

## میکرو/نانوپلاستیک‌ها، آلاینده‌های نوظهور در خاک

امیر فتوت<sup>۱</sup>، سمانه عبدالرحیمی<sup>۲</sup>، زهرا چوبینه<sup>۳</sup>

۱- استاد، گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، afotovat@um.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

### چکیده

ورود آلاینده‌های مختلف به محیط‌زیست از منابع گوناگون باعث پیامدهای منفی بر سلامت انسان، گیاه، حیوان و زیست‌بوم می‌گردد. با پیشرفت صنعت پلیمر و تولید محصولات پلاستیکی و همچنین دفع و بازیافت نامناسب آن‌ها مشکلات قابل توجهی برای محیط‌زیست ایجاد شده‌است. میکروپلاستیک‌ها (> ۵ میلی‌متر) و نانوپلاستیک‌ها (۱۰۰-۱ نانومتر) به عنوان آلاینده‌های نوظهور شناخته شده و به عنوان یکی از مهمترین چالش‌های زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شوند. این ذرات پلاستیکی از راه‌های مختلف از جمله کاربرد لجن‌فاضلاب، کودهای آلی، مالچ‌های پلاستیکی و همچنین مدیریت نامناسب زباله‌ها، به اکوسیستم‌های خاکی وارد می‌شوند و بر خصوصیات فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی خاک اثر می‌گذارند. هدف از این مطالعه، مرور اطلاعاتی در مورد نحوه تشکیل و منابع ورود ذرات میکرو/نانوپلاستیک‌ها به محیط‌زیست همچنین بررسی پیامدهای آن‌ها بر سلامت اکوسیستم، گیاه و خاک و همچنین بیان چالش‌ها و موانع پیش‌رو در مطالعاتشان می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** میکروپلاستیک، نانوپلاستیک، محیط‌زیست

### مقدمه

توسعه هر کشور در جهان با پارامترهای متعددی از جمله: صنعت و کشاورزی مرتبط است (Mileusnić et al. (2014). محیط‌زیست به طور جدی توسط چندین آلاینده مانند: یون‌های معدنی، آلاینده‌های آلی، ترکیبات آلی فلزی، ایزوتوپ‌های رادیواکتیو، آلاینده‌های گازی و نانوذرات آلوده شده است (Walker et al. (2012). در چند دهه گذشته تولید پلیمرهای مختلف پلاستیکی بسیار افزایش یافته است تا نیازهای روزافزون ما را در بخش‌های مختلف از جمله بسته‌بندی، خودرو، محصولات الکترونیکی، وسایل پزشکی، ساخت و سازها و مصارف خانگی و غیره تأمین کند (Maity and Pramanick (2020). در دهه ۱۹۵۰، تولید جهانی پلاستیک ۱/۵ میلیون تن تخمین زده شد که در سال ۲۰۱۷ به ۳۵۰ میلیون تن رسیده است (Geyer et al. (2017)؛ Plastic Europe (2018).

### اهمیت آلودگی پلاستیک

استفاده از پلیمرها در جنبه‌های مختلف زندگی ما اجتناب‌ناپذیر است و با پیشرفت علم پلیمر و فناوری روز نمی‌توان کاربرد پلاستیک‌ها را انکار کرد. اما تولید نمایی، پایداری طولانی‌مدت (تخریب ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ سال طول می‌کشد)، ماهیت به سختی تجزیه‌پذیر زیست‌محیطی و سرانجام تعامل با زیست‌زنده، مسائل نظارت و پتانسیل سمیت زیست‌محیطی آن‌ها را مطرح کرده است. از این‌رو آلودگی پلاستیک به یک نگرانی جهانی برای سلامت اکوسیستم و حفظ تنوع زیستی تبدیل شده است. غلظت پلاستیک‌ها در محیط‌های خاکی چند برابر محیط‌های آبی است (Maity and Pramanick (2020). دارا بودن خصوصیات منحصر به فردی همچون وزن و هزینه کم، خصوصیات شیمیایی پایدار، مقاومت در برابر سایش و ضدزنگ بودن، باعث شده که تقاضا و استفاده از محصولات پلاستیکی در جهان روبه افزایش باشد و در حال حاضر، آلودگی پلاستیکی به عنوان یکی از مهمترین چالش‌های زیست‌محیطی در نظر گرفته شود (Shen et al. (2019).



## انواع پلاستیک‌ها و تعاریف میکرو و نانوپلاستیک

تعداد زیادی پلیمر وجود دارد که بسته به ساختار شیمیایی آن‌ها کم و بیش در معرض انواع مختلف فرآیندهای تخریب قرار دارند (Kyrikou and Briassoulis (2007) بسیاری از آلاینده‌های پلیمری رایج مانند پلی اتیلن (PE)<sup>۱</sup>، پلی پروپیلین (PP)<sup>۲</sup>، پلی استر (PS)<sup>۳</sup>، پلی ونیل کلرید (PVC)<sup>۴</sup>، به سبب استحکام کربنی که دارند، در برابر تخریب هیدرولیتیک و آنزیمی مقاوم هستند (Ng et al. (2018). به هر ذره پلاستیکی که طول بزرگترین بعد آن از ۵ میلی‌متر کوچکتر باشد، میکروپلاستیک گفته می‌شود (NOVAA<sup>۵</sup> اندازه نانوپلاستیک‌ها هنوز مورد بحث است. برخی نانوپلاستیک‌ها را ذراتی با اندازه ۱ تا ۱۰۰ نانومتر پیشنهاد می‌دهند (European Commission (2011) در حالیکه، طیف وسیعی از مطالعات اندازه نانوذرات را ۱ تا ۱۰۰۰ نانومتر در نظر گرفتند (Gigault et al. (2018).

## منابع ورود پلاستیک به خاک

میکرو/ نانوپلاستیک‌ها یا به صورت مستقیم و به عنوان مواد اولیه (مثل رنگ‌های منتقل شده به آب، کاربردهای پزشکی، الکترونیک، پوشش‌ها، چسب‌ها و غیره) و یا به طور غیرمستقیم به عنوان میکروپلاستیک‌های ثانویه و نانوپلاستیک‌های تولید شده توسط خرد شدن بقایای پلاستیکی بزرگتر، وارد محیط زیست می‌شوند همچنین منابع مستقیم ورود این ذرات به خاک در کشاورزی شامل مالچ‌های پلاستیکی و پوشش‌های گلخانه‌ای و بهبوددهنده‌های خاک (به عنوان مثال فوم پلی‌اورتان) است. منابع غیرمستقیم شامل زباله‌های عمومی و استفاده از فاضلاب تصفیه شده و زیست‌جامدات<sup>۶</sup> است (Duis et al. (2016). در مطالعه Fang et al. (2021) گزارش شد که هنگام چاپ اسناد با استفاده از چاپگر لیزری در واقع در حال چاپ میکروپلاستیک‌ها روی کاغذ هستیم، زیرا پلاستیک‌ها ترکیب اصلی مخلوط پودر تونر هستند. علاوه بر این کاربردهای پزشکی، مانند حامل‌های دارو، مبتنی بر استفاده از نانوذرات پلیمری و کپسول‌های نانو، ممکن است بیش از حد به ورود این مواد به محیط کمک کند (Pohlmann et al. (2013).

## نگاهی به روند مطالعات انجام شده در محیط‌های مختلف

میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های مختلفی از جمله محیط‌های دریایی، خاکی و اتمسفر یافت می‌شوند (De Souza Machado et al. (2018a). در بین آلاینده‌های پلاستیکی، بیشترین مطالعه بر روی میکروپلاستیک‌ها انجام شده است (Wright et al. (2013). در مطالعات آلودگی پلاستیک، خاک‌ها در مقایسه با اقیانوس‌ها و محیط‌های آبی تا حد زیادی نادیده گرفته شده‌اند (Rillig et al. (2012). به گونه‌ای که بیش از ۹۰ درصد مطالعات میکروپلاستیک‌ها مربوط به محیط‌های آبی است. در حالیکه بخش عمده‌ی آلودگی میکروپلاستیکی در اقیانوس‌ها از منابع زمینی نشات می‌گیرد (Xu et al. (2020).

نتایج پژوهش Akdogan and Guven (2019) نشان داد که بیشترین مطالعات در زمینه میکروپلاستیک‌ها در طول سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷، در محیط‌های آبی (دریا، اقیانوس، دهانه رود و دریاچه) بوده و سهم خاک در مقالات منتشر شده در این زمینه بسیار کم بوده است همچنین در این پژوهش نتیجه گرفته شد که بیشتر مطالعات بر روی وقوع و مشخصه‌یابی ذرات میکروپلاستیک بوده و مطالعات در زمینه جذب و اثراتشان بر روی موجودات زنده و سرنوشت و حمل و نقل آن‌ها در درجه بعدی اهمیت قرار داشتند. ما نیز در مروری مشابه با این پژوهش، در مقالات منتشر شده در پایگاه داده Science direct، مشاهده کردیم که از سال ۲۰۱۴ تاکنون مطالعات روند افزایشی داشته است و به طور کلی سهم مطالعات مرتبط با سرنوشت، منابع و

<sup>1</sup> Polyethylene

<sup>2</sup> Polypropylene

<sup>3</sup> Polystyrene

<sup>4</sup> Polyvinyl chloride

<sup>5</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration

<sup>6</sup> Biosolid



شناسایی این ذرات پلاستیکی در محیط‌های طبیعی بیشتر از سایرین است. این درحالی است که از سال ۲۰۱۷ موضوع تاثیر همزمان این ذرات با آلاینده‌ها در محیط بیشتر مورد توجه قرار گرفت در سال ۲۰۱۹ بیشتر مطالعات به این موضوع پرداخته بودند و بیشتر مطالعات روی ذرات در اندازه‌ی نانو (نانوپلاستیک‌ها) انجام شد و همچنین مطالعاتی در جهت حذف این ذرات از محیط‌های آبی صورت گرفت. مطالعات در زمینه‌ی میکروپلاستیک‌های ثانویه و فرآیندهای زمان‌گذری<sup>۷</sup> در سال ۲۰۲۰ قوت گرفت و در سال ۲۰۲۱ تاکنون، نگاه ویژه‌ای به اثرات حضور میکرو/ نانوپلاستیک‌ها در خاک، گیاهان و میکروارگانیسم‌های خاکزی، نسبت به سال‌های گذشته شده است. به طور خلاصه تمرکز مطالعات حال حاضر بیشتر بر روی شناخت اثرات دقیق‌تر این ذرات پلاستیکی، تعامل با سایر آلاینده‌ها و انجام مطالعاتی نزدیک به شرایط واقعی محیط است. نمونه‌ای از مطالعات آزمایشگاهی بر ذرات میکروپلاستیک در محیط‌های مختلف و همچنین یافته‌های کلیدی این پژوهش‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- نمونه‌هایی از مطالعات مبتنی بر آزمایشگاه روی میکروپلاستیک‌ها

منبع	محیط مورد مطالعه	نوع پلیمر مورد مطالعه	یافته کلیدی مطالعه
Holmes et al., 2014	Marine (estuarine)	HDPE	با افزایش pH در آب رودخانه، جذب $\text{Cd}^{2+}$ ، $\text{Co}^{2+}$ ، $\text{Ni}^{2+}$ و $\text{Pb}^{2+}$ افزایش یافت، جذب $\text{Cr}^{6+}$ کاهش یافته و جذب مس نسبتاً ثابت بود جذب فلزات سنگین بر روی میکروپلاستیک‌های زمان‌گذری شده بیشتر بود
Brennecke et al., 2016	Sea water	PS, PVC	جذب روی و مس بر روی میکروپلاستیک PVC بیشتر از PS بود مس سریعتر از روی بر روی PVC جذب شد
Wang and Wang., 2017	Freshwater	PE, PS, and PVC	در مقایسه با رسوب طبیعی، میکروپلاستیک‌ها ظرفیت بالاتری را برای PAH (Phenanthrene) نشان می‌دهند PE > PS > PVC
Yu et al., 2020	Marine	PE, PS, and PVC	ظرفیت جذب تتراسایکلین روی میکروپلاستیک‌ها: PE > PS > PVC مقدار جذب تتراسایکلین با اندازه ذرات PE رابطه منفی دارد $\text{Zn}^{2+}$ ، $\text{Pb}^{2+}$ ، $\text{Cd}^{2+}$ ، $\text{Cr}^{3+}$ فرآیند جذب را بهبود می‌دهد، اما $\text{Cu}^{2+}$ آن را ضعیف می‌کند
Yu et al., 2020	Soil	PE	کاهش فراهمی زیستی Cu، Cr و Ni در خاک میکروپلاستیک‌ها در بخش‌های مختلف خاکدانه‌ای از نظر اندازه تاثیرات متفاوتی بر روی فلزات سنگین نشان دادند
Abbasi et al., 2020	Soil	PET	ذرات PET می‌توانند به عنوان یک حامل در انتقال فلزات سنگین به منطقه ریزوسفر عمل کنند میزان جذب $\text{Pb}^{2+}$ در PET کمتر از $\text{Cd}^{2+}$ و $\text{Zn}^{2+}$ بود

### رفتار پلاستیک‌ها در خاک

بسیاری از پلاستیک‌هایی که معمولاً در خاک یا روی آن‌ها قرار می‌گیرند، در معرض اکسیداسیون نوری و حرارتی و همچنین سایش و خرد شدن مکانیکی و تخریب زیستی قرار می‌گیرند. تخریب اکسیداسیون نوری و حرارتی باعث تحریک، ترک خوردن

<sup>7</sup> Aging



و ضعیف شدن پلاستیک‌ها با گذشت زمان می‌شود. بنابراین مواد وقتی در معرض نیروهای ساینده یا مکانیکی قرار بگیرند، بیشتر در معرض تکه‌تکه شدن می‌باشند (Ng et al. (2018). تکه‌تکه شدن و تخریب طبیعی پلاستیک‌ها، به ویژه برای آن‌هایی که در خاک دفن شده‌اند، یک روند بسیار کند است. زیرا در طی فرآیند زمان‌گذری حرکت ذرات پلاستیک در محیط، از طریق پروفیل خاک و به صورت عمودی پیش‌بینی می‌شود (Ng et al. (2018). گرم‌های خاکی (Rillig et al. (2017) و همچنین روش‌های کشاورزی مانند شخم به انتقال عمودی آن‌ها کمک می‌کند. این مکان زیرسطحی به دلیل داشتن شرایط بی‌هوازی از روند تخریب اکسیداسیونی جلوگیری می‌کند، بنابراین پلاستیک‌ها معمولاً می‌توانند برای مدت زمان طولانی در خاک باقی بمانند. فرآیند زمان‌گذری می‌تواند با افزایش حضور گروه‌های عاملی حاوی اکسیژن (به عنوان مثال، کربونیل)، کاهش وزن مولکولی و ایجاد یک سطح ناهموار، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سطح آن‌ها را تغییر دهد (Song et al. (2017). در پژوهشی Mao et al. (2020) گزارش کردند که با افزایش فرآیند زمان‌گذری با اشعه UV، منافذ بیشتر و بزرگتری در سطح ذرات پلی‌استایرن (PS) پدیدار شد. همچنین نتایج مطالعه Luo et al. (2020) نشان داد که در طول زمان‌گذری سطح ویژه میکروپلاستیک پلی‌اتیلن افزایش یافت که این ممکن است به دلیل تکه‌تکه شدن ذرات میکروپلاستیک در اثر اشعه UV و همچنین ظهور ترک‌ها و منافذ زیاد بر روی سطح آن باشد که به تبع آن دسترسی نور و اکسیژن را به لایه‌های داخلی تسهیل می‌کند، همچنین در این مطالعه مشاهده شد که افزایش روند زمان‌گذری باعث تغییر رنگ میکروپلاستیک هم خواهد شد که این پدیده توسط فرآیند اکسیداسیون کنترل می‌شود. میزان بروز این فرآیندهای زمان‌گذری بستگی زیادی به شرایط محیطی مانند دما، شدت، زمان، گونه‌های میکروبی خاک<sup>۸</sup> و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها دارد (Liu et al. (2018).

#### تأثیر پلاستیک‌ها بر برخی خصوصیات خاک

میکروپلاستیک‌ها بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و رشد گیاه تأثیر می‌گذارند و همچنین اثرات زیست‌محیطی نامطلوبی بر جانوران خاک دارند. این تأثیرات به غلظت، اندازه و شکل میکروپلاستیک‌ها و همچنین بافت خاک بستگی دارد. علاوه بر این میکروپلاستیک‌ها توانایی جذب آلاینده‌های آلی و معدنی را دارند و احتمالاً بر توزیع این مواد در خاک تأثیرگذار هستند (Zhu et al. (2019).

#### تأثیر پلاستیک‌ها بر خصوصیات فیزیکی خاک

چندین پژوهش اطلاعات محدودی در مورد تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر خصوصیات فیزیکی خاک ارائه داده‌اند. میکروپلاستیک‌ها به دلیل چگالی کم، معمولاً باعث کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌شوند، با این حال، ممکن است نوع میکروپلاستیک بر فضای منافذ و برهمکنش ذرات در خاک تأثیر داشته باشد، همچنین میکروپلاستیک‌ها می‌توانند بر خاکدانه‌سازی، ظرفیت نگه‌داشت آب و آب قابل دسترس تأثیر بگذارند، اما نوع اثرات به نوع و غلظت میکروپلاستیک‌ها بستگی دارد (De Souza Machado et al. (2018b). الیاف پلی‌استر بیشترین تغییرات را در پارامترهای بیوفیزیکی خاک به عنوان مثال: وزن مخصوص ظاهری خاک، ظرفیت نگهداری آب و ساختار خاک ایجاد کرده‌اند. شکل الیاف ممکن است نشان‌دهنده پتانسیل بالاتری برای تغییر خواص بیوفیزیکی خاک باشد زیرا ساختارهای خطی با ذرات غیرخطی که بخش عمده‌ای از توده خاک را تشکیل می‌دهند تفاوت اساسی دارد. میکروپلاستیک‌ها با شکلی شبیه به سایر ذرات طبیعی خاک تفاوت‌های کوچکتری از تیمار کنترل ایجاد می‌کنند (De Souza Machado et al. (2019). ترکیبی از خواص پلاستیکی و شکل ذرات، به این معنی است که الیاف پلی‌استر انعطاف‌پذیرتر بوده و بنابراین نسبت به نمونه‌های پلی‌اکریلیک به طور موثرتر و یکنواخت‌تری در داخل خاک ترکیب می‌شوند. به نوبه خود، این باعث می‌شود که ذرات خاک با الیاف پلی‌استر به طور موثرتری درگیر شوند. بعلاوه، حضور میکروپلاستیک‌ها در خاک به دلیل تأثیر بر پایداری خاکدانه ممکن است بر فرسایش نیز (Rillig and Lehmann (2020) تأثیرگذار باشد.

<sup>8</sup> Biofilm



### تأثیر پلاستیک‌ها بر خصوصیات بیولوژیکی خاک

میکروپلاستیک‌ها می‌توانند به عنوان یک زیستگاه جدید زیست‌محیطی برای میکروارگانیسم‌هایی که در خط اتصال خاک-پلاستیک زندگی می‌کنند به عنوان مثال: (میکروپلاستیک<sup>۹</sup>) عمل کرده و اجازه ایجاد جوامع میکروبی منحصر به فردی را بدهند (Zhou et al. (2021). علاوه بر ایجاد لکه‌های داغ میکروبی<sup>۱۰</sup>، میکروپلاستیک‌ها می‌توانند تأثیرات متفاوتی بر جوامع میکروبی خاک و فعالیت‌های آنزیمی داشته باشند، به عنوان مثال، سبب فعال‌سازی (De Souza Machado et al. (2019)، سرکوب (Fei et al. (2020) شده و یا تأثیری نگذارند (Zang et al. (2020). نتایج متفاوت مشاهده شده در مورد فعالیت‌های میکروبی و ساختارهای جمعیت‌های خاک را می‌توان با ترکیب شیمیایی، سطح ویژه و آبگریزی مختلف میکروپلاستیک‌ها و همچنین ساختارها و ویژگی‌های خاک (به عنوان مثال، pH، ثبات کل خاک، تخلخل و میزان آب) توضیح داد (Yu et al. (2020). پژوهش انجام شده توسط (Lozano et al. (2021b)، نوع پلیمر، یک متغیر کلیدی برای میکروپلاستیک بود که تغییرات فعالیت میکروبی را توضیح می‌داد به صورتیکه قطعات PP و فیلم‌های PE، پلیمرهایی بودند که فعالیت میکروبی را بیشتر کاهش دادند. حضور میکروپلاستیک‌ها در خاک بر فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز و فسفاتاز اثر منفی گذاشت (Yang et al. (2018). در حالیکه میکروپلاستیک‌های PE و PVC بر آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و اوره‌آز خاک اثر مثبت داشتند که یکی از دلایل افزایش فعالیت این دو آنزیم می‌تواند وابستگی فعالیت آن‌ها به رطوبت خاک و اثر میکروپلاستیک‌ها در حفظ طولانی‌تر آب خاک باشد (Fei et al. (2020). میکروپلاستیک‌ها به عنوان ناقل و منبع (sink) آلاینده‌های سمی در محیط اطراف خود عمل کرده و باعث سمیت سلولی شده و به طور مستقیم از رشد گیاه جلوگیری کنند (Zhou et al. (2021). علاوه بر این، میکروپلاستیک‌ها می‌توانند به طور غیرمستقیم بر رشد گیاه تأثیرگذار باشند. به عنوان مثال، میکروالیاف، وزن مخصوص ظاهری خاک را کاهش داده و تهویه خاک را افزایش می‌دهند (De Souza Machado et al. (2018b) که در نتیجه می‌تواند مقاومت نفوذ ریشه را کاهش و رشد آن را افزایش دهد (Rillig et al. (2019a).

انتظار می‌رود، میکروپلاستیک‌ها به علت وزن مولکولی زیاد یا اندازه بزرگ (نسبت به دیواره سلولی) توسط گیاهان جذب نشوند و دیواره‌ی سلولی غنی از سلولز گیاه مانع نفوذ آن‌ها شود (Teuten et al. (2009). اما با این حال هنگامی که میکروپلاستیک‌ها به نانوذرات (>0.1 میکرومتر) تبدیل می‌شوند، می‌توانند از غشاهای بیولوژیکی عبور کرده و وارد سلول‌های گیاهی شوند. نتایج پژوهش (Li et al. (2020) نشان داد که دانه‌های 0.2 میکرومتری از جنس پلی‌استایرن از راه آپوپلاستیک از فضای بین‌سلولی عبور کرده و در دیواره سلولی ریشه و سیستم آوندی گیاه کاهو مشاهده شدند و همچنین به سبب تخریب به وسیله سیستم آوندی به ساقه‌ها و برگ‌ها منتقل شدند. از طرف دیگر (Zhao et al. (2021) نشان دادند که میکروپلاستیک‌های PE در اندازه 23 میکرومتر فقط به سطح ریشه چسبیده و به علت اندازه بزرگ آن‌ها نسبت به منافذ ریشه، وارد ریشه کاهو نمی‌شوند.

### تأثیر پلاستیک‌ها بر خصوصیات شیمیایی خاک

از جمله اثرات میکروپلاستیک‌ها بر خصوصیات شیمیایی خاک می‌توان به تغییرات در مقدار کربن (Rillig and Lemhmann (2020، نسبت C/N (Qi et al. (2020)، pH (Wang et al. (2020) و قابلیت هدایت الکتریکی (Qi et al. (2020) اشاره کرد. گزارش شده‌است که حضور میکروپلاستیک‌ها در خاک سبب کاهش کربن آلی محلول و pH می‌شود که اثر مستقیم این دو عامل بر گونه‌های شیمیایی عناصر، نشان‌دهنده‌ی اثر احتمالی میکروپلاستیک‌ها بر توزیع گونه‌های فلزات سنگین در محلول خاک است (Yu et al. (2020). پژوهش انجام گرفته توسط (Gao et al. (2021)، مشخص نمود که میکروپلاستیک‌های به شکل فوم<sup>۱۱</sup> و قطعه<sup>۱۲</sup>، pH خاک را افزایش داده‌اند که این می‌تواند به علت افزایش تهویه و تخلخل خاک در نتیجه‌ی افزودن میکروپلاستیک‌ها به خاک باشد (De Souza Machado et al. (2019)؛ (Lozano et al. (2021). همچنین آبشویی ترکیبات

<sup>9</sup>Microplastisphere

<sup>10</sup> Microbial hotspots

<sup>11</sup> Foam

<sup>12</sup> Fragment



شیمیایی میکروپلاستیک‌ها به خاک می‌تواند جمعیت میکروبی خاک و به دنبال آن pH را تغییر دهد (Gao et al. (2021). در حضور همزمان کادمیم و میکروپلاستیک  $^{13}\text{HDPE}$  و همچنین حضور همزمان میکروپلاستیک PS و کادمیم، pH خاک افزایش یافت که این افزایش به تغییرات در جوامع میکروبی و گیاه در اثر حضور میکروپلاستیک‌ها نسبت داده شده است (Wang et al. (2020). میکروپلاستیک‌ها منبع کربن مخصوصا کربن با منشأ فسیلی هستند و وقتی در خاک قرار می‌گیرند، به عنوان مخزن کربن در نظر گرفته می‌شوند (Rilling and Lemhmann (2020). Qi et al. (2020) در بررسی اثر بقایای مالچ‌های کشاورزی به صورت میکرو و ماکرو به جنس HDPE و پلاستیک زیست‌تخریب‌پذیر در کشت گندم، دریافتند که نسبت C/N در خاک در حضور میکروپلاستیک‌ها افزایش پیدا می‌کند و بیشترین مقدار مربوط به تیمار میکروپلاستیک PE بوده است (Qi et al. (2020).

### تعامل ذرات پلاستیک با سایر آلاینده‌ها در محیط

در شرایط واقعی محیط خاک، ذرات پلاستیک به خصوص ذراتی که تحت تاثیر فرآیند زمان‌گذری بوده‌اند تمایل زیادی به جذب سطحی آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی و نانومواد دارند. جذب سطحی آلاینده‌ها به وسیله میکروپلاستیک‌ها به شدت وابسته به خصوصیات میکروپلاستیک‌ها مانند نوع، سطح ویژه، تخلخل، تعداد مکان‌های جذب و آبگریزی آن‌ها است. فلزات سنگین می‌توانند از طریق برهمکنش الکترواستاتیک، کمپلکس شدن سطحی و رسوب، در سطح میکروپلاستیک‌ها جذب سطحی شوند (Ren et al. (2021). اندازه بقایای پلاستیکی در مقیاس نانو باعث می‌شود ناقلین کارآمد بسیاری از آلاینده‌ها و به ویژه فلزات باشند (Davranche et al. (2019). نانوپلاستیک‌ها، اندازه‌ای در ابعاد نانو دارند و پلی‌دیسپرس با ساختار باز و شکل ناهمگن و نامتقارن هستند. آن‌ها دارای یک سطح باردار ناهمگن و توانایی هم‌آوری در شرایط فیزیکی شیمیایی محیط را دارند (Gigault et al. (2018). که این ویژگی‌های اشاره شده در بالا، ذرات نانوپلاستیک را به عنوان جاذب‌های مورد توجه برای آلاینده‌ها و به ویژه فلزات کمیاب تبدیل می‌کند. (Davranche et al. (2019). در مطالعه خود شواهدی را نشان داد که نانوپلاستیک‌ها، در شرایط طبیعی در اثر قرار گرفتن در معرض تخریب مکانیکی و به ویژه اکسید شدن توسط اشعه ماوراء بنفش، ایجاد می‌شوند، از این‌رو قادر به جذب  $\text{Pb}^{2+}$  هستند، به نظر می‌رسد جذب  $\text{Pb}^{2+}$  توسط فعل و انفعالات شیمیایی و فیزیکی با نانوپلاستیک کنترل می‌شود و به شدت به pH وابسته است. افزایش زیاد جذب در  $\text{pH} > 4$  که مربوط به پروتون‌زدایی مکان‌های کربوکسیلیک است، اثبات شد. این مشاهدات نشان می‌دهد که  $\text{Pb}^{2+}$  می‌تواند از طریق کمپلکس‌های درون‌کره‌ای<sup>۱۴</sup> به محل‌های اتصال اکسیژن سطح نانوپلاستیک متصل شود، که منجر به یک فرآیند جذب ناهمگن می‌شود. به میزان کمتر، به نظر می‌رسد جذب به یک انتشار درون‌ذره  $\text{Pb}^{2+}$  بستگی دارد که توسط مدل‌سازی و نتایج تحلیلی مشهود است.

### عوامل موثر بر رفتار میکرو/نانوپلاستیک‌ها در خاک

ویژگی‌های مختلفی از قبیل نوع پلیمر، اندازه، شکل، زمان انکوباسیون و غلظت‌های آزمایش شده بر میزان سمیت ذرات پلاستیکی تاثیر گذار می‌باشد (Wang et al. (2019)، Qiao et al. (2019). همچنین عوامل دیگر مانند pH، شوری، قدرت یونی، بافت خاک و غلظت کاتیون فلزی می‌توانند در جذب آلاینده‌ها به میکروپلاستیک‌ها نقش داشته باشند (Ren et al. (2021). نتایج بدست آمده از پژوهش (Huang et al. (2021) نشان داد که با کاهش pH توانایی جذب آلاینده آلی تیلوسین (tylosin) به میکروپلاستیک PS ضعیف می‌شود. در محلول با  $\text{pH} < 3$  (اسیدی قوی)، فراوانی یون هیدروژن ( $\text{H}^+$ ) و یون هیدرونیوم ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) ممکن است برای جایگاه‌های جذب با آلاینده رقابت کند در نتیجه سبب محدودیت فرآیند جذب شود درحالی‌که با افزایش pH، در محلول، تیلوسین عمدتا به صورت مولکولی و کادمیم به فرم  $\text{Cd}(\text{OH})^+$  و  $\text{Cd}(\text{OH})_2$  وجود دارد و به سبب رقابت کم، جذب تیلوسین افزایش می‌یابد. در pH در توزیع گونه  $\text{Pb}^{2+}$  و بار سطح میکروپلاستیک اثرگذار است به طوری‌که در  $\text{pH} > \text{pH}_0$ ، سطح میکروپلاستیک‌ها دارای بار منفی می‌شود و تمایل بیشتری به جذب کاتیون دارند. جذب سطحی  $\text{Pb}^{2+}$  به میکروپلاستیک‌های PE، PVC و PS با

<sup>13</sup> High Density Poly Ethylene

<sup>14</sup> Inner Sphere



افزایش pH از ۲ به ۶، افزایش می‌یابد (Lin et al. (2021). جذب سطحی سرب به PE در شوری کم، افزایش و در شوری زیاد، کاهش می‌یابد (Holmes et al. (2014). ممکن است بین بار منفی نمک و بار مثبت سرب برهمکنش الکترواستاتیکی رخ دهد (Torres et al. (2007). مکانیسم‌های کاهش جذب با افزایش شوری شامل رقابت بین یون‌ها برای مکان‌های جذب (Liu et al. (2018) و نیروهای الکترواستاتیک (Li et al. (2018) است. مواد آلی محلول (DOM) معمولاً سبب کاهش جذب می‌شود چون می‌تواند به آلاینده‌ها متصل و با سطوح میکروپلاستیک رقابت کند (Xu et al. (2018b). تاثیر DOM بر آلاینده‌های غیرقطبی بیشتر از آلاینده‌های قطبی است (Tourinho et al. (2019).

### چالش‌های موجود در زمینه میکرو/نانوپلاستیک‌ها در خاک

آلودگی میکرو/نانوپلاستیک، موضوعی جدید در علوم خاک است و در نتیجه روش‌های نمونه‌گیری، استخراج، تحلیلی و حتی واحدهای توصیفی استانداردسازی نشده‌اند (Xu et al. (2019). براساس مطالعات قبلی (Piehl et al. (2018). با توجه به اختلاف در عمق نمونه‌برداری، روش استخراج و واحد ارائه شده در میان مطالعات مختلف، مقایسه دقیق آلودگی میکروپلاستیک در مناطق و انواع مختلف خاک دشوار است. به علاوه، برای نانوپلاستیک‌ها هنوز تعریف روشنی ارائه نشده است (Koelmans et al. (2015) و طبقه‌بندی این ذرات غالباً بر اساس تعاریفی است که برای مواد غیرپلیمری استفاده می‌شود. ارزیابی سرنوشت نانوذرات در محیط به دلیل اندازه آن‌ها ذاتاً دشوار است (Mattsson et al. (2015b). تاکنون در هیچ مقاله‌ای شناسایی نانوپلاستیک‌ها در محیط طبیعی گزارش نشده است که یک دلیل آن می‌تواند دامنه اندازه کوچک آن‌ها باشد و اینکه هنوز فناوری‌های شناسایی چنین ذرات ریزی در مقیاس بزرگ توسعه نیافته است (Pico et al. (2019). از دیگر دلایل می‌توان به این مسئله اشاره کرد که پیش‌بینی نحوه تجمع یا انتقال نانوپلاستیک‌ها در محیط طبیعی دشوار است (Nature Nanotechnology (2019). یک مشکل عمده در کاربرد پلیمر، تکه تکه شدن ذرات است، در گذشته برای درک تکامل اندازه ذرات در طی آسیاب به ویژه در مدل‌سازی کاهش اندازه مواد معدنی تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است (Liang et al. (2000). با این حال عملکرد یک فرآیند آسیاب بستگی زیادی به مواد آسیاب شده دارد مثلاً رفتار مواد دارویی، غذایی و پلیمرها با مواد معدنی متفاوت است و در این رابطه مطالعات بسیار کمی در مورد آسیاب پلیمر به ویژه در تولید پودرهای پلیمر ریز انجام شده است (Rajalingam et al. (1993). کمبود داده‌های مربوط به اثر آلودگی برای میکرو/نانوپلاستیک‌ها در خاک و همچنین، استفاده بیشتر از ذرات پلاستیکی اولیه در تحقیقات و وجود تفاوت بین این نوع ذرات پلاستیکی در محیط واقعی؛ اهمیت بررسی تاثیر ذرات پلاستیکی ثانویه را دوچندان می‌کند.

### نتیجه‌گیری

این مقاله پیشرفت‌های تحقیق در ویژگی‌های ذرات میکرو و نانوپلاستیک‌ها، سرنوشت و خطرات اکولوژیکی این ذرات را در محیط‌های مختلف به ویژه در خاک بررسی کرده و مروری بر پیشرفت‌های اخیر در میکروپلاستیک‌ها در اکوسیستم‌های زمینی را ارائه می‌دهد. مطالعات در سال‌های اخیر بیشتر در محیط‌های آبی بوده و مقالات منتشر شده کمتری در محیط خاک و اکوسیستم‌های مربوط به آن وجود دارد. هرچند که در سال‌های اخیر دانش در زمینه میکروپلاستیک‌ها در محیط خاک در حال پیشرفت است و در طی این سال‌ها مطالعات مختلفی در ارتباط با این آلاینده‌های پلاستیکی در حال افزایش است و روند مطالعات غالباً در جهت شناخت اثرات مختلفی است که حضور همزمان این ذرات و سایر آلاینده‌ها رقم خواهد زد، با این حال هنوز مطالعات، به دلیل ناهمگن بودن محیط خاک، با چالش‌هایی روبرو بوده است. به بیان دیگر هنوز کمبود اطلاعات در مورد آلودگی میکروپلاستیک در جنبه‌های مختلف از جمله روش‌های اندازه‌گیری و نمونه‌برداری آن‌ها در خاک، انتقال این ذرات در خاک، نزدیک کردن شرایط آزمایشگاهی به شرایط واقعی، تاثیر انواع پلیمرها و دامنه اندازه آنها، تاثیر محدوده غلظتی، درجه زمان‌گذری مختلف و مطالعه روی میکرو و نانوپلاستیک‌های ثانویه، سرنوشت و پیامدهای اکولوژیکی میکروپلاستیک‌ها، تاثیر این ذرات بر ویژگی‌های خاک و گیاهان مختلف، موضوع سایش و خردایش و تبدیل آن‌ها به ذرات اندازه نانو، پژوهش درباره



شیمی تعامل فلزات سنگین و پلاستیک‌ها و مطالعات خطرسنجی<sup>۱۵</sup> برای تعیین حدمجاز آن‌ها در محیط‌های مختلف به ویژه خاک وجود دارد. بنابراین برای انجام پژوهش‌های بیشتر در این زمینه و تعیین پیامدهای آن‌ها در محیط خاک نیاز به غلبه بر برخی از محدودیت‌های جدی موجود در مطالعات مربوطه وجود دارد.

#### فهرست منابع

- 1- Arthur, C., Baker, J. and Bamford, H. (eds). (2009). Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris., *NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30*.
- 2- Akdogan, Z., Guven, B. (2019). Microplastics in the Environment: A Critical Review of Current Understanding and Identification of Future Research Needs. *Environmental Pollution*, 254, 113011.
- 3- Abbasi, S., Moore, F., Keshavarzi, B., Hopke, P.K., Naidu, R., Rahman, M., Oleszczuk, P., Karimi, J. (2020). PET-microplastics as a vector for heavy metals in a simulated plant rhizosphere zone. *Science of The Total Environment*, 744, 140-984.
- 4- Bosker, T., Bouwman, L. J., Brun, N. R., Behrens, P., Vijver, M. G. (2019). Microplastics accumulate on pores in seed capsule and delay germination and root growth of the terrestrial vascular plant *Lepidium sativum*. *Chemosphere*. 226, 774-781.
- 5- Brodhagen, M., Goldberger, J.R., Hayes, D.G., Inglis, D.A., Marsh, T.L., Miles, C. (2017). Policy considerations for limiting unintended residual plastic in agricultural soils. *Environment Science Pollution*. 69, 81-84.
- 6- Brennecke, D.; Duarte, B.; Paiva, F.; Caçador, I.; Canning-Clode, J. (2016). Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*., 178, 189-195.
- 7- Davranche, M., Veclin, C., Pierson-Wickmann, A. C., El Hadri, H., Grassl, B., Roweczyk, L., Dia, A., Ter Halle, A., Blancho, F., Reynaud, S., ult, J. (2019). Are nanoplastics able to bind significant amount of metals? The lead example. *Environmental Pollution*, 249, 940-948.
- 8- De Souza Machado, A.A., Kloa, S W., Zarfl, C., Hempel, S., Rillig, M.C. (2018a). Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global Change Biology*. 24, 1405-1416.
- 9- De Souza Machado, A.A., Lau, C.W., Till, J., Kloas, K., Lehmann, A., Becker, R., Rillig, M.C. (2018b). Impacts of microplastics on the soil biophysical environment. *Environmental Science and Technology*, 52, 9656-9665.
- 10- De Souza Machado, A.A., Lau, C.W., Kloas, W., Bergmann, J., Bachelier, J.B., Faltin, E., Becker, R., Görlich, A.S., Rillig, M.C. (2019). Microplastics can change soil properties and affect plant performance. *Environmental Science and Technology*, 53, 6044-6052.
- 11- Duis, K., Coors, A. (2016). Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe*, 28, 1-25.
- 12- European Commission. (2011). Commission Recommendation of 18 October 2011 on the Definition of Nanomaterial
- 13- Fang, Ch., Sobhani, Z., Zhang, D., Zhang, X., T. Gibson, Ch., Tang, Y., Luo, Y., Megharaj, M., Naidu, R. (2021). Capture and characterisation of microplastics printed on paper via laser printer's toners. *Chemosphere*, 281, 130864.
- 14- Fei, Y., Huang, S., Zhang, H., Tong, Y., Wen, D., Xia, X., Wang, H., Luo, Y., Barcelo, D. (2020). Response of soil enzyme activities and bacterial communities to the accumulation of microplastics in an acid cropped soil. *Science of the Total Environment*, 707, 135634.
- 15- Gao, M., Liu, Y., Dong, Y., Song, Z. (2021). Effect of polyethylene particles on dibutyl phthalate toxicity in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Hazardous Materials*, 401, 123422.
- 16- Geyer, R., Jenna, R., Jambeck, J.R., Law, K.L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made, *Science Advances*. 3, 1700782.
- 17- Gigault, J., Halle, A. T., Baudrimont, M., Pascal, P.-Y., Gauffre, F., Phi, T. L., Reynaud, S. (2018). Current opinion: What is a nanoplatic? *Environmental Pollution*, 235, 1030-1034
- 18- Holmes, L.A., Turner, A., and Thompson, R.C. (2014). Interactions between trace metals and plastic production pellets under estuarine conditions. *Marine Chemistry*. 167: 25-32.
- 19- Huang, D., Xu, Y., Yu, X., Ouyang, Z., and Guo, X. (2021). Effect of cadmium on the sorption of tylosin by polystyrene microplastics. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 207, 111255.

<sup>15</sup> Risk assessment





- 20- Koelmans, A.A., Diepens, N.J., Velzeboer, I., Besseling, E., Quik, J.T.K., van de Meent, D. (2015b). Guidance for the prognostic risk assessment of nanomaterials in aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment*. 535, 141–149
- 21- Kyrikou, I., Briassoulis, D. (2007). Biodegradation of agricultural plastic films: a critical review. *J. Polymers and the Environment*. 15, 125–150.
- 22- Li, J., Zhang, K., Zhang, H. (2018). Adsorption of antibiotics on microplastics. *Environmental Pollution*. 237, 460–467.
- 23- Li, L.Z., Luo, Y.M., Li, R.J., Zhou, Q., Peijnenburg, W.J.G.M., Yin, N., Yang, J., Tu, C., Zhang, Y.C. (2020). Effective uptake of submicrometre plastics by crop plants via a crack-entry mode. *Nature Sustainability is a Transformative Journal*. 3, 929–937.
- 24- Li, W., Wufuer, R., Duo, J., Wang, S., Luo, Y., Zhang, D., Pan, X. (2020). Microplastics in agricultural soils: Extraction and characterization after different periods of polythene film mulching in an arid region. *Science of the Total Environment*. 749, 141420.
- 25- Li, L., Yang, J., Zhou, Q., Peijnenburg, W. J. G. M., Luo, Y. (2020). Uptake of Microplastics and Their Effects on Plants. *Microplastics in Terrestrial Environments*. The Handbook of Environmental Chemistry, 95, 279-298.
- 26- Liang, S. B., Shi, Q. C., Zhu, C. (2000). Proceeding of international Conference on fine powder processing, (V. M. Puri, Ed.) Penn state University, 3-7.
- 27- Lin, Z., Hu, Y., Yuan, Y., Hu, B., and Wang, B. (2021). Comparative analysis of kinetics and mechanisms for Pb(II) sorption onto three kinds of microplastics. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 208, 111451.
- 28- Liu, X., Zheng, M., Wang, L., Ke, R., Lou, Y., Zhang, X., Dong, X., Zhang, Y. (2018). Sorption behaviors of tris-(2,3-dibromopropyl) isocyanurate and hex- abromocyclododecanes on polypropylene microplastics. *Marine Pollution Bulletin*. 135, 581-586.
- 29- Lozano, Y.M., Lehnert, T., Linck, L.T., Lehmann, A., Rillig, M.C. (2021b). Microplastic shape, polymer type, and concentration affect soil properties and plant biomass. *Frontiers in Plant Science*. 12, 169.
- 30- Luo, H., Zhao, Y., Li, Y., Xiang, Y., He, D., Pan, X. (2020) Aging of microplastics affects their surface properties, thermal decomposition, additives leaching and interactions in simulated fluids. *Science of The Total Environment*. 714, 136-862.
- 31- Maity, S and Pramanick, K. (2020). Perspectives and challenges of micro/nano plastics induced toxicity with special reference to phytotoxicity. *Global Change Biology*. 26, 3241-3250.
- 32- Mao, R., Lang, M., Yu, X., Wu, R., Yang, X., Guo, X. (2020). Aging mechanism of microplastics with UV irradiation and its effects on the adsorption of heavy metals. *Journal of Hazardous Materials*. 393, 122515.
- 33- Mattsson, K., Hansson, L.A., Cedervall, T. (2015b). Nano-plastics in the aquatic environment. *Environ. Science: Processes & Impacts* 17, 1712–1721.
- 34- Mileusnić, M., Mapani, B. S., Kamona, A. F., Ružičić, S., Mapaure, I., & Chimwamurombe, P. M. (2014). Assessment of agricultural soil contamination by potentially toxic metals dispersed from improperly disposed tailings, Kombat mine, Namibia. *Journal of Geochemical Exploration*. 144, 409–420.
- 35- Nature Nanotechnology. (2019). Nanoplastic should be better understood. 14, 299.
- 36- Ng, Ee-L., Lwanga, E.H., Eldridge, S.M. Johnston, P., Hu, H-W., Geissen, V., Chen, D. (2018). An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems. *Science of the Total Environment*. 627, 1377- 1388.
- 37- Pico, Y., Alfarhan, A., Barcelo, D. (2019). Nano and microplastic analysis: focus on their occurrence in freshwater ecosystems and remediation technologies, *Trends in Analytical Chemistry*. 113, 409 425.
- 38- Piehl, S., Leibner, A., Loder, M. G. J., Dris, R., Bogner, C., & Laforsch, C. (2018). Identification and quantification of macro- and microplastics on an agricultural farmland. *Scientific Reports*, 8, 17950.
- 39- Plastic Europe, Plastics – the Facts (2018). An analysis of European plastics production, demand and waste Data.
- 40- Pohlmann, A.R., Fonseca, F.N., Paese, K., Detoni, C.B., Coradini, K., Beck, R.C., et al. (2013). Poly ( $\epsilon$ -caprolactone) microcapsules and nanocapsules in drug delivery. *Expert Opinion on Drug Delivery*. 10, 623–638.
- 41- Qi, Y., Ossowicki, A., Yang, X., Huerta Lwanga, E., Dini-Andreote, F., Geissen, V., Garbeva, P. (2020). Effects of plastic mulch film residues on wheat rhizosphere and soil properties. *Journal of Hazardous Materials*. 387, 121711.
- 42- Qiao, R.X., Sheng, C., Lu, Y.F., Zhang, Y., Ren, H.Q., Lemos, B. (2019). Microplastics induce intestinal inflammation, oxidative stress and disorders of metabolome and microbiome in zebrafish. *Science of total environment*. 662, 246-253.
- 43- Rajalingam, P., Sharpe, J., Baker, W. E. (1993). *Rubber Chemistry and Technology*. 66, 647-664.



- 44- Ren, Z., Gui, X., Xu, X., Zhao, L., Qiu, H., Cao, X. (2021). Microplastics in the soil-groundwater environment: Aging, migration, and co-transport of contaminants – A critical review. *Journal of Hazardous Materials*. 419, 126455.
- 45- Rillig, Matthias C. (2012). Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? *Environmental Science & Technology*. 46, 6453-6454.
- 46- Rillig, M.C., Ziersch, L., Hempel, S. (2017). Microplastic transport in soil by earthworms. *Scientific Reports*. 7, 1362.
- 47- Rilling, M., Lemhmann, A. (2020). Microplastic in terrestrial ecosystems. *Science*. 368, 1430-1431.
- 48- Shen, M., Zhang, Y., Zhu, Y., Song, B., Zeng, G., Hu, D., Wen, X., Ren, X. (2019). Recent advances in toxicological research of nanoplastics in the environment: a review. *Environmental Pollution*. 252, 511-521.
- 49- Song, Y. K., Hong, S. H., Jang, M., Han, G. M., Jung, S. W., & Shim, W. J. (2017). Combined effects of UV exposure duration and mechanical abrasion on microplastic fragmentation by polymer type. *Environmental Science & Technology*, 51, 4368-4376.
- 50- Teuten, E.L., Saquing, J.M., Knappe, D.R.U., Barlaz, M.A., Jonsson, S., Björn, A., Rowland, S.J., Thompson, R.C., Galloway, T.S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Viet, P.H., Tana, T.S., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M.P., Akkhang, K., Ogata, Y., Hirai, H., Iwasa, S., Mizukawa, K., Hagino, Y., Imamura, A., Saha, M., Takada, H. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philos. Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*. 364, 2027–2045.
- 51- Tourinho, P. S., Kočí, V., Loureiro, S., Van, G., and Cornelis, A.M. (2019). Partitioning of chemical contaminants to microplastics: Sorption mechanisms, environmental distribution and effects on toxicity and bioaccumulation. *Environmental Pollution*. 252, 1246-1256.
- 52- Torres, M.F., Gonz´alez, J.M., Rojas, M.R., Müller, A.J., S´aez, A.E., L´of, D., Schill´en, K. (2007). Effect of ionic strength on the rheological behavior of aqueous cetyltrimethylammonium p-toluene sulfonate solutions. *The Journal of Colloid and Interface Science*. 307, 221–228.
- 53- Walker, C.H., R.M. Sibly, S.P. Hopkin, D.B.P., (2012). In: Principles of Ecotoxicology; Group, T. And F., Ed.; 4th Edition, CRC Press.
- 54- Wang, W.; Wang, J. (2017). Different partition of polycyclic aromatic hydrocarbon on environmental particulates in freshwater: Microplastics in comparison to natural sediment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*., 147, 648-655.
- 55- Wang, J., Liu, X., Li, Y., Powell, T., Wang, X., Wang, G., Zhang, P. (2019). Microplastics a contaminant in soil environment: a mini-review. *Science of total environment*. 691, 848-857.
- 56- Wang, F., Zhang, X., Zhang, S., Zhang, S., Sun, Y. (2020). Interactions of microplastics and cadmium on plant growth and arbuscular mycorrhizal fungal communities in an agricultural soil. *Chemosphere*. 254, 126791.
- 57- Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental Pollution*., 178, 483-492.
- 58- Xu, B., Liu, F., Brookes, P.C., Xu, J. (2018b). Microplastics play a minor role in tetra- cycline sorption in the presence of dissolved organic matter. *Environmental Pollution*. 240, 87e94.
- 59- Xu, C., Zhang, B., Gu, C., Shen, C., Yin, S., Aamir, M., Li, F. (2020). Are we underestimating the sources of microplastic pollution in terrestrial environment?. *Journal of Hazardous Materials*. 400, 123228.
- 60- Xu. B., Liu. F., Cryder. Z., Huang. D., Lu. Z., He. Y., Wang. H., Lu. Z., Brookes. P. C., Tang. C., Gan. J., Xu. J. (2019). Microplastics in the soil environment: Occurrence, risks, interactions and fate – A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 5021. 2175-2222.
- 61- Yang, X., Bento, C.P., Chen, H., Zhang, H., Xue, S., Lwanga, E.H., et al. (2018). Influence of microplastic addition on glyphosate decay and soil microbial activities in Chinese loess soil. *Environmental Pollution*. 242, 338-347.
- 62- Yu, Q., Hu, X., Yang, B., Zhang, G., Wang, J., Ling, W. (2020). Distribution, abundance and risks of microplastics in the environment. *Chemosphere* 249, 126059.
- 63- Yu, F., Yang, CH., Huang, G., Zhou, T., Zhao, Y and Ma, J. (2020). Interfacial interaction between diverse microplastics and tetracycline by adsorption in an aqueous solution. *Science of the Total Environment*. 721, 137-729.
- 64- Yu, H., Hou, J., Dang, Q., Cui, D., Xi, B., Tan, W. (2020). Decrease in bioavailability of soil heavy metals caused by the presence of microplastics varies across aggregate levels. *Journal of Hazardous Materials*. 395, 122-690.
- 65- Zang, H., Zhou, J., Marshall, M.R., Chadwick, D.R., Wen, Y., Jones, D.L. (2020). Microplastics in the agroecosystem: are they an emerging threat to the plant-soil system? *Soil Biology & Biochemistry*. 148, 107926.



- 66- Zhao, T., Lozano, Y. M., Rillig, M. C. (2021). Microplastics Increase Soil pH and Decrease Microbial Activities as a Function of Microplastic Shape, Polymer Type, and Exposure Time. *Frontiers in Environmental Science*. 9, 1-14.
- 67- Zhou, J., Gui, H., Banfield, C.C., Wen, Y., Zang, H.D., Dippold, M.A., Charlton, A., Jones, D.L. (2021). The microplastisphere: biodegradable microplastics addition alters soil microbial community structure and function. *Soil Biology & Biochemistry*. 156, 108211.
- 68- Zhu, F., Zhu, C., Wang, C., Gu, C. (2019). Occurrence and ecological impacts of microplastics in soil systems: a review. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 102, 741- 749.

### Micro/Nanoplastics, Emerging Pollutants in Soils

Amir Fotovat<sup>1</sup>, Samaneh Abduolahimi<sup>2</sup>, Zahra Choubineh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad ([afotovat@um.ac.ir](mailto:afotovat@um.ac.ir))

<sup>2</sup>PhD Students, Department of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad

<sup>3</sup>M.Sc. Students, Department of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad

#### Abstract

The entry of various pollutants into the environment from various sources has negative consequences on human, plant, animal and ecological health. With the development of the polymer industry and plastic products, as well as their improper disposal and recycling, remarkable problems have occurred for the environment. Microplastics (<5 mm) and nanoplastics (1-100 nm) are known as emerging pollutants and are considered as one of the most important environmental challenges. These plastic particles enter the soil ecosystems through a variety of sources, including application of sewage sludge, organic fertilizers, plastic mulch, atmospheric deposition and improper waste management affecting the physical, biological, and chemical properties of soils. The aim of this article is to review the literature on the formation and sources of micro/nanoplastic particles of the environment, as well as their interactions with environmental components. Challenges related to nanomicro/noplastics research will also be addressed.

**Keywords:** Environment, Microplastics, Nanoplastics