19th Iranian Soil Science Congress
02-04 December, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

ISC ۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

بررسی آلودگی همزمان میکروپلاستیک‌ها و آنتی بیوتیک‌ها در خاک

مهشاد رحمت[۱*]، سمانه عبدالرحیمی[۲]، امیرفتوت[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران؛*
rahmatmahshad@gmail.com
۲- دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران؛
۳- استاد، گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

چکیده

درحال حاضر، آنتی‌بیوتیک‌ها و میکروپلاستیک‌ها به عنوان دو آلاینده مهم و نوظهور، به شکل گسترده‌ای در محیط‌زیست حضور دارند و نگرانی‌های زیادی درباره اثرات آن‌ها بر اکوسیستم‌های خاکی ایجاد کرده‌اند. میکروپلاستیک‌ها (MPs[۱])، می‌توانند از تجزیه‌ی پلاستیک‌های بزرگتر یا به طور مستقیم از منابعی مانند: فیلم‌های کشاورزی، کودهای آلی و لجن فاضلاب وارد خاک شوند. این مواد، به دلیل پایداری بالای ساختاری خود می‌توانند بیش از صدسال در خاک باقی بمانند. در همین‌حال، آنتی بیوتیک‌ها که اغلب از طریق فعالیت‌های کشاورزی، فاضلاب و کودهای حیوانی به خاک وارد می‌شوند با تجمع در محیط خاک به گسترش ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک (ARGs) کمک می‌کنند. جالب توجه است که میکروپلاستیک‌ها به واسطه تغییرات سطحی ناشی از فرسایش محیطی قابلیت جذب آنتی‌بیوتیک‌ها و انتقال آن‌ها در خاک را دارند. عواملی نظیر pH ، شوری، دمای خاک و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میکروپلاستیک‌ها نیز می‌توانند بر این تعاملات تاثیرگذار باشند. هم‌افزایی این آلاینده‌ها نه تنها میکروبیوم خاک را تخریب می‌کنند، بلکه رشد و متابولیسم گیاهان را مختل کرده و خطر انتقال این آلاینده‌ها به زنجیره غذایی را افزایش می‌دهند. این مقاله با هدف مروری بر مکانیسم‌های این برهم‌کنش‌ها و پیامدهای زیست-محیطی آن‌ها بر ضرورت مدیریت پایدار این ترکیبات برای حفظ سلامت خاک و اکوسیستم تاکید می‌کند.

واژگان کلیدی: آنتی‌بیوتیک، میکروپلاستیک ،آلودگی همزمان، خاک

[۱] Microplastics

مقدمه

پلاستیک یکی از مهم‌ترین اختراعات بشر، به شمار می‌رود. این مواد که ماهیتی مصنوعی یا نیمه‌مصنوعی دارند عمدتاً از پلیمرها تشکیل شده‌اند و واسطه ویژگی‌هایی مانند سبکی، مقاومت در برابر آب و مواد شیمیایی، انعطاف‌پذیری بالا و قابلیت شکل‌دهی تحت حرارت و فشار، کاربرد گسترده‌ای در زندگی روزمره و صنایع مختلف پیدا کرده‌اند. از جمله کاربردهای اصلی پلاستیک می‌توان به صنایع بسته‌بندی (۴۷٪)، منسوجات (۱۴٪)، محصولات مصرفی (۱۲٪)، حمل و نقل (۶٪)، ساختمان سازی (۴٪)، الکترونیک (۴٪)، ماشین آلات صنعتی (۰,۳٪) و سایر بخش‌ها (۱۳٪)، اشاره کرد(Saygin, 2022) . مصرف جهانی پلاستیک تا سال ۲۰۱۵ به ۳۰۰ میلیون تن در سال افزایش یافته است (Saygin, 2022) همچنین براساس داده‌های سازمان Plastic Europe (۲۰۲۴)، تولید سالانه‌ی پلاستیک در سال ۲۰۱۸ از مرز ۳۷۰ میلیون تن فراتر رفته و برآورد می‌شود تا سال ۲۰۵۰، تولید سالانه‌ی پلاستیک در جهان تا ۳۳ میلیارد تن در سال برسد (Sajjad et al., 2022). پلاستیک‌ها در محیط‌زیست تحت تاثیر فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی به ذرات کوچک‌تر تجزیه می‌شوند. ذرات پلاستیکی با اندازه بین ۱۰۰ نانومتر تا ۵ میلی‌متر با عنوان میکروپلاستیک شناخته می‌شوند. در حالی‌که ذرات کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر به نانوپلاستیک معروف هستند(Saygin, 2022;Zhang et al., 2024) . در کنار این آلاینده‌ها، آنتی‌بیوتیک‌ها نیز ترکیباتی هستند که برای از بین بردن یا مهار رشد میکروارگانیسم‌ها و کنترل عفونت‌های ناشی از باکتری‌ها و پاتوژن‌ها به کار می‌روند. این ترکیبات علاوه بر کاربرد گسترده در پزشکی، در دامپزشکی و کشاورزی نیز به‌منظور پیشگیری از بیماری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵، مصرف روزانه آنتی‌بیوتیک‌ها در بیش از ۷۰ کشور از ۲۱,۱ میلیارد دوز به ۳۴,۸ میلیارد دوز به ازای هر بزرگسال افزایش یافت (Klein et al., 2018) . استفاده بی‌رویه و غیرضروری از آنتی‌بیوتیک‌ها برای درمان بیماری‌ها، روند مصرف این داروها را به‌طور قابل توجهی افزایش داده است. در صورت ادامه این وضعیت، پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۳۰، مصرف روزانه آنتی‌بیوتیک‌ها به ۱۲۶ میلیارد دوز به ازای هر فرد بزرگسال برسد. با این حال، حدود ۳۰ تا ۹۰ ٪ از آنتی‌بیوتیک‌ها به‌صورت مواد خام یا متابولیت‌ها وارد محیط‌زیست می‌شوند که خطرات جدی برای اکوسیستم به همراه دارد(Klein et al., 2018;Wei et al., 2023;Wang et al., 2024). آنتی‌بیوتیک‌ها که عمدتاً به‌صورت شیمیایی سنتز می‌شوند با تجمع در بدن انسان می‌توانند منجر به بروز واکنش‌های آلرژیک و آسیب به اندام‌ها گردند (Wei et al., 2023). این مقاله با هدف بررسی منابع، نحوه برهم‌کنش، و پیامد های زیست‌محیطی ناشی از آلودگی همزمان میکروپلاستیک‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها در خاک به تحلیل اثرات این آلاینده‌ها می‌پردازد.

منابع آلودگی میکروپلاستیک‌ها در خاک:

میکروپلاستیک‌ها از راه‌های گوناگونی وارد محیط خاک می‌شوند. منابع اصلی این میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های خاکی شامل: بقایای فیلم‌های پلاستیکی مورد استفاده در مالچ کشاورزی، کودهای آلی، آب آبیاری، رواناب‌های سطحی، کاربرد لجن فاضلاب، پسماندهای پلاستیکی و همچنین ریزش‌های جوی هستند (Yu et al., 2021;Liu et al., 2021) . تحقیقات نشان می‌دهند که ترکیبات اصلی میکروپلاستیک‌ها در محیط‌زیست شامل پلی‌اتیلن(PE)، پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌وینیل‌کلراید(PVC) ،پلی‌استایرن (PS) ، پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) و دیگر پلیمرها می‌باشند (Ai et al., 2022;Saygin, 2022). پس از ورود به خاک، میکروپلاستیک‌ها به دلیل ساختار پلیمری پایدار خود قادرند بیش از یک قرن در این محیط باقی بمانند این ویژگی باعث می‌شود که این ذرات، خطرات بلندمدتی را برای سلامت خاک و بهره‌وری کشاورزی به همراه داشته باشند(Wei et al., 2023).

منابع آلودگی آنتی‌بیوتیک‌ها در خاک:

آنتی‌بیوتیک‌ها به‌دلیل اثرات ضدمیکروبی و خاصیت نابودسازی باکتری‌ها، به‌طور گسترده در پزشکی و دامپزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این‌حال، استفاده بی‌رویه، نادرست و ناکارآمدی فرایندهای تصفیه در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب منجر به ورود مقادیر قابل توجهی از آنتی‌بیوتیک‌ها به منابع آبی، زیست‌توده و دیگر اجزای محیط زیست شده است. این ترکیبات، به‌عنوان نوعی آلاینده نوظهور می‌توانند بر موجودات غیرهدف اثرات مخرب داشته باشند. تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که میکروپلاستیک‌های موجود در آب‌های آلوده می‌توانند به عنوان حامل آنتی‌بیوتیک‌ها عمل کرده و انتقال آن‌ها را تسهیل کنند(Wang et al., 2024) . علاوه بر این، مسیرهای اصلی ورود میکروپلاستیک‌ها به اکوسیستم‌های کشاورزی شامل آبیاری اراضی با فاضلاب و کاربرد خاکی کودهای دامی و لجن فاضلاب است. این فرایندها می‌توانند به طور قابل توجهی گسترش ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک (ARGs) را در محیط خاکی تسریع و تقویت کنند(Liu et al., 2021).

آنتی‌بیوتیک‌های مهم موجود در خاک:

بسیاری از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به گونه‌ای طراحی نشده‌اند که بتوانند آنتی‌بیوتیک‌ها را به طور موثر حذف کنند، در نتیجه، این ترکیبات می‌توانند از فرایندهای تصفیه فاضلاب جان سالم به در برده و در لجن فاضلاب جذب شوند. لجن‌های حاصل از تصفیه فاضلاب معمولا به عنوان کود در اراضی کشاورزی به کار می‌روند. و این امر موجب ورود آنتی‌بیوتیک‌ها به خاک می‌شوند. مطالعات نشان داده‌اند ۱۸ نوع آنتی‌بیوتیک در خاک و ۱۷ نوع در کودهای حیوانی و لجن فاضلاب‌ها شناسایی شده‌اند از میان این ترکیبات، تتراسایکلین‌ها بیشترین غلظت را داشته‌اند؛ به طوری‌که میزان آن‌ها به ۲,۶۸ میکروگرم بر گرم در خاک و ۱۸۴ میکروگرم بر گرم در کود حیوانی رسیده است. علاوه بر این، سیپروفلوکساسین با غلظت ۳,۲۶ میکروگرم بر گرم در کود حاصل از لجن فاضلاب گزارش شده است(Pan & Chu, 2017).

برهم‌کنش بین میکروپلاستیک‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها در خاک:

تاکنون تحقیقات کمی درباره‌ی سمیت ترکیبی آنتی‌بیوتیک‌ها و میکروپلاستیک‌ها انجام شده است، با وجود اینکه احتمال برهم‌کنش بین آن‌ها وجود دارد. زمانی که آنتی‌بیوتیک‌ها بر سطح میکروپلاستیک‌ها جذب می‌شوند، می‌توانند اثرات آلودگی متفاوتی ایجاد کنند؛ این اثرات ممکن است افزایشی، کاهشی یا هم‌افزایی باشند. با این‌حال، تاثیرات نهایی این برهم‌کنش‌ها بر سمیت کلی ترکیب هنوز به طور کامل شناخته نشده است. یکی از دلایل این پیچیدگی، تفاوت در میزان و نحوه‌ی جذب آنتی‌بیوتیک‌ها بر سطح میکروپلاستیک‌ها است که می‌تواند به تغییر در میزان سمیت ترکیب منجر شود (Zhuang & Wang, 2023).

نحوه و چگونگی برهم‌کنش میکروپلاستیک‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها در خاک:

میکروپلاستیک‌ها در محیط طبیعی تحت تاثیر فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی قرار می‌گیرند که این امر منجر به درجات مختلفی از تغییرات موسوم به "زمان‌گذری" (Aging) در آن‌ها می‌شود. این فرایند زمان‌گذری تغییراتی را در مورفولوژی سطحی، اندازه، گروه‌های عاملی و بلورینگی میکروپلاستیک‌ها ایجاد می‌کنند. تحولات ناشی از زمان‌گذری نحوه برهم‌کنش میان

میکروپلاستیک‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها را نیز تغییر می‌دهد، به ویژه فرایند جذب آنتی‌بیوتیک‌ها توسط میکروپلاستیک‌های زمان‌گذری شده به دلیل پیچیدگی‌های ایجاد شده در ساختار و ویژگی‌های آن‌ها دچار تغییرات بیشتری می‌شود(Wang et al., 2024) .

بررسی برهم‌کنش میان آنتی‌بیوتیک‌ها و میکروپلاستیک‌ها نقش مهمی در درک بهتر فرایندهای انتقال و تغییرات این آلاینده‌ها در محیط دارد که این دانش برای پیشگیری و کنترل آلودگی‌های ترکیبی از اهمیت بالایی برخوردار است (Wei et al., 2023). آنتی-بیوتیک‌ها ویژگی‌های متفاوتی از نظر پایداری و انتقال در خاک‌های کشاورزی دارند که شامل جذب سطحی، تجزیه و شست‌وشو می‌باشد(Pan & Chu, 2017). جذب سطحی، به عنوان اصلی‌ترین مکانیسم تعامل میان این دو آلاینده مطرح است، به‌طوری‌که انواع مختلف آنتی‌بیوتیک‌ها می‌توانند توسط میکروپلاستیک‌های گوناگون در سیستم‌های آب شیرین جذب شوند. این ترکیبات می‌توانند به‌صورت هم‌زمان در محیط‌های آبی و خاکی حضور داشته و اثرات گسترده‌ای بر موجودات زنده به‌جای می‌گذارند که از جمله آن‌ها می‌توان به سمیت شیمیایی و افزایش مقاومت میکروبی اشاره کرد. میکروپلاستیک‌ها همچنین قادرند ترکیبات آلی مانند بی‌فنیل‌های‌پلی‌کلردار (PCBs) و تری‌کلرواتان(TCA) را جذب کرده و به‌عنوان حامل، در انتقال ترکیبات دارویی نقش ایفا نمایند. این توانایی نه‌تنها می‌تواند ویژگی‌های سمیت هر یک از آلاینده‌ها را به‌طور مستقل تغییر دهد، بلکه با افزایش تجمع مواد فعال زیستی، به طور قابل توجهی غلظت این ترکیبات را در محیط افزایش می‌دهد(Wei et al., 2023).

عوامل موثر بر برهم‌کنش میکروپلاستیک‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها در خاک :

عوامل متعددی در محیط وجود دارند که بر آلودگی هم‌زمان تأثیرگذار بوده و منجر به تشکیل کمپلکس‌های گوناگون میان میکروپلاستیک‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها می‌شوند. از جمله مهم‌ترین عوامل محیطی می‌توان به pH خاک، شوری، دما، حضور ترکیبات آلی و یون‌های فلزات سنگین اشاره کرد که بر پایداری، انتقال و رفتار کمپلکس‌های میکروپلاستیک–آنتی‌بیوتیک تأثیرگذار هستند. علاوه بر این، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میکروپلاستیک‌ها نقش کلیدی در نحوه‌ی برهم‌کنش آن‌ها با آلاینده‌ها ایفا می‌کنند؛ عواملی مانند: نوع پلیمر، قطر ذرات، و تغییرات ساختاری ناشی از فرسایش محیطی، از مهم‌ترین مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی به شمار می‌آیند که در شکل‌گیری و پایداری این ترکیبات موثرند(Wei et al., 2023).

پیامد های برهم‌کنش میکروپلاستیک‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها در خاک:

وجود آنتی‌بیوتیک‌ها در خاک و آب می‌تواند میکروارگانیسم‌های غیر هدف را از بین ببرد یا رشد آن‌ها را مهار کند، که این موضوع به کاهش تنوع میکروبی و برهم خوردن تعادل اکوسیستم‌ها منجر می‌شود (Jia et al., 2023). شایان ذکر است که اگرچه میزان آموکسی‌سیلین در محیط‌زیست کمتر از سایر آنتی‌بیوتیک‌ها است، اما خطرات زیست‌محیطی آن در خاک و آب به مراتب بیشتر گزارش شده است (Jia et al., 2023). به طور کلی، ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که خطرات زیست‌محیطی آنتی‌بیوتیک‌ها در محیط‌های آبی نسبت به محیط‌های خاکی بیشتر است (Jia et al., 2023). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که مدیریت مناسب کشاورزی، شامل استفاده کنترل‌شده از کود حیوانی، تنظیم pH خاک، بهینه‌سازی مدیریت آبیاری و افزایش مواد آلی خاک، می‌تواند نقش موثری در کاهش خطرات ناشی از آنتی‌بیوتیک‌ها در اراضی کشاورزی ایفا کند (Jia et al., 2023).

تحقیقات اخیر نشان می‌دهند که هم‌زمانی حضور میکروپلاستیک‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها می‌تواند فرآیندهای سلولی را مختل کرده و متابولیسم را تحت تأثیر قرار دهد که این امر منجر به تغییرات ساختاری در سطح میکروسکوپی می‌شود (Khan et al., 2024). در سیستم‌های کشاورزی، این دو آلاینده می‌توانند به طور مستقیم ترکیب و عناصر دیگر و محصولات را تحت تاثیر قرار داده، متابولیسم گیاه را دچار اختلال کرده و کیفیت تغذیه‌ای آن‌ها را کاهش دهند(Khan et al., 2024). مواجهه هم‌زمان گیاهان با میکروپلاستیک‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها آثار منفی شدیدتری بر فیزیولوژی، رشد و توسعه گیاه نسبت به مواجهه جداگانه با هر یک از این آلاینده‌ها دارد(Khan et al., 2024) . این ترکیبات از طریق ریشه‌های گیاهان جذب شده و از طریق ترک‌های ریشه‌های جانبی وارد گیاه می‌شوند که در پی آن، اثرات نامطلوبی همچون مهار رشد و جوانه‌زنی بذر، اختلال در متابولیسم مواد مغذی، کاهش محتوای کلروفیل، سرکوب فعالیت‌های فتوسنتزی، ایجاد ژنوتوکسیسیته [۲] و آسیب اکسیداتیو مشاهده می‌شود(Khan et al., 2024) .

نتیجه‌گیری

آلودگی هم‌زمان میکروپلاستیک‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها درخاک، به عنوان یک چالش نوظهور و چندبعدی شناخته می‌شود که می‌تواند به طور قابل‌توجهی تعادل زیستی خاک و کیفیت خاک را تحت تاثیر قرار دهد. تعاملات پیچیده میان این دو گروه از

[۲] به معنای توانایی یک ماده در آسیب رسانده به ماده ژنتیکی (DNA) و ایجاد جهش یا ناهنجاری های ژنتیکی است.

آلاینده‌ها نه تنها موجب افزایش پایداری و انتقال آنتی‌بیوتیک‌ها در خاک می‌شود بلکه با تغییر در ساختار میکروبیوم خاک و گسترش ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک، تهدیدی جدی برای سلامت اکوسیستم‌های خاکی و امنیت غذایی به شمار می‌رود. عوامل محیطی نظیر pH ، شوری، دما و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میکروپلاستیک‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در شدت و ماهیت این برهم‌کنش ایفا می‌کنند؛ از این‌رو، درک عمیق‌تر از این فرایندها می‌تواند زمینه‌ساز تدوین راهکارهای مدیریتی موثر جهت کاهش مخاطرات ناشی از این نوع آلودگی‌های همزمان باشد. باتوجه به گسترش روزافزون مصرف پلاستیک‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها و همچنین ناکارآمدی بسیاری از سامانه های تصفیه در حذف کامل این آلاینده‌ها، ضرورت دارد که پژوهش‌های آینده بر شناخت دقیق‌تر رفتار و سرنوشت این مواد در خاک و ارزیابی اثرات بلندمدت آن‌ها بر اکوسیستم تمرکز کنند. علاوه بر این، بهبود شیوه‌های مدیریت پسماند، اصلاح فرایندهای کشاورزی و ارتقاء استانداردهای زیست‌محیطی می‌تواند گامی موثر در جهت پیشگیری از تشدید این بحران نوظهور باشد.

فهرست منابع

Ai, W., Liu, S., Liao, H., Du, J., Cai, Y., Liao, C., Shi, H., Lin, Y., Junaid, M., Yue, X., & Wang, J. (2022). Application of hyperspectral imaging technology in the rapid identification of microplastics in farmland soil. Science of the Total Environment, 807(xxxx), 151030.

Jia, W. L., Song, C., He, L. Y., Wang, B., Gao, F. Z., Zhang, M., & Ying, G. G. (2023). Antibiotics in soil and water: Occurrence, fate, and risk. In Current Opinion in Environmental Science and Health (Vol. 32). Elsevier B.V.

Khan, A. R., Ulhassan, Z., Li, G., Lou, J., Iqbal, B., Salam, A., Azhar, W., Batool, S., Zhao, T., Li, K., Zhang, Q., Zhao, X., & Du, D. (2024). Micro/nanoplastics: Critical review of their impacts on plants, interactions with other contaminants (antibiotics, heavy metals, and polycyclic aromatic hydrocarbons), and management strategies. Science of the Total Environment, *912*(December 2023), 169420.

Klein, E. Y., Van Boeckel, T. P., Martinez, E. M., Pant, S., Gandra, S., Levin, S. A., Goossens, H., & Laxminarayan, R. (2018). Global increase and geographic convergence in antibiotic consumption between 2000 and 2015. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 115(15), E3463–E3470.

Liu, Y., Liu, W., Yang, X., Wang, J., Lin, H., & Yang, Y. (2021). Science of the Total Environment Microplastics are a hotspot for antibiotic resistance genes : Progress and perspective. Science of the Total Environment, 773(1), 145643.

Pan, M., & Chu, L. M. (2017). Fate of antibiotics in soil and their uptake by edible crops | Elsevier Enhanced Reader. In Science of the Total Environment (Vols. 599–600, pp. 500–512). Elsevier B.V.

Sajjad, M., Huang, Q., Khan, S., Khan, M. A., Liu, Y., Wang, J., Lian, F., Wang, Q., & Guo, G. (2022). Microplastics in the soil environment: A critical review. Environmental Technology and Innovation, 27, 102408.

Saygin, A. B. & H. (2022). 2022-Co-occurence of antibiotics and.pdf (p. 22). JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND HEALTH.

Wang, K., Guo, C., Li, J., Wang, K., Liang, S., Wang, W., & Wang, J. (2024). A critical review of the adsorption-desorption characteristics of antibiotics on microplastics and their combined toxic effects. Environmental Technology and Innovation, 35, 103729.

Wei, J., Chen, M., & Wang, J. (2023). Insight into combined pollution of antibiotics and microplastics in aquatic and soil environment: Environmental behavior, interaction mechanism and associated impact of resistant genes. TrAC - Trends in Analytical Chemistry, 166(August), 117214.

Yu, L., Zhang, J. Di, Liu, Y., Chen, L. Y., Tao, S., & Liu, W. X. (2021). Distribution characteristics of microplastics in agricultural soils from the largest vegetable production base in China. Science of the Total Environment, 756.

Zhang, X., Tian, X., Song, W., Ma, B., Chen, M., Sun, Y., Chen, Y., & Zhang, L. (2024). Adsorption of As(III) by microplastics coexisting with antibiotics. Science of the Total Environment, 907(July 2023), 167857.

Zhuang, S., & Wang, J. (2023). Interaction between antibiotics and microplastics: Recent advances and perspective. Science of the Total Environment, 897(April), 165414.

Co-contamination of Microplastics and Antibiotics in Soils

Mahshad Rahmat
M.Sc. Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran;
rahmatmahshad@gmail.com

Samaneh Abdolrahimi
Ph.D. Candidate, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Amir Fotovat
Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran;
afotovat@um.ac.ir

Abstract
Currently, antibiotics and microplastics are recognized as two major emerging contaminants that are increasingly present in the environment, raising significant concerns about their effects on soil ecosystems. Microplastics (MPs) can originate from the degradation of larger plastic debris or enter the soil directly through sources such as agricultural films, organic fertilizers, and sewage sludge. Due to their high structural stability, these particles can persist in the soil for over hundred years. Meanwhile, antibiotics are mainly introduced into the soil through agricultural activities, wastewater, and animal manures, where they contribute to the spread of antibiotic resistance genes (ARGs) by accumulating in the soil environment. Notably, microplastics can adsorb antibiotics and facilitate their transport in soil due to surface changes caused by environmental weathering. Factors such as soil pH, salinity, temperature, and the physicochemical properties of microplastics can influence these interactions. The synergistic effects of these contaminants not only disrupt the soil microbiome but also disturb plant growth and metabolism, increasing the risk of contaminant transfer into the food chain. This review aims to highlight the mechanisms underlying these interactions and their environmental consequences, emphasizing the urgent need for sustainable management strategies to protect soil health and the ecosystem.

Keywords: Antibiotics, Microplastics, Co-contamination, Soil