



بررسی ارتباط آلودگی میکروپلاستیک‌ها با سلامت انسان و محیط زیست آبی

کوثر تقوی

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته بهداشت و ایمنی مواد غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده تغذیه و علوم غذایی، دانشگاه علوم

پزشکی تبریز، تبریز، ایران

پریسا احمدی

دانشجوی دکتری تخصصی رشته بهداشت و ایمنی مواد غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده تغذیه و علوم غذایی، دانشگاه علوم

پزشکی تبریز، تبریز، ایران

مهناز طبیبی آذر*

دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده تغذیه و علوم غذایی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

چکیده

امروزه به دلیل افزایش جمعیت جهان استفاده از پلاستیک افزایش یافته است، پلاستیک‌ها طیف وسیعی از ترکیبات آلی مصنوعی یا نیمه مصنوعی هستند، که فرآیند تجزیه این ترکیبات در طبیعت به کندی صورت می‌گیرد، ولی در اثر تجزیه میکروپلاستیک‌ها را به وجود می‌آورند. میکروپلاستیک‌ها آلاینده‌های جدید و تقریباً ناشناخته‌ای می‌باشند و به طور گسترده در محیط حضور دارند. این بررسی با تمرکز بر شناخت میکروپلاستیک‌ها، اثرات آنها بر محیط زیست و انسان، نحوه وارد شدن این ترکیبات به طبیعت و چرخه غذایی، منابع آلودگی، روش‌های شناسایی و کاهش آنها صورت گرفته است. در حال حاضر یافته‌های علمی مصرف زیاد پلاستیک‌ها و تاثیرات مخرب میکروپلاستیک‌ها بر سلامت انسان و همچنین بر موجودات زنده را تایید می‌کنند.

واژگان کلیدی: میکروپلاستیک، آلودگی آب، سمیت آبریان، سلامت انسان



۱- مقدمه:

۱-۱- معرفی مختصری از مفهوم میکروپلاستیک ها و آلودگی آنها در محیط های آبی

پلاستیک ها پلیمرهای آلی مصنوعی با وزن مولکولی بالا هستند که از محصولات جانبی سوخت های فسیلی، زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی ساخته می شود. ویژگی های مطلوب پلاستیک ها عبارتند از: وزن سبک، هزینه کم، دوام، انعطاف پذیری، مقاومت بالا در برابر خوردگی، در برابر جریان برق و آب که در مجموعه وسیعی از کاربردها برای پاسخگویی به تقاضاهای در حال گسترش تمدن فعلی ما گنجانده شده اند. پلی اتیلن ترفتالات، پلی وینیل کلراید، پلی اتیلن با چگالی کم و بالا، پلی پروپیلن و پلی استایرن از جمله پرمصرف ترین پلاستیک های مصنوعی برای این کاربردها هستند. پلاستیک ساخته شده از این ترکیبات حدود ۹۰ درصد از تولید پلاستیک جهان را تشکیل می دهد (Andrady and Neal 2009, Thacharodi, Meenatchi et al. 2024). بنابراین، این محصولات خاص که زمانی به عنوان «اختراع بزرگ بیستم» معرفی می شدند، امروزه مشکلات زیست محیطی جدی را ایجاد کرده اند.

تولید زباله های پلاستیکی هر سال در حال افزایش بوده است؛ به گونه ای که در دهه ۱۹۵۰، تولید جهانی پلاستیک ۲ میلیون تن بود. در سال ۲۰۱۵، نزدیک به ۳۰۰ میلیون تن پلاستیک تولید شد، و این میزان در سال ۲۰۱۷ به ۳۴۸ میلیون تن و در سال ۲۰۱۸ به ۳۵۹ میلیون تن افزایش یافته است (Pothiraj, Gokul et al. 2023). چین بزرگترین تولید کننده محصولات پلاستیکی در جهان است و پس از آن اروپا و آمریکای شمالی قرار دارند. مجمع جهانی اقتصاد تخمین می زند که سالانه ۸ میلیون تن زباله پلاستیکی وارد سیستم دریایی می شود، در حالیکه طبق تخمین سازمان حفاظت از اقیانوس ها، میزان ورود این زباله ها در حال حاضر ۱۵۰ میلیون تن است (Gholamhosseini, Banaee et al. 2023). در سال ۲۰۱۰ حدود ۴/۸-۱۲/۷ میلیون تن وارد اقیانوس شد و پیش بینی می شود تا سال ۲۰۲۵ حدود ۲۵۰ میلیون تن زباله پلاستیکی وارد اقیانوس شود. در زیستگاه های دریایی، تجمع تدریجی پلاستیک و پیامدهای منفی اکولوژیکی و اقتصادی مرتبط با آن، در نتیجه نیاز روزافزون به پلاستیک، ویژگی های مقاوم این پلاستیک و روش های نادرست دفع زباله های پلاستیکی می باشد (Taghizade Firozjaee, Golbabaee Kootenaei and Aghdoud Chaboki). علاوه بر حجم عظیمی از پلاستیک ها، مسئله ورود میکروپلاستیک ها نیز مشکل جدیدی را برای جهان ایجاد کرده است. بنابراین وجود میکروپلاستیک ها در محیط های مختلف مانند رودخانه ها، آب های زیرزمینی، اقیانوس ها، خاک، موجودات زنده، اتمسفر، آب لوله کشی و حتی برف های قطب شمال توسط بسیاری از دانشمندان مورد مطالعه قرار گرفته است (La Daana, Officer et al. 2020, Liu, Wu et al. 2019, Wright, Ulke et al. 2020).

میکروپلاستیک ها ذرات پلاستیکی هستند و به دلیل اینکه پایدار هستند و وزن سبکی دارند به فراوانی در محیط زیست یافت می شوند و اثرات مخربی را ایجاد می کنند (صادقی and تابه زر ۱۳۹۸). به دلیل حضور گسترده در محیط زیست و همچنین آسیب احتمالی به اکوسیستم های آبی، به یک نگرانی جهانی تبدیل شده اند (Jung, Sampath et al. 2022). از طرفی نیز، میکروپلاستیک ها به دلیل پایداری در محیط و سمیتی که دارند، تهدیدی جدی برای موجودات آبی محسوب می شوند و بر سلامت انسان هم از طریق وارد شدن در زنجیره غذایی تأثیر



می‌گذارند. این آلاینده‌ها همچنین به عنوان یکی از آلاینده‌های نوظهور در محیط در دهه‌های اخیر مورد توجه محققین و دانشمندان قرار گرفته‌اند (صادقی and تابه زر ۱۳۹۸, Rahimi and Hasani Azhdari 2022). این مطالعه مروری با هدف بررسی منابع مختلف دخیل در شکل‌گیری این میکروپلاستیک‌ها، مسیرهای ورود آنها به محیط‌های آبی، اثرات نامطلوب آنها بر سلامتی انسان و موجودات آبی و محیط زیست، و روش‌های تشخیص و کاهش آنها انجام شده است.

۲- مفهوم و مشخصات میکروپلاستیک‌ها:

۱-۲- تعریف میکروپلاستیک :

زباله‌های پلاستیکی تولید شده در خشکی به اقیانوس منتقل می‌شوند و برای مدت طولانی در آنجا باقی می‌مانند و در نهایت به قطعات ریز پلاستیک تجزیه می‌شوند. اصطلاح میکروپلاستیک به این قطعات ریز پلاستیک اشاره دارد که اندازه آنها از ۱ میکرومتر تا ۵ میلی‌متر است (Khaleel, Valsan et al. 2023). این ذرات کوچک پلاستیکی از منابع طبیعی و انسانی سرچشمه می‌گیرند و در سراسر جهان از جمله در منابع خاک، آب، هوا و موجودات زنده هم یافت می‌شوند، منشا آنها می‌تواند از تجزیه پلاستیک‌های بزرگ‌تر، فرایندهای طبیعی و صنعتی باشد. پتانسیل سمیت آنها به دلیل قابلیت آنها در جذب ترکیبات شیمیایی می‌باشد (شعبانلو، صفاری بیدهدنی et al. 2023).

۲-۲- روش‌های شکل‌گیری و تولید میکروپلاستیک‌ها:

میکروپلاستیک‌ها را می‌توان بر اساس منشأ در دو گروه میکروپلاستیک‌های اولیه و میکروپلاستیک‌های ثانویه طبقه‌بندی کرد. درواقع، میکروپلاستیک‌ها در صورت انتشار عمدی در محیط به عنوان اولیه و اگر به طور غیرمستقیم توسط فرایندهایی آزاد شوند، به عنوان ثانویه تعریف می‌شوند. به عبارت دیگر تفاوت بین میکروپلاستیک‌های اولیه و میکروپلاستیک‌های ثانویه بر اساس این است که آیا ذرات با این اندازه در ابتدا ساخته شده‌اند (اولیه) یا در نتیجه تجزیه پلاستیک‌های بزرگ‌تر (ثانویه) تولید شده‌اند (Tang, Liu et al. 2021) که بر این اساس میکروپلاستیک‌های اولیه در محدوده اندازه ۰/۰۰۱ تا ۵ میلی‌متر تولید می‌شوند تا به صورت میکروبیید در محصولات پاک کننده صورت یا در فرایندهای صنعتی و در پارچه‌های مصنوعی استفاده شوند. در مقابل، انواع ثانویه از زباله‌های پلاستیکی بزرگ‌تر به اندازه کمتر از ۵ میلی‌متر تجزیه می‌شوند. تجزیه این مواد توسط فرایندهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، از جمله قرار گرفتن در معرض اشعه ماوراء بنفش، عمل مکانیکی امواج، ساییدگی ذرات سنگ درشت، و تشکیل بیوفیلم‌ها تسریع می‌شود (Kernchen, Löder et al. 2022).

۳-۲- منابع و مسیرهای ورود میکروپلاستیک‌ها به محیط‌های آبی:

۱-۳-۲- آلودگی از منابع زمینی



میکروپلاستیک‌ها از مسیرهای مختلفی به محیط‌های زمینی و سیستم‌های آبی وارد می‌شوند، از جمله رواناب جاده‌ها (Ashrafy, Liza et al. 2023)، تصفیه خانه‌های فاضلاب (Turner, Wallerstein and Arnold 2019)، زباله‌های جامد مثل اقلام پلاستیکی بزرگ (Ashrafy, Liza et al. 2023)، ضایعات زمینی و کشاورزی (Sukanya, Khushboo et al. 2020)، رواناب شهری (Issac and Kandasubramanian 2021).

۲-۳-۲- آلودگی از منابع دریایی

از مسیرهای دیگر ورود میکروپلاستیک‌ها به محیط آبی می‌توان به زباله‌های دریایی همچون زباله‌های حمل و نقل، وسایل ماهیگیری دور ریخته شده و تخلیه زباله‌های صنعتی اشاره کرد (Kye, Kim et al. 2023).

۳- اهمیت موضوع و تأثیرات آلودگی میکروپلاستیک‌ها بر محیط زیست و سلامت انسان

برای توسعه ارزیابی‌های مؤثر خطر میکروپلاستیک‌ها در شبکه‌های غذایی دریایی، درک تأثیرات آنها بر تمام سطوح سازمان‌های بیولوژیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در تمام سطوح سازمان بیولوژیکی (یعنی از سطوح مولکولی تا جمعیت)، میکروپلاستیک‌ها یک خطر بزرگ هستند. اگر عملکردهای فیزیولوژیکی و/یا تناسب اندام تعداد قابل توجهی از افراد یک جمعیت مختل شود، قطعاً اکوسیستم‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Auta, Emenike and Fauziah 2017). در واقع، میکروپلاستیک‌ها به عنوان یکی از آلاینده‌های اکوسیستم‌های آبی، خطرات زیادی را برای موجودات آبی ایجاد می‌کنند (صادقی and تابه زر ۱۳۹۸). از جمله اینکه باعث کاهش رشد و نمو لاروها، کاهش رفتارهای باروری و تغذیه‌ای و افزایش تحریک تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شوند. همچنین بر اساس مطالعات انجام شده محققان به این نتیجه رسیده‌اند که میکروپلاستیک‌ها ممکن است بر تعادل متابولیک، رفتار و باروری تأثیر بگذارند و همچنین باعث آسیب ساختاری به مغز، کبد، آبشش و روده شوند (Zolotova, Kosyreva et al. 2022).

۳-۱- اثرات بر محیط زیست آبی:

میکروپلاستیک‌ها تأثیرات نامطلوبی بر سیستم اکولوژیکی دارند که مربوط به تأثیرات زیست‌محیطی میکروپلاستیک‌ها می‌باشد (Vivekanand, Mohapatra and Tyagi 2021). میکروپلاستیک‌ها به دلیل اندازه کوچکشان می‌توانند توسط طیف وسیعی از موجودات موجود در اقیانوس بلعیده شوند. مطالعات زیست مانیتورینگ مصرف گسترده میکروپلاستیک‌ها توسط موجودات دریایی مختلف از جمله سخت پوستان دهانه رودخانه، ماهی‌ها، صدف‌های جزر و مدی، کرم‌ها، دوزیستان و پرندگان دریایی را تایید کرده است (Khalid, Aqeel et al. 2021). پس از بلع اشتباه یا عمدی، میکروپلاستیک‌ها از طریق اپیتلیوم دستگاه گوارش منتقل می‌شوند و در دستگاه گوارش باقی می‌مانند یا ممکن است از طریق مدفوع خارج شوند. باقی ماندن میکروپلاستیک‌ها در دستگاه گوارش می‌تواند با ایجاد آسیب و ساییدگی‌های فیزیکی، انسداد در سیستم گوارش، کاهش جذب مواد مغذی و اختلال در ظرفیت تغذیه به دلیل احساس سیری کاذب شوند و سلامت ارگانیسم را به شدت تحت



تاثیر قرار دهد (Walkinshaw, Lindeque et al. 2020). همچنین در رابطه با تاثیر بر موجودات دریایی می توان گفت که میکروپلاستیک ها زنجیره غذایی را می توانند تحت تاثیر قرار دهند؛ به این صورت که میکروپلاستیک های انباشته شده در رسوبات، فلزات سنگین و آلاینده های ترکیبی را جذب می کنند و توسط میکروارگانیسم های موجود در رسوب مصرف می شوند. پس از آن، این میکروارگانیسم ها و میکروپلاستیک های شناور در سطح آب توسط پلانکتون ها خورده می شوند. در عین حال، میکروپلاستیک ها در فاز آب توسط گیاهان غوطه ور هم جذب می شوند. ماهی ها و سایر موجودات آبی از جمله میگو، دوکفه ای ها و مرجان های آمفوتریک از این گیاهان و میکروارگانیسم ها تغذیه می کنند. این میکروپلاستیک ها در بافت ها و اندام های مختلف موجودات تجمع پیدا می کنند و با مصرف موجودات دریایی توسط انسان می توانند وارد بدن انسان نیز شوند (Paul and Isaac 2023). همچنین در بی مهرگان و آبزیان هم می تواند آسیب های ساختاری به اندام ها از جمله اختلال در تعادل متابولیکی، باروری، رفتاری شده و یا آسیب های بیوشیمیایی را ایجاد کند (Zolotova, Kosyreva et al. 2022).

۳-۲- اثرات بر سلامتی انسان:

میکروپلاستیک ها دارای مساحت سطح بالا، چربی دوستی، آب گریزی و خواص الکترواستاتیکی هستند که می توانند به عنوان حامل برخی از آلاینده ها، فلزات سنگین و حتی مواد سمی (باقیمانده آفت کش ها) عمل کند. از طرفی نیز مواد افزودنی از جمله پلاستی سائزها، بازدارنده شعله، سورفکتانت بیسفنول A، هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای و بی فنیل پلی کلرینه اغلب در تولید پلاستیک ها گنجانده می شوند (Jiménez-Skrzypek, Hernández-Sánchez et al. 2021). ویژگی های فیزیکی و شیمیایی میکروپلاستیک ها، به عنوان مثال، اندازه کوچک، کریستالی بودن و نسبت سطح به حجم آنها به تجمع یون های شیمیایی روی پلاستیک کمک می کند و می تواند بر سرنوشت این آلاینده ها در محیط های آبی تاثیر بگذارد (Khalid, Aqeel et al. 2021) که این فرآیند سمیت میکروپلاستیک ها را افزایش می دهد و به دلیل احتمال تجمعشان در موجودات زنده یک تهدید جدی برای زندگی آبزیان، سلامت انسان و اکوسیستم های زمینی محسوب می شوند و تحقیقات گسترده ای برای بررسی اثرات آنها و تلاش برای یافتن راهکارهایی برای کاهش آن در حال انجام است^۱.

میکروپلاستیک ها می تواند از طریق مسیرهای مختلف قرار گرفتن در معرض بدن انسان وارد شود و سپس از طریق دستگاه تنفسی، سیستم گوارشی یا گردش خون به اندام ها و بافت های مختلف گسترش یابد. توجه به این نکته ضروری است که سموم موجود در آنها می توانند آسیب قابل توجهی به عملکرد بدن انسان وارد کنند. اندازه ها و اشکال مختلف ذرات، بارهای سطحی، غلظت ها و سموم بیرونی میکروپلاستیک ها اثرات متفاوتی بر سایر اندام های بدن انسان خواهد داشت (Lin, Huang et al. 2023). در حالت کلی، میکروپلاستیک ها از راه های مختلفی می توانند وارد بدن انسان شوند، از جمله استنشاق و بلع. انسان از طریق این راه ها دائما در معرض میکروپلاستیک ها قرار می گیرد. میکروپلاستیک های استنشاقی می توانند از طریق انتشار، نفوذ مستقیم سلولی یا جذب فعال سلولی، به اپیتلیوم تنفسی منتقل شوند. در رابطه با تاثیر میکروپلاستیک ها بر سلامت انسان هم می توان گفت که حضور میکروپلاستیک ها در بدن انسان منجر به توزیع آن ها به قلب، کبد، طحال، تیموس، مغز و ریه شده است. همچنین

^۱ <https://mp-1.itrcweb.org/introduction/>



بر اساس مطالعات حیوانی انجام شده محققان به این نتیجه رسیده‌اند که میکرو و نانوذرات پس از جذب می‌توانند از سد خونی مغز عبور کنند و در اندام‌های مختلفی از جمله طحال، قلب، کبد، ریه، اندام‌های تناسلی مغز و کلیه‌ها توزیع شوند (Ziani, Ioniță-Mîndrican et al. 2023). آسیب اکسیداتیو، تداخل شیمیایی، سمیت سلولی، التهاب و پاسخ ایمنی، آسیب DNA، تغییرات در میکروبیوم روده، اختلال متابولیک و افزایش خطر ایجاد اختلالات ایمنی و سرطان نیز از جمله خطرات ناشی از ورود میکروپلاستیک‌ها به بدن انسان است (Blackburn and Green 2022, Lin, Huang et al. 2023). در یک مطالعه که در زمان شیوع covid-19 صورت گرفت، محققان به این نتیجه رسیدند که استفاده از ماسک‌های پلی پروپیلن آلودگی میکروپلاستیک را تشدید می‌کند (Aragaw 2020).

۴- روش‌های شناسایی و اندازه‌گیری میکروپلاستیک‌ها:

روش‌های آزمایشگاهی، میدانی و آنالیتیکی مختلفی برای تشخیص میکروپلاستیک‌ها در محیط آبی قابل استفاده می‌باشند:

❖ روش‌های آزمایشگاهی:

- **Visual Analysis:** که شامل مرتب‌سازی بصری برای جداسازی میکروپلاستیک‌های بالقوه از سایر مواد آلی یا معدنی در باقیمانده‌های نمونه و تعیین کمیت و شناسایی میکروپلاستیک‌ها یک مرحله الزامی می‌باشد (Xiang, Xie et al. 2022).
- **FTIR:** که شناسایی میکروپلاستیک‌ها را بر اساس ترکیب شیمیایی موجود امکان پذیر می‌کند (Vivekanand, Mohapatra and Tyagi 2021).
- **SEM:** برای بررسی میکروپلاستیک‌هایی که اندازه کمتر از ۱ نانومتر دارند استفاده می‌شود (Xiang, Xie et al. 2022).

❖ روش‌های میدانی:

- **جداسازی بر اساس چگالی:** با استفاده از چگالی خاص ذرات می‌توان از آنها برای شناسایی منشأ پلیمر استفاده کرد (Löder and Gerdt 2015).
- **تکنیک‌های نمونه‌برداری:** برای استخراج میکروپلاستیک‌ها از محیط آبی از جمله جداسازی بر اساس چگالی، شناور سازی، فیلتراسیون، روش‌های هضم و بازرسی بصری لازم و ضروری است (Huang, Hu and Wang 2023).

❖ روش‌های آنالیتیکی:

از جمله این روش‌ها که نقش مهمی در تشخیص دقیق میکروپلاستیک‌ها در محیط آبی دارند می‌توان به فلوسیتومتری، طیف‌سنجی جرمی، طیف‌سنجی رامان، آنالیز حرارتی، پراکندگی دینامیک نوری و تجزیه و تحلیل ذرات لیزری اشاره کرد (Löder and Gerdt 2015, Huang, Hu and Wang 2023).

۵- روش‌های کاهش و جلوگیری از آلودگی میکروپلاستیک‌ها:



چندین استراتژی حاکمیتی برای محدود کردن استفاده از پلاستیک‌ها و جلوگیری از آلودگی محیط زیست دریایی مناسب هستند. در چند سال اخیر، آلودگی میکروپلاستیک توجه قابل توجهی را از سوی محققان و عموم به خود جلب کرده است. با این حال، شکاف قابل توجهی در ایجاد یک سیاست روشن و پاسخ کاهش حاکمیتی وجود دارد. تلاش‌ها برای مقابله با میکروپلاستیک‌ها در سطح جهانی به اقدامات ضعیف و تکه تکه محدود شده است. پرداختن به مشکل میکروپلاستیک برای تحقق و تحقق حکمرانی پایدار اقیانوس‌ها و اهداف توسعه پایدار ۲۰۳۰ بسیار مهم است. با توجه به گسترش بی‌رویه میکروپلاستیک‌ها در طبیعت، بیش از ۲۰ سال است که تقاضاهایی برای اقدامات مشارکتی و مدیریت مشترک برای یافتن راه‌حل‌های جهانی برای این چالش فرامرزی وجود دارد (Onyena, Aniche et al. 2021). روش‌های مختلفی برای کاهش و جلوگیری از آلودگی میکروپلاستیک‌ها وجود دارد از جمله:

کنترل منبع تولید: که در این راستا تشویق به استفاده از جایگزین‌های پلاستیک‌ها و کاهش استفاده از پلاستیک یکبار مصرف، تنظیم انتشار عمدی میکروپلاستیک‌ها، رواج دادن سیستم‌های دفعی مناسب و مدیریت زباله‌ها می‌توانند مفید واقع شوند (Buzzi 2021, Vivekanand, Mohapatra and Tyagi 2021).

مدیریت مسیرهای ورود: مسیرهای ورود، رواناب‌ها، فاضلاب‌ها و رسوبات هوایی کنترل شود. بهبود زیرساخت‌ها و مدیریت زباله‌های جامد، زباله‌های پلاستیکی ورودی به رودخانه‌ها و اقیانوس‌ها را کاهش می‌دهد و در نتیجه میزان تجمع میکروپلاستیک را کاهش می‌دهد.

آموزش عمومی: آموزش و اطلاع‌رسانی لازم در رابطه با میکروپلاستیک‌ها، اثرات آنها و راه‌حل‌های موجود به مصرف‌کنندگان داده شود.

استراتژی جامع تحقیق: برای درک و شناسایی روند آلودگی میکروپلاستیک‌ها می‌بایست در سراسر جهان و در هر کدام از کشورها یک رویکرد نظارتی دقیق ایجاد شود و همچنین راه‌حل‌های مدیریتی اولویت‌بندی شوند.

همکاری بین المللی: منابع و دانش به دست آمده در رابطه با میکروپلاستیک‌ها برای توسعه و اجرای سیاست‌ها در سطح جهان به اشتراک گذاشته شود (Vivekanand, Mohapatra and Tyagi 2021).

۲-۵- تکنولوژی‌ها و روش‌های مهندسی برای کاهش آلودگی میکروپلاستیک‌ها:

روش‌های مهندسی نقش مهمی را در حل مشکلات مربوط به میکروپلاستیک‌ها ایفا می‌کنند از جمله برخی رویکردها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

روش‌های تیمار فیزیکی: روش‌های تصفیه فیزیکی در تصفیه خانه‌های آب آشامیدنی و فاضلاب‌ها برای کاهش یا حذف میکروپلاستیک‌ها می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند (Lee, Shim et al. 2023). تاسیسات تصفیه فاضلاب موجود باید به منظور حذف میکروپلاستیک‌ها به طور موثر و جلوگیری از ورود میکروپلاستیک‌ها به آب-های سطحی مانند رودخانه‌ها و اقیانوس‌ها ارتقا یابد. اصلاح فیلترهای داخل ماشین لباسشویی یک راه ساده و



موثر برای جلوگیری از ورود الیاف میکروپلاستیک به فاضلاب خواهد بود. بازیافت پلاستیک‌های استفاده شده یک رویکرد موثر است، اما بازیافت پلی‌استایرن استفاده شده، عمدتاً به دلیل هزینه‌ها، مشکل‌ساز است. استفاده از ضایعات پلاستیکی به عنوان منبع انرژی و بازیافت ضایعات پلاستیکی به عنوان محصولات خام مصنوعی و با ارزش نیز باعث کاهش منابع میکروپلاستیک می‌شود (Wu, Yang and Criddle 2017).

روش‌های بیوتکنولوژی: به استفاده از فرآیندهای مبتنی بر تجزیه زیستی برای تخریب سازگار با محیط زیست میکروپلاستیک‌ها مثلاً استفاده از میکروارگانیسم‌هایی همچون قارچ‌ها، جلبک‌ها و باکتری‌ها اشاره دارد، همچنین اصلاح ژن‌ها برای تجزیه زیستی میکروپلاستیک‌ها هم توصیه شده است (Anand, Dey et al. 2023). ریزجلبک‌ها و آنزیم‌ها و سموم آنها می‌توانند به طور موثر در تجزیه بیولوژیکی مواد پلیمری استفاده شوند. مزیت اصلی این است که آنها در مقایسه با سیستم باکتریایی این است که به منبع کربن غنی برای رشد نیاز ندارند و با طیف گسترده‌ای از زیستگاه‌ها که در آن بیشتر میکروپلاستیک‌ها وجود دارند، سازگار هستند. ریزجلبک‌ها به عنوان کلونی‌سازی سطوح پلاستیکی در جریان‌های فاضلاب شناخته شده‌اند و این چسبندگی باعث تخریب پلاستیک با تولید آنزیم‌های لیگنینولیتیک و آگزوبلی ساکارید می‌شود (Manzi, Abou-Shanab et al. 2022). به طور خلاصه، ریزجلبک‌ها به دلیل توانایی‌شان در استفاده از مونومرهای پلاستیکی به عنوان منبع کربن با تولید آنزیم‌های تجزیه‌کننده و سهولت کشت، در تجزیه میکروپلاستیک‌ها کارآمدتر می‌باشند. امکان مهندسی ژنتیکی سویه‌های جلبک برای افزایش قابلیت تخریب، راه‌حلی سازگار با محیط زیست امیدوارکننده برای تجزیه بیولوژیکی پلی اتیلن ترفتالات با استفاده از ریزجلبک‌ها از طریق زیست‌شناسی مصنوعی ارائه کرده است. علاوه بر این، تخریب میکروپلاستیک‌ها با تشکیل بیوفیلم روی سطح پلیمرها همراه است. چندین سویه سیانوباکتری از جمله جنس *Leptolyngbya*، *Prochlorothrix*، *Synechococcus*، *Pleurocapsa*، *Rivularia*، *Microcystis* و *Calothrix* نیز قادر به تشکیل بیوفیلم بر روی پلیمرهای میکروپلاستیک بودند. علاوه بر گونه‌های سیانوباکتری، دیاتوم‌ها نیز در بیوفیلم‌ها وجود دارند که به فتوسنتز کمک می‌کنند (Das, Halder and Bal 2023).

پلاستیک‌های زیست تخریب پذیر/ و یا زیست سازگار مانند پلی لاکتاتید و پلی هیدروکسی آلکانوات‌ها به صورت تجاری در دسترس هستند و می‌توانند جایگزین پلاستیک‌های سنتی برای بسیاری از کاربردها شوند (Anand, Dey et al. 2023).

بحث و نتیجه‌گیری:

آلودگی میکروپلاستیک‌ها به یکی از چالش‌های بزرگ محیط زیست جهانی تبدیل شده است و حضور آنها در محیط زیست بر تنوع زیستی و سلامت محیط زیست تأثیر دارد. میکروپلاستیک‌ها به دلیل اندازه کوچک خود می‌توانند به آسانی در زنجیره غذایی وارد شده و در نهایت تأثیرات منفی بر سلامت انسان‌ها و جانوران داشته باشند. به دلیل مسئولیت اجتماعی و محیط زیستی، اقدامات جدی برای کاهش و جلوگیری از تولید و ورود این ذرات به محیط‌های آبی بسیار ضرورت دارد. آگاهی عمومی و توجه به استفاده از مواد قابل تجدیدپذیر و استفاده از فناوری‌های نوین برای تصفیه آب، همه این عوامل می‌توانند نقش مهمی در مدیریت و کاهش آلودگی ناشی از



میکروپلاستیک ها موثر باشند. برای تضمین عدم ورود میکروپلاستیک به محیط های آبی نیازمند همکاری بین المللی و تدابیر گسترده در سطح جهانی هستیم تا زیستگاه های آبی را برای آینده ای پایدار و سالم تر حفظ کنیم.



منابع:

- Anand, U., S. Dey, E. Bontempi, S. Ducoli, A. D. Vethaak, A. Dey and S. Federici (2023). "Biotechnological methods to remove microplastics: a review." Environmental Chemistry Letters: 1-24.
- Andrady, A. L. and M. A. Neal (2009). "Applications and societal benefits of plastics." Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences **364**(1526): 1977-1984.
- Aragaw, T. A. (2020). "Surgical face masks as a potential source for microplastic pollution in the COVID-19 scenario." Marine Pollution Bulletin **159**: 111517.
- Ashrafy, A., A. A. Liza, M. N. Islam, M. M. Billah, S. T. Arafat, M. M. Rahman and S. M. Rahman (2023). "Microplastics Pollution: A Brief Review of Its Source and Abundance in Different Aquatic Ecosystems." Journal of Hazardous Materials Advances **9**: 100215.
- Auta, H. S., C. U. Emenike and S. H. Fauziah (2017). "Distribution and importance of microplastics in the marine environment: a review of the sources, fate, effects, and potential solutions." Environment international **102**: 165-176.
- Blackburn, K. and D. Green (2022). "The potential effects of microplastics on human health: What is known and what is unknown." Ambio **51**(3): 518-530.
- Buzzi, E. (2021). Policies to Reduce Microplastics Pollution in Water: Focus on Textiles and Tyres, OECD Publishing.
- Das, P., G. Halder and M. Bal (2023). "A critical review on remediation of microplastics using microalgae from aqueous system." Science of The Total Environment: 166425.
- Gholamhosseini, A., M. Banaee, A. Sureda, N. Timar, A. Zeidi and C. Faggio" (۲۰۲۳). Physiological response of freshwater crayfish, *Astacus leptodactylus* exposed to polyethylene microplastics at different temperature." Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology **267**: 109581.
- Huang, Z., B. Hu and H. Wang (2023). "Analytical methods for microplastics in the environment: a review." Environmental Chemistry Letters **21**(1): 383-401.
- Issac, M. N. and B. Kandasubramanian (2021). "Effect of microplastics in water and aquatic systems." Environmental Science and Pollution Research **28**: 19544-19562.
- Jiménez-Skrzypek, G., C. Hernández-Sánchez, C. Ortega-Zamora, J. González-Sálamo, M. Á. González-Curbelo and J. Hernández-Borges (2021). "Microplastic-adsorbed organic contaminants: analytical methods and occurrence ". TrAC Trends in Analytical Chemistry **136**: 116186.
- Jung, Y. S., V. Sampath, M. Prunicki, J. Aguilera, H. Allen, D. LaBeaud, E. Veidis, M. Barry, B. Erny, L. Patel, C. Akdis, M. Akdis and K. Nadeau (2022). "Characterization and regulation of microplastic pollution for protecting planetary and human health." Environmental Pollution **315**: 120442.
- Kernchen, S., M. G. Löder, F. Fischer, D. Fischer, S. R. Moses, C. Georgi, A. C. Nölscher, A. Held and C. Laforsch (2022). "Airborne microplastic concentrations and deposition across the Weser River catchment." Science of the Total Environment **818**: 151812.
- Khaleel, R., G. Valsan, N. Rangel-Buitrago and A. K. Warriar (2023). "Microplastics in the marine environment of St. Mary's Island: implications for human health and conservation." Environmental Monitoring and Assessment **195**(9): 1034.
- Khalid, N., M. Aqeel, A. Noman, M. Hashem, Y. S. Mostafa, H. A. S. Alhaithloul and S. M. Alghanem (2021). "Linking effects of microplastics to ecological impacts in marine environments ". Chemosphere **264**: 128541.
- Kye, H., J. Kim, S. Ju, J. Lee, C. Lim and Y. Yoon (2023). "Microplastics in water systems: A review of their impacts on the environment and their potential hazards." Heliyon.



- La Daana, K. K., R. Officer, O. Lyashevskaya, R. C. Thompson and I. O'Connor (2017). "Microplastic abundance, distribution and composition along a latitudinal gradient in the Atlantic Ocean." Marine pollution bulletin **115**(1-2): 307-314.
- Lee, H., J. E. Shim, I. H. Park, K. S. Choo and M.-K. Yeo (2023). "Physical and biomimetic treatment methods to reduce microplastic waste accumulation." Molecular & Cellular Toxicology **19**(1): 13-25.
- Lin, Y.-D., P.-H. Huang, Y.-W. Chen, C.-W. Hsieh, Y.-L. Tain, B.-H. Lee, C.-Y. Hou and M.-K. Shih (2023). "Sources, Degradation, Ingestion and Effects of Microplastics on Humans: A Review." Toxics **11**(9): 747.
- Liu, K., T. Wu, X. Wang, Z. Song, C. Zong, N. Wei and D. Li (2019). "Consistent transport of terrestrial microplastics to the ocean through atmosphere." Environmental science & technology **53**(18): 10612-10619.
- Löder, M. G. and G. Gerdtz (2015). "Methodology used for the detection and identification of microplastics—a critical appraisal." Marine anthropogenic litter: 201-227.
- Manzi, H. P., R. A. Abou-Shanab, B.-H. Jeon, J. Wang and E.-S. Salama (2022). "Algae: a frontline photosynthetic organism in the microplastic catastrophe." Trends in Plant Science.
- Onyena, A. P., D. C. Aniche, B. O. Ogbolu, M. R. J. Rakib, J. Uddin and T. R. Walker (2021). "Governance strategies for mitigating microplastic pollution in the marine environment: a review." Microplastics **1**(1): 15-46.
- Paul, A. and K. Isaac (2023). The Risks of Microplastic Pollution in the Aquatic Ecosystem. Advances and Challenges in Microplastics. S. El-Sayed. Rijeka, IntechOpen: Ch. 6.
- Pothiraj, C., T. A. Gokul, K. R. Kumar, A. Ramasubramanian, A. Palanichamy, K. Venkatachalam, P. Pastorino, D. Barcelò, P. Balaji and C. Faggio (2023). "Vulnerability of microplastics on marine environment: A review." Ecological Indicators **15**. 111058.
- Rahimi, J. and S. M. Hasani Azhdari (2022). "Microplastics and their effects on aquatic ecosystems and organisms".
- Sukanya, M., S. Khushboo, S. Geetika, S. Mandeep and C. Pooja (2020). Sources, Fate, and Impact of Microplastics in Aquatic Environment. Emerging Contaminants. N. Aurel. Rijeka, IntechOpen: Ch. 13.
- Taghizade Firozjaee, T., F. Golbabaee Kootenaei and Y. Aghdoud Chaboki "An overview of the sources, impacts, and management techniques of microplastics in the marine environment." International Journal of Maritime Technology: 22-31.
- Tang, Y., Y. Liu, Y. Chen, W. Zhang, J. Zhao, S. He, C. Yang, T. Zhang, C. Tang and C. Zhang (2021). "A review: Research progress on microplastic pollutants in aquatic environments." Science of The Total Environment **766**: 142572.
- Thacharodi, A., R. Meenatchi, S. Hassan, N. Hussain, M. A. Bhat, J. Arockiaraj, H. H. Ngo, Q. H. Le and A. Pugazhendhi (2024). "Microplastics in the environment: a critical overview on its fate, toxicity, implications, management, and bioremediation strategies." Journal of Environmental Management **349**: 119433.
- Turner, A., C. Wallerstein and R. Arnold (2019). "Identification, origin and characteristics of bio-bead microplastics from beaches in western Europe." Science of The Total Environment **664**: 938-947.
- Vivekanand, A. C., S. Mohapatra and V. K. Tyagi (2021). "Microplastics in aquatic environment: Challenges and perspectives." Chemosphere **282**: 131151.
- Walkinshaw, C., P. K. Lindeque, R. Thompson, T. Tolhurst and M. Cole (2020). "Microplastics and seafood: lower trophic organisms at highest risk of contamination." Ecotoxicology and Environmental Safety **190**: 110066.
- Wright, S., J. Ulke, A. Font, K. Chan and F. Kelly (2020). "Atmospheric microplastic deposition in an urban environment and an evaluation of transport." Environment international **136**: 105411.
- Wu, W.-M., J. Yang and C. S. Criddle (2017). "Microplastics pollution and reduction strategies." Frontiers of Environmental Science & Engineering **11**: 1-4.
- Xiang, S., Y. Xie, X. Sun, H. Du and J. Wang (2022). "Identification and quantification of microplastics in aquaculture environment." Frontiers in Marine Science **8**: 804208.



Ziani, K., C.-B. Ioniță-Mîndrican, M. Mititelu, S. M. Neacșu, C. Negrei, E. Moroșan, D. Drăgănescu and O.-T. Preda (2023). "Microplastics: a real global threat for environment and food safety: a state of the art review." *Nutrients* **15**(3): 617.

Zolotova, N., A. Kosyreva, D. Dzhililova, N. Fokichev and O. Makarova (2022). "Harmful effects of the microplastic pollution on animal health: a literature review." *PeerJ* **10**: e13503.

شعبانلو، ح.، س. صفاری بیدهندی، ط. علی بیگی and ف. مومنی (۲۰۲۳). "آلودگی و مخاطرات زیست محیطی میکروپلاستیک و راهکارهای کاهش آن در اکوسیستم‌های آبی." *مجله آیزیان دریای خزر* ۷ (پاییز و زمستان ۱۴۰۱): ۲۷-۳۶.

صادق، پ. and ن. تابه زر (۱۳۹۸). میکروپلاستیک ها و اثرات مخرب آن بر اکوسیستم های آبی. *نخستین همایش ملی علوم، صنایع دریایی و توسعه پایدار سواحل مکران*.



Investigating the relationship between microplastic pollution and human health and aquatic environment

Kosar Taghavi

Master's student in the field of food hygiene and safety, Department of Food Science and Technology, Faculty of Nutrition and Food Sciences, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

Parisa ahmadi

PhD student in the field of food hygiene and safety, Department of Food Science and Technology, Faculty of Nutrition and Food Sciences, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

Mahnaz tabibiazar*

Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Nutrition and Food Science, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

Abstract

Today, due to the increase in the world's population, the use of plastics has increased. Plastics are a wide range of synthetic or semi-synthetic organic compounds, and the decomposition process of these compounds in nature is slow, leading to the creation of microplastics. Microplastics are new and almost unknown pollutants that are widely present in the environment. This study focuses on understanding microplastics and their types, their effects on the environment and humans, how these compounds enter nature and the food chain, sources of pollution, methods of identification, and reduction. Currently, scientific findings confirm the extensive use of plastics and the detrimental effects of microplastics on human health and living organisms.

Keywords: Microplastics, water pollution, aquatic toxicity, human health