Deudero, S. (2022). Marine plastics in Mediterranean islands: Evaluating the distribution and composition of plastic pollution in the surface waters along four islands of the Western Sea Basin. *Environmental Pollution*, 305, 119268. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119268>
32. Kanhai, L. D. K., Asmath, H., & Gobin, J. F. (2022). The status of marine debris/litter and plastic pollution in the Caribbean Large Marine Ecosystem (CLME): 1980–2020. *Environmental Pollution*, 300, 118919. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118919>
33. Maga, D., Galafton, C., Blömer, J., Thonemann, N., Özdamar, A., & Bertling, J. (2022). Methodology to address potential impacts of plastic emissions in life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 27(3), 469–491. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02040-1>
34. Senathirajah, K., Attwood, S., Bhagwat, G., Carbery, M., Wilson, S., & Palanisami, T. (2021). Estimation of the mass of microplastics ingested – A pivotal first step towards human health risk assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 404, 124004. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124004>
35. Mitrano, D. M., Wick, P., & Nowack, B. (2021). Placing nanoplastics in the context of global plastic pollution. *Nature Nanotechnology*, 16(5), 491–500. <https://doi.org/10.1038/s41565-021-00888-2>
36. Haldar, S., Muralidaran, Y., Míguez, D., Mulla, S. I., & Mishra, P. (2023). Eco-toxicity of nano-plastics and its implication on human metabolism: Current and future perspective. *Science of The Total Environment*, 861, 160571. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160571>
37. Shi, C., Han, X., Guo, W., Wu, Q., Yang, X., Wang, Y., Tang, G., Wang, S., Wang,

- Z., Liu, Y., Li, M., Lv, M., Guo, Y., Li, Z., Li, J., Shi, J., Qu, G., & Jiang, G. (2022). Disturbed Gut-Liver axis indicating oral exposure to polystyrene microplastic potentially increases the risk of insulin resistance. *Environment International*, 164, 107273. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107273>
38. Shen, M., Song, B., Zeng, G., Zhang, Y., Huang, W., Wen, X., & Tang, W. (2020). Are biodegradable plastics a promising solution to solve the global plastic pollution? *Environmental Pollution*, 263, 114469. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114469>
39. Sheridan, E. A., Fonvielle, J. A., Cottingham, S., Zhang, Y., Dittmar, T., Aldridge, D. C., & Tanentzap, A. J. (2022). Plastic pollution fosters more microbial growth in lakes than natural organic matter. *Nature Communications*, 13(1), 4175. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31691-9>
40. Pinto Da Costa, J., Reis, V., Paço, A., Costa, M., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). Micro(nano)plastics – Analytical challenges towards risk evaluation. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 111, 173–184. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.12.013>
41. *Plastic atlas 2019: Facts and figures about the world of synthetic polymers*. (2019). Heinrich Böll foundation. <https://eu.boell.org/en/plastic-atlas>
42. Gouin, T. (2022). S-17-01 Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles: potential implications for human health. *Toxicology Letters*, [online] 368, p.S41. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2022.07.131>
43. Bolívar-Subirats, G., Rivetti, C., Cortina-Puig, M., Barata, C., & Lacorte, S. (2021). Occurrence, toxicity and risk assessment of plastic additives in Besos river, Spain. *Chemosphere*, 263, 128022. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128022>
44. Hahladakis, J. N., Velis, C. A., Weber, R., Iacovidou, E., & Purnell, P. (2018). An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *Journal of Hazardous*

- Materials*, 344, 179–199. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.014>
45. Barrick, A., Champeau, O., Chatel, A., Manier, N., Northcott, G., & Tremblay, L. A. (2021). Plastic additives: Challenges in ecotox hazard assessment. *PeerJ*, 9, e11300. <https://doi.org/10.7717/peerj.11300>
 46. Plastic additives initiative Supplementary Information on Scope and Methods. (2019). ECHA. <https://echa.europa.eu/plastic-additives-initiative>
 47. Wagner, S., & Schlummer, M. (2020). Legacy additives in a circular economy of plastics: Current dilemma, policy analysis, and emerging countermeasures. *Resources, Conservation and Recycling*, 158, 104800. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104800> (73)
 48. Andjelković, T., Bogdanović, D., Kostić, I., Kocić, G., Nikolić, G., & Pavlović, R. (2021). Phthalates leaching from plastic food and pharmaceutical contact materials by FTIR and GC-MS. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(24), 31380–31390. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12724-0>
 49. Osman, A. I., Hosny, M., Eltaweil, A. S., Omar, S., Elgarahy, A. M., Farghali, M., Yap, P.-S., Wu, Y.-S., Nagandran, S., Batumalaie, K., Gopinath, S. C. B., John, O. D., Sekar, M., Saikia, T., Karunanithi, P., Hatta, M. H. M., & Akinyede, K. A. (2023). Microplastic sources, formation, toxicity and remediation: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(4), 2129–2169. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01593-3>
 50. Luo, H., Liu, C., He, D., Sun, J., Li, J., & Pan, X. (2022). Effects of aging on environmental behavior of plastic additives: Migration, leaching, and ecotoxicity. *Science of The Total Environment*, 849, 157951. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157951>
 51. Chen, X., Zhuang, J., Chen, Q., Xu, L., Yue, X., & Qiao, D. (2022). Polyvinyl chloride microplastics induced gut barrier dysfunction, microbiota dysbiosis and

- metabolism disorder in adult mice. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 241, 113809. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113809>
52. Ellis, L. D., Rorrer, N. A., Sullivan, K. P., Otto, M., McGeehan, J. E., Román-Leshkov, Y., Wierckx, N., & Beckham, G. T. (2021). Chemical and biological catalysis for plastics recycling and upcycling. *Nature Catalysis*, 4(7), 539–556. <https://doi.org/10.1038/s41929-021-00648-4>
53. Gunaalan, K., Fabbri, E., & Capolupo, M. (2020). The hidden threat of plastic leachates: A critical review on their impacts on aquatic organisms. *Water Research*, 184, 116170. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116170>
54. Christia, C., Poma, G., Caballero-Casero, N., & Covaci, A. (2022). Occurrence of newly identified plasticizers in handwipes; development and validation of a novel analytical method and assessment of human exposure via dermal absorption. *Environmental Research*, 210, 112983. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112983>
55. Wiesinger, H., Wang, Z., & Hellweg, S. (2021). Deep Dive into Plastic Monomers, Additives, and Processing Aids. *Environmental Science & Technology*, 55(13), 9339–9351. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c00976>
56. Xu, Y., Park, S. H., Yoon, K. N., Park, S. J., & Gye, M. C. (2019). Effects of citrate ester plasticizers and bis (2-ethylhexyl) phthalate in the OECD 28-day repeated-dose toxicity test (OECD TG 407). *Environmental Research*, 172, 675–683. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.03.004>
57. Zhong, X., Yi, X., Cheng, F., Tong, H., Xu, W., & Yang, X. (2023). Leaching of di-2-ethylhexyl phthalate from biodegradable and conventional microplastics and the potential risks. *Chemosphere*, 311, 137208. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137208>
58. Farooq, M. U., Jalees, M. I., Qurat-ul-Ain, Hussain, G., Anis, M., & Islam, U. (2021).

- Health risk assessment of endocrine disruptor bisphenol A leaching from plastic bottles of milk and soft drinks. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(40), 57090–57098. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14653-4>
59. Arrigo, F., Impellitteri, F., Piccione, G., & Faggio, C. (2023). Phthalates and their effects on human health: Focus on erythrocytes and the reproductive system. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 270, 109645. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2023.109645>
60. Burgos-Aceves, M. A., Abo-Al-Ela, H. G., & Faggio, C. (2021). Physiological and metabolic approach of plastic additive effects: Immune cells responses. *Journal of Hazardous Materials*, 404, 124114. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124114>
61. Xu, Y., Jang, J., & Gye, M. C. (2022). The *Xenopus laevis* teratogenesis assay for developmental toxicity of phthalate plasticizers and alternatives. *Environmental Pollution*, 300, 118985. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118985>
62. Xu, Y., & Gye, M. C. (2018). Developmental toxicity of dibutyl phthalate and citrate ester plasticizers in *Xenopus laevis* embryos. *Chemosphere*, 204, 523–534. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.077>
63. Ge, R., Chen, G., Tanrikut, C., & Hardy, M. (2007). Phthalate ester toxicity in Leydig cells: Developmental timing and dosage considerations. *Reproductive Toxicology*, 23(3), 366–373. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2006.12.006>
64. Yang, S., Arcanjo, R. B., & Nowak, R. A. (2021). The effects of the phthalate DiNP on reproduction†. *Biology of Reproduction*, 104(2), 305–316. <https://doi.org/10.1093/biolre/iaaa201>
65. Bereketoğlu, C., & Pradhan, A. (2022). Plasticizers: Negative impacts on the thyroid hormone system. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(26), 38912–38927. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19594-0>

66. Schaffert, A., Karkossa, I., Ueberham, E., Schlichting, R., Walter, K., Arnold, J., Blüher, M., Heiker, J. T., Lehmann, J., Wabitsch, M., Escher, B. I., Von Bergen, M., & Schubert, K. (2022). Di-(2-ethylhexyl) phthalate substitutes accelerate human adipogenesis through PPAR γ activation and cause oxidative stress and impaired metabolic homeostasis in mature adipocytes. *Environment International*, 164, 107279. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107279>
67. Li, X., Bullert, A. J., Han, W., Yang, W., Zhang, Q.-Y., Ding, X., & Lehmler, H.-J. (2023). Enantiomeric Fractions Reveal Differences in the Atropselective Disposition of 2,2',3,5',6-Pentachlorobiphenyl (PCB 95) in Wildtype, *Cyp2abfgs* -Null, and CYP2A6-Humanized Mice. *Chemical Research in Toxicology*, 36(8), 1386–1397. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.3c00128>
68. Tremoen, N. H., Fowler, P. A., Ropstad, E., Verhaegen, S., & Krogenæs, A. (2014). Exposure to the Three Structurally Different PCB Congeners (PCB 118, 153, and 126) Results in Decreased Protein Expression and Altered Steroidogenesis in the Human Adrenocortical Carcinoma Cell Line H295R. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 77(9–11), 516–534. <https://doi.org/10.1080/15287394.2014.886985>
69. Ranasinghe, P., Thorn, R. J., Seto, R., Creton, R., Bridges, W. C., Chapman, S. C., & Lee, C. M. (2020). Embryonic Exposure to 2,2',3,5',6-pentachlorobiphenyl (PCB-95) Causes Developmental Malformations in Zebrafish. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 39(1), 162–170. <https://doi.org/10.1002/etc.4587>
70. Wang, Y., & Qian, H. (2021). Phthalates and Their Impacts on Human Health. *Healthcare*, 9(5), 603. <https://doi.org/10.3390/healthcare9050603>
71. Prasse, T., Stratos, I., Niehoff, A., Christ, H., Heck, V., Meyer, C., & Mittlmeier, T. (2022). Bisphenol A-Related Effects on Bone Morphology and Biomechanical

Properties in an Animal Model. *Toxics*, 10(2), 86.

<https://doi.org/10.3390/toxics10020086>

72. Lee, J.-L., Wang, Y.-C., Hsu, Y.-A., Chen, C.-S., Weng, R.-C., Lu, Y.-P., Chuang, C.-Y., & Wan, L. (2022). Bisphenol A Coupled with a High-Fat Diet Promotes Hepatosteatosiis through Reactive-Oxygen-Species-Induced CD36 Overexpression. *Toxics*, 10(5), 208. <https://doi.org/10.3390/toxics10050208>
73. Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., & Neff, R. A. (2018). Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Current Environmental Health Reports*, 5(3), 375–386. <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z>
74. ATSDR Case Studies in Environmental Medicine Polychlorinated Biphenyls (PCBs) Toxicity. (2014). <https://www.atsdr.cdc.gov/csem/pcb/docs/pcb.pdf>