

Μικροπλαστικά και νευροαναπτυξιακές διαταραχές

Microplastics and neurodevelopmental disorders

Μιχαήλ – Ευστάθιος Κύτρος
Προπτυχιακός φοιτητής
Τμήμα Βιοϊατρικών Επιστημών
Κατεύθυνση Ιατρικών εργαστηρίων
mkytros@gmail.com

Μαρία Τράπαλη
Επίκουρη καθηγήτρια
Τμήμα Βιοϊατρικών Επιστημών
Κατεύθυνση Ιατρικών εργαστηρίων
ymaria@uniwa.gr

Εγκρίθηκε τον Ιούλιο του 2025

Περίληψη – Τα μικροπλαστικά είναι συνθετικά σωματίδια, πανταχού παρόντα στο περιβάλλον. Η ανθεκτική τους φύση και η ικανότητά τους να απορροφούν επιβλαβείς χημικές ουσίες εγείρουν σημαντικούς κινδύνους για την υγεία, ιδίως κατά τη διάρκεια κρίσιμων αναπτυξιακών περιόδων στα παιδιά. Οι έρευνες δείχνουν ότι η έκθεση σε μικροπλαστικά μπορεί να συμβάλλει σε διαταραχές όπως εκείνη του φάσματος αυτισμού και της ελλειμματικής προσοχής/ υπερκινητικότητας. Το άρθρο υπογραμμίζει το ρόλο των ενδοκρινικών διαταρακτών που σχετίζονται με τα μικροπλαστικά, οι οποίοι μπορούν να παρέμβουν στην φυσιολογική ανάπτυξη και τη λειτουργία του εγκεφάλου. Δεδομένης της ανησυχητικής παρουσίας μικροπλαστικών σε ανθρώπινες δομές, συμπεριλαμβανομένου του πλακούντα, τονίζεται η ανάγκη για ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών με στόχο τον μετριασμό της έκθεσης σε μικροπλαστικά. Η υιοθέτηση μίας ολιστικής προσέγγισης κρίνεται αναγκαία και στοχεύει στη διαφύλαξη της δημόσιας υγείας και στην προστασία των μελλοντικών γενεών από τις δυσμενείς επιπτώσεις των μικροπλαστικών στη νευροανάπτυξη.

Λέξεις κλειδιά: μικροπλαστικά, ενδοκρινικοί διαταράκτες, νευροαναπτυξιακές διαταραχές, περιβάλλον, τοξικές ουσίες

Summary – Microplastics are synthetic particles that are ubiquitous in the environment. Their persistent nature and ability to absorb harmful chemicals pose significant health risks, particularly during critical developmental periods in children. Research shows that exposure to microplastics may contribute to disorders such as autism spectrum disorder (ASD) and attention deficit hyperactivity disorder (ADHD). The article highlights the role of endocrine disrupting chemicals (EDCs) associated with microplastics, which can interfere with normal brain development and function. Given the alarming presence of microplastics in human structures, including the placenta, the need for effective strategies to mitigate exposure is emphasized. The adoption of a holistic approach is deemed necessary in order to safeguard public health and protect future generations from the adverse effects of microplastics on neurodevelopment.

Keywords: microplastics, endocrine disrupting chemicals, neurodevelopmental disorders, environment, toxic substances

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

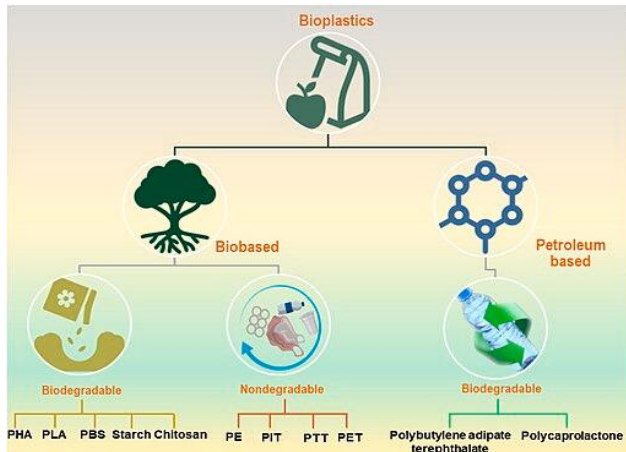
Τα μικροπλαστικά (Microplastics ή MPs) είναι συνθετικά σωματίδια μικρότερα από 5 mm που έχουν γίνει πανταχού παρόντα στο περιβάλλον. Προέρχονται από την διάσπαση των μεγαλύτερων πλαστικών θραυσμάτων που προέρχονται από διάφορα καταναλωτικά προϊόντα, συμπεριλαμβανομένων των καλλυντικών, των ειδών προσωπικής φροντίδας και των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Αυτά τα μικροσκοπικά σωματίδια χαρακτηρίζονται από την ανθεκτικότητα και την αντίστασή τους στη βιοαποικοδόμηση, εγείροντας σημαντικές ανησυχίες σχετικά με τον αντίκτυπό τους στην ανθρώπινη υγεία [1].

Η παρουσία μικροπλαστικών στα καθημερινά προϊόντα (Πίνακας I) δημιουργεί σοβαρούς κινδύνους για την υγεία, καθώς μπορούν να εισέλθουν στο ανθρώπινο σώμα μέσω της κατάποσης, της εισπνοής και ακόμη και της δερματικής επαφής. Μόλις εισέλθουν εντός του οργανισμού, μπορούν να προκαλέσουν φυσική, χημική και μικροβιολογική τοξικότητα, οδηγώντας σε οξειδωτικό στρες, φλεγμονή και κυτταρική βλάβη [2]. Ιδιαίτερη ανησυχία προκαλεί η συσχέτιση μικροπλαστικών και νευροαναπτυξιακών διαταραχών. Οι έρευνες δείχνουν ότι η έκθεση σε MPs, ειδικά κατά τη διάρκεια κρίσιμων αναπτυξιακών περιόδων, μπορεί να συμβάλλει σε παθολογικές καταστάσεις, όπως η διαταραχή του φάσματος του αυτισμού (Autism spectrum disorder ή ASD) και η διαταραχή υπερκινητικότητας / ελλειμματικής προσοχής (Attention deficit hyperactivity disorder ή ADHD) λόγω του ρόλου τους ως φορείς για ενδοκρινικούς διαταράκτες [3].

II. ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΑ: ΕΙΔΗ, ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΟΔΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ

Τα μικροπλαστικά κατηγοριοποιούνται σε δύο κύριους τύπους: τα πρωτογενή μικροπλαστικά και τα δευτερογενή μικροπλαστικά. Τα πρωτογενή μικροπλαστικά κατασκευάζονται σκόπιμα ως μικρά πλαστικά σωματίδια, που βρίσκονται συχνά σε προϊόντα προσωπικής φροντίδας, όπως απολεπιστικά και οδοντόκρεμες, καθώς και σε βιομηχανικές εφαρμογές όπου χρησιμοποιούνται πλαστικά σφαιρίδια. Τα δευτερογενή μικροπλαστικά προκύπτουν από την αποί-

κοδόμηση μεγαλύτερων πλαστικών αντικειμένων λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων, όπως η υπεριώδης ακτινοβολία, οι μηχανικές δυνάμεις και η βιοαποικοδόμηση, οδηγώντας στον κατακερματισμό των απορριπτόμενων πλαστικών (Σχήμα Ι).



Σχήμα Ι. Ταξινόμηση των βιοπλαστικών [15].

Αυτά τα σωματίδια παρουσιάζουν αρκετές καθοριστικές ιδιότητες. Συνήθως με μέγεθος μικρότερο από 5 mm, τα μικροπλαστικά είναι ανθεκτικά, εμφανίζουν αντίσταση στην αποδόμηση και διαθέτουν μεγάλο εμβαδό επιφάνειας, που ενισχύει την ικανότητά τους να απορροφούν ρύπους. Αυτή η χημική συγγένεια τους επιτρέπει να δρουν ως φορείς για επιβλαβείς ουσίες, δημιουργώντας ανησυχίες σχετικά με τις οικολογικές επιπτώσεις και τις συνέπειές τους στην ανθρώπινη υγεία.

Τα μικροπλαστικά συχνά περιέχουν διάφορα πρόσθετα που ενισχύουν την απόδοσή τους, όπως πλαστικοποιητές, επιβραδυντικά φλόγας, αντιοξειδωτικά και θερμικούς σταθεροποιητές. Αυτά τα πρόσθετα μπορούν να επηρεάσουν τη φυσική και χημική συμπεριφορά των MPs, επηρεάζοντας τα ποσοστά αποδόμησης, την τοξικότητα και τις δυνατότητες απορρόφησης. Η παρουσία αυτών των προσθέτων αυξάνει τις δυνατότητες πρόκλησης επιβλαβών επιδράσεων, καθώς μπορούν να διεισδύσουν στο περιβάλλον και να συμβάλλουν στην τοξικότητα [4].

Τα μικροπλαστικά μπορούν να εισέλθουν στο ανθρώπινο σώμα κυρίως μέσω κατάποσης μολυσμένων τροφίμων και νερού και εισπνοής από αερομεταφερόμενα σωματίδια. Η δερματική επαφή είναι μια άλλη πιθανή οδός έκθεσης, ιδιαίτερα μέσω προϊόντων προσωπικής φροντίδας που περιέχουν μικροπλαστικά [2].

Αποδεικτικά στοιχεία ύπαρξης των μικροπλαστικών έχουν βρεθεί σε διάφορες ανθρώπινες δομές, συμπεριλαμβανομένων των πνευμονικών και γαστρεντερικών ιστολογικών δειγμάτων. Πρόσφατες μελέτες έχουν επίσης εντοπίσει τα μικροπλαστικά στον ανθρώπινο πλακούντα [5] και έχουν δημιουργηθεί ανησυχίες σχετικά με την ικανότητα

τους να διαπερνούν τον αιματοεγκεφαλικό φραγμό, ενδεχομένως επηρεάζοντας την ανάπτυξη του εμβρύου και τη συνολική νευρολογική υγεία [2]. Το γεγονός αυτό, υπογραμμίζει την επείγουσα ανάγκη κατανόησης των επιπτώσεων της μικροπλαστικής έκθεσης και των μηχανισμών με τους οποίους επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι
ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ [4]

Όνομα	Συντομογραφία	Που βρίσκονται
Πολυαιθυλένιο Polyethylene	PE	Σακούλες, μικροσφαιρίδια προϊόντων ατομικής υγιεινής, παιχνίδια, συσκευασίες, μπουκάλια, σωλήνες
Πολυπροπυλένιο Polypropylene	PP	Συσκευασίες τροφίμων, σωλήνες, πλαστικοί περιέκτες φαρμάκων, τμήματα αυτοκινήτου
Πολυστυρένιο Polystyrene	PS	Μονώσεις κτηρίων, εσωτερική επένδυση ψυγείων, συσκευασίες τροφίμων, καλύμματα λάμπας
Πολυβινυλοχλωρίδιο Polyvinyl chloride	PVC	Σωλήνες, Εξαρτήματα, Μόνωση καλωδίων, Κάρτες τράπεζας
Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο Poly(ethylene) terephthalate	PET	Ίνες υφασμάτων, πλαστικά μπουκάλια, βάζα
Πολυουρεθάνη Polyurethane	PU	Αφρός, Αντιρρυπαντική βαφή, μονωτικά για κτήρια, ψυγεία, αυτοκίνητα και συσκευές που έχουν επαφή με το αίμα
Πολυεστέρας Polyethersulfone	PES	Υλικό υφασμάτων
Πολυαμίδιο Polyamide	PA	Υφάσματα, καλτσόν, γρανάζια, ρουλεμάν, πετονιές, δακτύλιοι, χαλιά, καλύμματα καλωδίου

III. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΝΕΥΡΟΑΝΑΠΤΥΞΗ

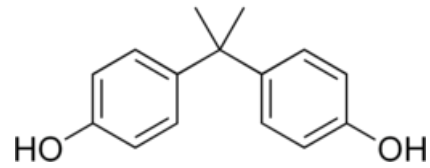
Η έκθεση σε μικροπλαστικά κατά τη διάρκεια κρίσιμων νευροαναπτυξιακών περιόδων δημιουργεί σημαντικούς κινδύνους για τα γνωστικά και συμπεριφορικά αποτελέσματα. Οι έρευνες δείχνουν ότι τα μικροπλαστικά μπορούν να διαταράξουν την φυσιολογική ανάπτυξη του εγκεφάλου μέσω διαφόρων μηχανισμών. Μία από τις πρωταρχικές ανησυχίες είναι ο ρόλος τους ως φορείς ενδοκρινικών διαταρακτών (Endocrine disruptors ή EDCs). Αυτές οι ουσίες μπορούν να επηρεάσουν τις ορμονικές οδούς σηματοδότησης που είναι απαραίτητες για τη νευροανάπτυξη, οδηγώντας ενδεχομένως σε μακροπρόθεσμες νευρολογικές συνέπειες. Η παρουσία μικροπλαστικών στον οργανισμό μπορεί να οδηγήσει σε οξειδωτικό στρες, γεγονός που βλάπτει τα νευρικά κύτταρα και εμποδίζει τη λειτουργία τους. Επιπλέον, η έκθεση σε MPs έχει συνδεθεί με τη νευροτοξικότητα, με αποτέλεσμα τη μειωμένη συναπτική πυκνότητα

και τα αλλοιωμένα επίπεδα νευροδιαβιβαστών, που τελικά επηρεάζουν τη μνήμη, τη μάθηση και τη συμπεριφορά [6].

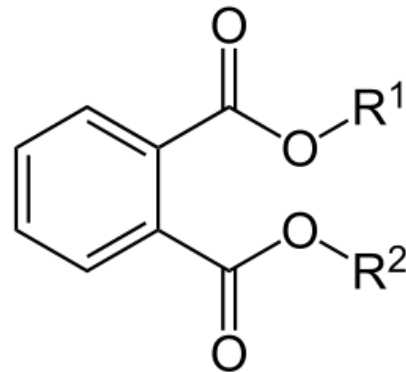
Τα μικροπλαστικά πρόσθετα που δρουν ως EDCs έχουν σημαντικές συνέπειες στη νευροανάπτυξη, ιδιαίτερα όταν η έκθεση συμβαίνει κατά τη διάρκεια κρίσιμων αναπτυξιακών περιόδων. Αυτά τα πρόσθετα, συμπεριλαμβανομένης της δισφαινόλης Α (Bisphenol Α ή BPA) (Σχήμα II) και των φθαλικών ενώσεων (Σχήμα III), μπορούν να μιμηθούν, να ανταγωνιστούν ή να μεταβάλλουν τα ενδογενή επίπεδα στεροειδών ορμονών, διαταράσσοντας την οργάνωση των σεξουαλικά διμορφικών εγκεφαλικών δομών. Η έκθεση σε EDCs παρεμβαίνει στη νευρική διαφοροποίηση, τη συναπτογένεση και τη νευροδιαβίβαση, οδηγώντας σε γνωστικά ελλείμματα, μειωμένες κοινωνικές συμπεριφορές και αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης νευροαναπτυξιακών διαταραχών, όπως ASD και ADHD. Επιπλέον, οι EDCs επηρεάζουν την ανταπόκριση του στρες και τη συναισθηματική ρύθμιση μεταβάλλοντας σεροτονινεργικά και ντοπαμινεργικά μονοπάτια, συμβάλλοντας έτσι στην εμφάνιση άγχους, την κατάθλιψη και διαταραχών της συμπεριφοράς. Αυτές οι νευροτοξικές επιδράσεις επιδεινώνονται όταν η έκθεση πραγματοποιείται στη μήτρα ή κατά την πρώιμη ζωή, καθώς οι EDCs διασχίζουν εύκολα τον πλακούντα και εντοπίζονται στο μητρικό γάλα, οδηγώντας σε μακροχρόνιες μεταβολές στη λειτουργία και τη συμπεριφορά του εγκεφάλου [7].

Η έκθεση σε BPA παρεμβαίνει στη νευρική διαφοροποίηση, τη συναπτική πλαστικότητα και τη νευροδιαβίβαση, οδηγώντας σε γνωστικά ελλείμματα, διαταραχές της μνήμης και αυξημένη ευαισθησία στις νευροαναπτυξιακές διαταραχές, όπως ASD και η ADHD. Μηχανιστικά, η BPA διαταράσσει τη σηματοδότηση των οιστρογόνων και της ντοπαμίνης, προκαλεί οξειδωτικό στρες και προάγει τη νευρωνική απόπτωση, τελικά εξασθενώντας τη συναπτογένεση και τη λειτουργία του ιππόκαμπου. Η περιγεννητική έκθεση επιδεινώνει περαιτέρω αυτές τις επιδράσεις μειώνοντας την πυκνότητα της δενδριτικής σπονδυλικής στήλης, μεταβάλλοντας τη νευρωνική συνδεσιμότητα, ενώ ακόμη διαταράσσει τον πολλαπλασιασμό των νευρικών βλαστικών κυττάρων, οδηγώντας σε μακροπρόθεσμες νευροτοξικές συνέπειες [8].

Η προγεννητική και περιγεννητική έκθεση σε φθαλικές ενώσεις είναι ιδιαίτερα επιβλαβής, καθώς αυτές οι χημικές ουσίες διασχίζουν το φράγμα του πλακούντα και υπάρχουν στο μητρικό γάλα, αυξάνοντας τον κίνδυνο γνωστικών και συμπεριφορικών διαταραχών όπως η ASD και η ADHD. Οι φθαλικές ενώσεις παρεμβαίνουν στη σηματοδότηση των θυρεοειδικών ορμονών, στη νευρωνική διαφοροποίηση και στη συναπτική ωρίμανση, οδηγώντας σε μειωμένο IQ, μειωμένη ψυχοκινητική ανάπτυξη και συναισθηματική δυσλειτουργία. Επιπλέον, προκαλούν οξειδωτικό στρες και επιγενετικές τροποποιήσεις, οδηγώντας σε μακροχρόνιες νευροαναπτυξιακές αλλοιώσεις που μπορεί να διατηρηθούν μέχρι και την ενηλικίωση [9].



Σχήμα II. Χημική δομή δισφαινόλης Α (BPA) [13].



Σχήμα III. Γενική χημική δομή φθαλικών ενώσεων [14].

IV. ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ ΜΙΚΡΟ-ΠΛΑΣΤΙΚΑ

Η μείωση των μικροπλαστικών είναι κρίσιμη λόγω των σημαντικών επιπτώσεών τους στην οικολογική και δημόσια υγεία. Μόλις εισαχθούν σε οικοσυστήματα, τα μικροπλαστικά μπορούν να καταναλωθούν από ένα ευρύ φάσμα οργανισμών, με αποτέλεσμα τελικά την είσοδο στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα. Η ικανότητά τους να απορροφούν και να συγκεντρώνουν επιβλαβείς ρύπους εγείρει σοβαρές ανησυχίες τόσο για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα όσο και για την ανθρώπινη υγεία. Επιπλέον, η εμμένουσα φύση των μικροπλαστικών οδηγεί στη συσσώρευση τους στο περιβάλλον, επιδεινώνοντας τα επίπεδα ρύπανσης με την πάροδο του χρόνου. Επομένως, ο μετριασμός των βλαβερών επιδράσεων των μικροπλαστικών είναι απαραίτητος για την προστασία της βιοποικιλότητας και την εξασφάλιση της δημόσιας υγείας [10].

Η πρόληψη της μικροπλαστικής ρύπανσης ξεκινά με βασικές στρατηγικές που επικεντρώνονται στη μείωση των πλαστικών αποβλήτων απ' την πηγή και στη βελτίωση των πρακτικών διαχείρισης των αποβλήτων. Ο Κανονισμός (ΕΕ) 2023/2055, που τροποποιεί τον κανονισμό REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals), θεσπίζει περιορισμούς στην πώληση προϊόντων που περιέχουν σκόπιμα προστιθέμενα μικροπλαστικά, συμπεριλαμβανομένων των καλλυντικών. Η προώθηση ισχυρής νομοθεσίας είναι ζωτικής σημασίας για τον περιορισμό της σκόπιμης προσθήκης μικροπλαστικών στα προϊόντα, όπως τα καλλυντικά και οι καθαριστικοί παράγοντες. Επιπλέον, η προώθηση του οικολογικού σχεδιασμού σε πλαστικά προϊόντα μπορεί να ενισχύσει την ανακύκλωση

τους και να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η ενθάρρυνση της χρήσης βιοαποικοδομήσιμων υλικών και βιοπλαστικών μπορεί επίσης να βοηθήσει στην άμβλυνση της παραγωγής μικροπλαστικών. Ακόμη, η βελτίωση των τεχνολογιών επεξεργασίας λυμάτων για την ελαχιστοποίηση των μικροπλαστικών που απελευθερώνονται σε υδάτινα σώματα είναι ζωτικής σημασίας. Η ευαισθητοποίηση του κοινού και η προώθηση πρακτικών, όπως η μείωση των πλαστικών μιας χρήσης, η επαναχρησιμοποίηση των προϊόντων και η υποστήριξη των πρωτοβουλιών ανακύκλωσης αποτελούν βασικά βήματα για την πρόληψη της μικροπλαστικής ρύπανσης [11].

Αξίζει επίσης να σημειωθεί, ότι η αντιμετώπιση της υπέρχουσας μικροπλαστικής ρύπανσης απαιτεί μια πολύπλευρη προσέγγιση που περιλαμβάνει στρατηγικές πρόληψης, αποκατάστασης και καινοτόμων στρατηγικών αξιοποίησης. Πρώτον, η μείωση της πλαστικής κατανάλωσης είναι ζωτικής σημασίας. Οι εκστρατείες ευαισθητοποίησης του κοινού μπορούν να εκπαιδεύσουν τους καταναλωτές σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της πλαστικής χρήσης και να ενθαρρύνουν την υιοθέτηση επαναχρησιμοποιήσιμων προϊόντων. Η εφαρμογή αυστηρότερων κανονισμών σχετικά με τη χρήση μικροπλαστικών στα είδη προσωπικής φροντίδας και την ενίσχυση των συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των αποτελεσματικών προγραμμάτων ανακύκλωσης, είναι απαραίτητα μέτρα. Η αναβάθμιση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων για την ενσωμάτωση των προηγμένων τεχνολογιών διήθησης μπορεί να μειώσει σημαντικά την απελευθέρωση των μικροπλαστικών σε υδατικά περιβάλλοντα.

Οι καινοτόμες μέθοδοι για τη μετατροπή των μικροπλαστικών σε πολύτιμα προϊόντα, όπως τα δομικά υλικά ή οι πηγές ενέργειας, μπορούν επίσης να συμβάλουν στον μετριασμό της ρύπανσης ενώ προωθούν μια κυκλική οικονομία. Η συνεργασία μεταξύ των κυβερνήσεων, των βιομηχανιών και των ερευνητικών ιδρυμάτων είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων πολιτικών και τεχνολογιών που αποσκοπούν στη μείωση της μικροπλαστικής ρύπανσης. Αυτές περιλαμβάνουν την παρακολούθηση και την επιβολή των κανονισμών, την επένδυση στην έρευνα για βιοαποικοδομήσιμες εναλλακτικές λύσεις και την προώθηση της διεθνούς συνεργασίας για την αντιμετώπιση της διασυννοριακής φύσης της μικροπλαστικής ρύπανσης. Συνδυάζοντας αυτές τις στρατηγικές, είναι δυνατόν να μειωθεί σημαντικά η επίδραση των μικροπλαστικών τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία [12].

V. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, το ζήτημα των μικροπλαστικών αποτελεί μια κρίσιμη πρόκληση τόσο για το περιβάλλον όσο και για τη δημόσια υγεία. Η πανταχού παρούσα φύση τους τόσο σε καταναλωτικά και βιομηχανικά προϊόντα, όσο και σε κάθε πτυχή του περιβάλλοντος, σε συνδυασμό με την ανθεκτικότητά τους, τα καθιστούν ως αρκετά προβληματικούς κι επικίνδυνους αναδυόμενους ρύπους.

Οι συνέπειες των μικροπλαστικών είναι πολύπλευρες, δημιουργώντας σοβαρούς κινδύνους όχι μόνο για το περιβάλλον αλλά και για την ανθρώπινη υγεία. Συγκεκριμένα, ο αντίκτυπός τους στη νευροανάπτυξη είναι ανησυχητικός, με πιθανές συνδέσεις με νευροαναπτυξιακές, γνωστικές, συναισθηματικές και ψυχοκινητικές διαταραχές. Οι ενδοκρινικοί διαταράκτες που σχετίζονται με τα μικροπλαστικά, μπορούν να διαταράξουν την ορμονική ισορροπία, οδηγώντας σε επιζήμιες γνωστικές και συμπεριφορικές επιδράσεις.

Η αντιμετώπιση της μικροπλαστικής κρίσης είναι επιτακτική. Οι μακροπρόθεσμοι κίνδυνοι για την υγεία, σε συνδυασμό με τις απειλές για τη βιοποικιλότητα και την οικολογική ακεραιότητα, υπογραμμίζουν την ανάγκη άμεσης και ολοκληρωμένης δράσης. Σε αυτές, συμπεριλαμβάνονται οι αποτελεσματικές στρατηγικές για τη μείωση της έκθεσης και της μόλυνσης, οι οποίες είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία των ευάλωτων πληθυσμών και τη διασφάλιση ενός βιώσιμου περιβάλλοντος.

Τελικά, μια συντονισμένη προσπάθεια που περιλαμβάνει την πρόληψη, την έρευνα και την ανάπτυξη πολιτικής είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που θέτουν τα μικροπλαστικά. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να μετριάσουμε τους κινδύνους τους και να προωθήσουμε ένα πιο υγιές μέλλον τόσο για τους ανθρώπους όσο και για τον πλανήτη.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. ThoMPson RC, Courteney-Jones W, Boucher J, Pahl S, Raubenheimer K, Koelmans AA. Twenty years of microplastics pollution research—what have we learned? *Science*. 2024 Sep 19;386(6720) DOI: 10.1126/science. adl2746.
2. Vethaak AD, Legler J. Microplastics and human health. *Science*. 2021 Feb 12;371(6530):672–4 DOI: 10.1126/science. abe5041.
3. Solleiro-Villavicencio H, Gomez-De León CT, Del Río-Araiza VH, Morales-Montor J. The detrimental effect of microplastics on critical periods of development in the neuroendocrine system. *Birth Defects Research*. 2020 Aug 7;112(17):1326–40 DOI: 10.1002/bdr2.1776.
4. Hu K, Yang Y, Zuo J, Tian W, Wang Y, Duan X, et al. Emerging microplastics in the environment: Properties, distributions, and impacts. *Chemosphere*. 2022 Jun;297(0045-6535):134118 DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134118.
5. Ragusa A, Svelato A, Santacroce C, Catalano P, Notarstefano V, Carnevali O, et al. Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*. 2021 Jan 1;146(106274) DOI: 10.1016/j.envint.2020.106274.

6. Amran NH, Zaid SSM, Mokhtar MH, Manaf LA, Othman S. Exposure to Microplastics during Early Developmental Stage: Review of Current Evidence. *Toxics*. 2022 Oct 10;10(10):597. DOI:10.3390/toxics10100597
7. Frye C, Bo E, Calamandrei G, Calzà L, Dessì-Fulgheri F, Fernández M, et al. Endocrine Disrupters: A Review of Some Sources, Effects, and Mechanisms of Actions on Behaviour and Neuroendocrine Systems. *J Neuroendocrinol*. 2012 Jan;24(1):144-59. DOI: 10.1111/j.1365-2826.2011.02229.x
8. Qi T, Jing D, Zhang K, Shi J, Qiu H, Kan C, et al. Environmental toxicology of bisphenol A: Mechanistic insights and clinical implications on the neuroendocrine system. *Behavioural Brain Research*. 2024 Mar 1;460(0166-4328):114840–0. DOI: 10.1016/j.bbr.2023.114840
9. Lucaccioni L, Trevisani V, Passini E, Righi B, Plessi C, Predieri B, et al. Perinatal Exposure to Phthalates: From Endocrine to Neurodevelopment Effects. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021 Apr 14;22[8]:4063. DOI: 10.3390/ijms22084063
10. Wu WM, Yang J, Criddle CS. Microplastics pollution and reduction strategies. *Frontiers of Environmental Science & Engineering [Internet]*. 2016 Dec 30;11(1). DOI:10.1007/s11783-017-0897-7
11. Calero M, Godoy V, Quesada L, Martín-Lara MÁ. Green strategies for microplastics reduction. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. 2021 Apr;28(2452-2236):100442. DOI:10.1016/j.cogsc.2020.100442
12. Thacharodi A, Hassan S, Meenatchi R, Bhat MA, Hussain N, Arockiaraj J, et al. Mitigating microplastic pollution: A critical review on the effects, remediation, and utilization strategies of microplastics. *Journal of Environmental Management [Internet]*. 2024 Feb 1;351(0301-4797):119988. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.119988
13. File:Bisphenol A skeletal.png - Wikimedia Commons [Internet]. Wikimedia.org. 2009 [cited 2025 Feb 13]. Available from: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bisphenol_A_skeletal.png
14. File:Phthalates General Formulae.svg - Wikimedia Commons. Wikimediaorg [Internet]. 2010 Apr 24 [cited 2025 Feb 13]; Available from: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phthalates_General_Formulae.svg
15. File:Classification of bioplastics.jpg - Wikimedia Commons [Internet]. Wikimedia.org. 2023. Available from: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Classification_of_bioplastics.jpg