19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه 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

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

فراوانی و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها در خاک‌های شهری اصفهان

مریم روغنی[1*]، مهران شیروانی[2]

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان؛ * m.roghani@ag.iut.ac.ir
۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

میکروپلا ستیک‌ها عموماً به عنوان ذرات پلا ستیکی با اندازه کمتر از پنج میلی‌متر تعریف می شوند. ورود این ذرات به محیط زی ست از منابع گوناگون باعث پیامدهای منفی بر سلامت ان سان، گیاه، حیوان و زی ست‌بوم می‌گردد. علی رغم اهمیت آمار و اطلاعات در مورد فراوانی میکروپلاستیک‌ها در خاک‌ها، اطلاعات کمی در این مورد در دنیا و بویژه در ایران وجود دارد. بنابراین این تحقیق با هدف تعیین تعداد و انواع ذرات میکروپلاستیک در خاک‌های شهر اصفهان انجام گردید. نقاط نمونه برداری خاک با استفاده از نقشه شهر اصفهان در پنج کاربری مختلف شامل تفریحی، مسکونی، تجاری، کشاورزی و صنعتی تعیین و نمونه‌برداری خاک از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری انجام شد. نوع پلیمر تشکیل دهنده برخی نمونه ها توسط میکروسکوپ رامان تعیین گردید. نتایج نشان داد ذرات میکروپلاستیک در تمام نمونه‌های خاک وجود داشته و دامنه فراوانی آن‌ها از ۱۷۸ تا ۸۶۳۵ ذره در هرکیلوگرم خاک متغیر است. بیشترین فراوانی میکروپلاستیک‌ها مربوط به مناطق تجاری و پس از آن مناطق مسکونی، تفریحی، صنعتی و کشاورزی بود. بیشتر میکروپلاستیک‌های یافت شده اندازه کمتر از ۰/۵ میلی‌متر، عمدتا قطعه‌ای و فیبری و به رنگ قهوه‌ای بودند. پلیمرهای پلی‌اتیلن، پلی‌آمید، پلی‌پروپیلن و پلی‌وینیل‌کلرید توسط طیف‌سنج رامان در نمونه‌های منتخب شناسایی شدند. نتایج این تحقیق اطلاعات مفیدی در اختیار پژوهشگران و مدیران برای بررسی آثار زیست محیطی و روش‌های کنترل ورود این آلاینده‌های نوظهور قرار می‌دهد.

واژگان کلیدی: آلاینده های نوظهور، ترکیبات پلیمری، سلامت خاک، طیف‌سنج رامان

مقدمه

با توجه به افزایش تقا ضا برای پلا ستیک‌ها در بخش‌های مختلف شهری، صنعتی و ک شاورزی تولید جهانی پلا ستیک‌ها بطور چشمگیری افزایش یافته است. برآورد شده که حدود ۲۲ درصد از این پلاستیک‌ها به طور نادرست دفع شده و تهدیدی بزرگ برای اکو سیستم‌ها محسوب می شوند. این پلا ستیک‌ها تحت تأثیر امواج فرا بنفش نور خور شید، گرما، اکسیدا سیون، خوردگی فیزیکی و تخریب میکروبی در محیط متلا شی شده و ذرات پلا ستیکی کوچک‌تری به نام میکروپلا ستیک[1] (MPs) را ت شکیل می‌دهند. اصطلاح میکروپلاستیک اولین بار توسط تامپسون و همکاران در سال ۲۰۰۴ برای توصیف ذرات پلاستیکی بسیار ریز در منابع آبی و ر سوبات ارائه شد. با تو سعه بی شتر طبقه بندی اندازه ذرات پلا ستیک، آرتور و بیکر (۲۰۰۹) ذرات پلا ستیکی کوچکتر از ۵ میلی متر را به عنوان میکروپلاستیک تعریف کردند (۵). میکروپلاستیک‌ها هم از نظر علمی و هم از نظر اجتماعی توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند و حقایق بیشتری درباره آن‌ها در حال بررسی است. بر همین اساس، برنامه محیط‌زیست

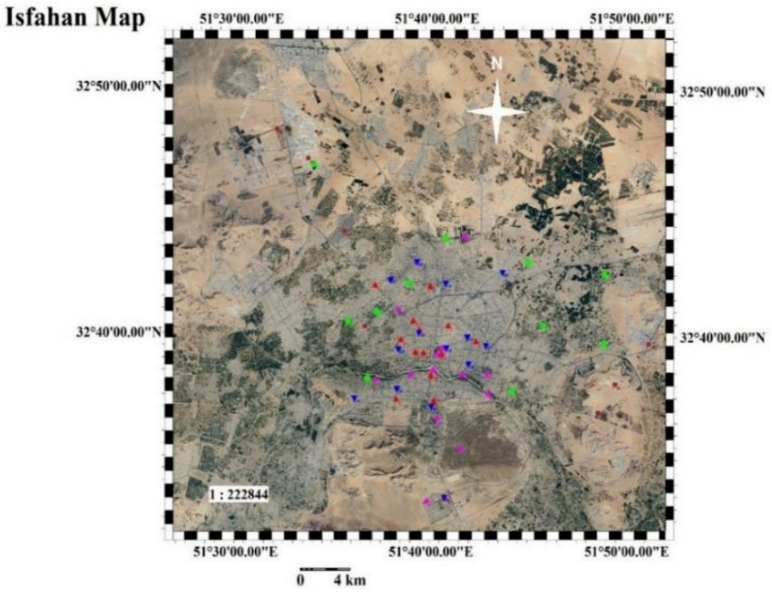
1 - Microplastics

سازمان ملل متحد[۲] (UNEP) میکروپلاستیک‌ها را در لیست ۱۰ آلاینده مشکل ساز برای محیط زیست در نظر گرفته است (۴). درحالی که مطالعات گذشته عمدتا به توزیع MPs در محیط‌های آب شیرین و دریایی معطوف بوده، توجه کمتری به بررسی حضور و آثار این ذرات در خاک‌ها شده است (۵). با این وجود، در سال‌های اخیر حضور MPs در خاک‌ها به طور فزاینده‌ای توجه دانشمندان را به خود جلب کرده‌اند (۳). تخمین زده شده ورودی سالانه MPs به خاک‌های کشاورزی بسیار بیشتر از اقیانوس‌ها بوده و بطورکلی فراوانی MPs در اکوسیستم‌های خشکی ۴ تا ۲۳ برابر اقیانوس‌ها است (۵).

ورود MPs به محیط زیست باعث پیامدهای منفی بر سلامت انسان، گیاه، حیوان و زیست‌بوم می‌گردد. این ذرات پلاستیکی از راه‌های مختلف از جمله کاربرد لجن فاضلاب، کودهای آلی، مالچ های پلاستیکی و همچنین مدیریت نامناسب زباله‌ها، به اکوسیستم های خاکی وارد می شوند و بر خصوصیات فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی خاک اثر می‌گذارند. با توجه به آثار منفی و خطرات بالقوه اکولوژیکی MPs، شناسایی فراوانی و انواع این ذرات در خاک‌های هر منطقه برای مدیریت این خاک‌ها ضروری است. در چند سال گذشته، مطالعات در مورد شناسایی MPs در خاک‌ها و تاثیر آن‌ها بر ویژگی‌های خاک و سلامت اکوسیستم از اولویت های پژوهشی کشور های مختلف بوده است. با این وجود، تاکنون تحقیقات اندکی درباره حضور و فراوانی و ویژگی‌های MPs در خاک‌های ایران انجام شده است. بویژه هیچ مطالعه‌ای درمورد پراکنش MPs در خاک‌های شهری اصفهان انجام نشده است. اطلاعات حاصل از این مطالعه می‌تواند در ارزیابی خطر MPs در شرایط موجود و نحوه مدیریت این آلاینده‌ها در آینده حائز اهمیت باشد.

مواد و روش‌ها

با استفاده از نقشه شهر اصفهان نقاط نمونه برداری خاک در پنج کاربری مختلف شامل پارک و مراکز تفریحی، مسکونی، تجاری، کشاورزی و صنعتی و از هر نوع کاربری حدود ۱۲ نقطه تعیین شد (شکل ۱).



2 - United Nations Environment Programmer

شکل ۱- نقشه مکان های نمونه برداری از خاک در محدوده شهر اصفهان

نمونه برداری خاک‌ها (مجموعا ۶۰ نقطه) از مرداد ماه تا آبان ماه ۱۴۰۲ از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری به صورت مرکب انجام شد. تمامی نمونه‌های خاک در فویل‌های آلومینیومی به طور جداگانه قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل و هوا خشک شدند. قطعات پلاستیکی بزرگ قابل مشاهده (اندازه ذرات بزرگتر از ۵ میلی‌متر) و سایر ناخالصی‌ها از نمونه‌های خاک حذف و نمونه‌های خاک در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد در آون تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند. سپس نمونه‌ها از الک ۵ میلی‌متری عبور داده شدند. برای جداسازی MPs از نمونه‌های خاک از روش شناورسازی استفاده شد. بدین منظور، ۱۰ گرم از هر نمونه خاک به بشر ۱۰۰۰ میلی لیتری منتقل و مواد آلی آن با استفاده از هیدروژن پراکسید ۳۰ درصد حذف شد (۵). ۴۰ میلی لیتر آب مقطر به نمونه‌ها اضافه و به منظور آزاد سازی MPs محبوس شده در خاکدانه ها از دستگاه اولتراسونیک با انرژی ۶۰ ژول بر میلی لیتر به مدت ۱۰۰ ثانیه استفاده شد. فرآیند هضم و حذف مواد آلی خاک در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت ادامه یافت. پس از تکمیل فرآیند هضم، نمونه‌ها در ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ و مایعات رویی جمع آوری شدند. سپس، ۳۰ میلی لیتر محلول NaCl اشباع با چگالی ۱/۲ گرم بر سانتی متر مکعب به لوله‌های سانتریفیوژ اضافه و بعد از چند دقیقه تکان دادن، نمونه‌ها دوباره سانتریفیوژ شدند. این مرحله سه بار تکرار و مواد رویی در هر مرحله جمع آوری گردیدند. برای جداسازی MPs با چگالی بیشتر از ۱/۲ گرم بر سانتیمتر مکعب مرحله دوم شناورسازی بامحلول $ZnCl_2$ با چگالی ۱/۵۵ گرم بر سانتی متر مکعب انجام و این فرآیند نیز سه بار تکرار شد. به منظور جمع آوری MPs، محلول‌های رویی در هر مرحله از سانتریفیوژ از یک فیلتر غشایی عبور داده شد. در نهایت، نمونه‌ها در آون در دمای ۴۰ درجه سلسیوس خشک شدند (۷).

فیلتر غشایی حاوی MPs در زیر میکرو سکوپ نوری بازتابی با بزرگنمایی ۱۰x تا ۱۰۰x قرار داده شد. فراوانی، اندازه، رنگ و شکل ذرات میکروپلاستیک روی غشای فیلتر به صورت بصری بررسی و ثبت گردید (۵). میکروپلاستیک‌ها در چهار گروه با اندازه‌های کمتر از ۰/۵ میلی‌متر، ۱-۰/۵ میلی‌متر، ۲-۱ میلی‌متر و ۵-۲ میلی‌متر شمارش شدند (۶). میکروپلاستیک‌ها براساس شکل در چهار گروه فیبر، فیلم، قطعه و کره طبقه بندی شدند. برای شناسایی نوع پلیمر موجود در میکروپلاستیک‌ها، با دستگاه طیف سنج رامان مدل تکرام دو SRM، شرکت سازنده تکسان، طیف بدست آمده از هر ذره میکروپلاستیک‌ها با طیف‌های استاندارد موجود در منابع برای تعیین نوع پلیمر سازنده آن مقایسه شد (۵). نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel 2016 و نقشه‌ها با نرم افزار ایلویس و ArcGIS رسم شدند.

نتایج و بحث

۳-۱- فراوانی میکروپلاستیک‌ها در خاک

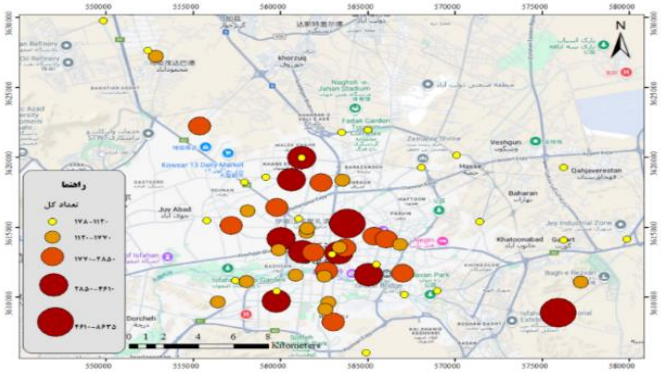
نتایج نشان داد که ذرات میکروپلاستیک در تمام نمونه‌های خاک مورد بررسی وجود داشته و دامنه فراوانی آن‌ها از ۱۷۸ تا ۸۶۳۵ ذره در هرکیلوگرم خاک متغیر است. میانگین فراوانی MPs در خاک‌های شهری در مناطق با کاربری مختلف در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- میانگین میکروپلاستیک‌ها در خاک مناطق مختلف شهر اصفهان

کاربری	میانگین تعداد میکروپلاستیک‌ها در هر کاربری (n/kg)
تجاری	۲۷۵۱
مسکونی	۱۵۰۷

تفریحی	۱۶۳۴
کشاورزی	۱۲۴۶
صنعتی	۲۲۵۳

بیشترین تعداد میکروپلاستیک‌ها در مناطق تجاری و کمترین میانگین در زمین‌های کشاورزی تعیین گردید. بنابراین به نظر می‌رسد فعالیت‌های روزمره تجاری در مرکز شهر بیشترین عامل ورود پلاستیک‌ها به خاک هستند، اما با فاصله از مرکز شهر به دلیل جمعیت و فعالیت‌های تجاری کمتر، تعداد MPs در خاک کاهش یافت. البته در حاشیه جنوب شرقی شهر اصفهان به دلیل استقرار کارخانه بازیافت زباله بصورت موردی تعداد MPs در خاک به صورت چشمگیری افزایش یافت.



شکل۲ - نقشه فراوانی تعداد میکروپلاستیک‌ها در نقاط نمونه برداری شده

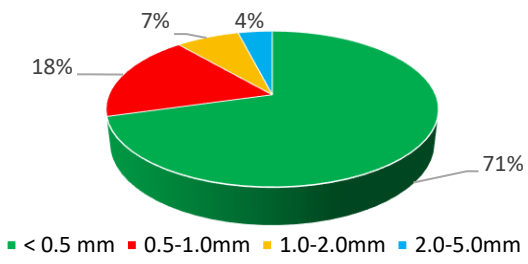
هرچند استاندارد خاصی در مورد تعداد مجاز MPs در خاک‌ها تعریف نشده است، به نظر می رسد تعداد MPs در خاک های شهری اصفهان از بسیاری از مناطق شهری گزارش شده بیشتر است. برای مثال، میانگین فراوانی MPs در خاک منطقه مسکونی مجاور لندفیل تهران در سال ۱۴۰۰در خاک سطحی و عمقی به ترتیب برابر با ۳۴/۹۸ ± ۷۶ و ۱۹/۷۹ ± ۲۴/۷ ذره برکیلوگرم خاک بود (۱). مطالعه نمونه‌های خاک در سال ۲۰۲۱ در موسسه آموزش عالی در چین نشان داد که فراوانی میکروپلاستیک‌ها در مناطق آموزشی و مسکونی این کشور به ترتیب ۱۵۰تا۷۰۰ ذره برکیلوگرم و ۵۰ تا۶۵۰ ذره برکیلوگرم است (۵). در خاک‌های کشاورزی در حومه ووهان چین فراوانی MPs به ۱۲۵۶۰ قطعه درکیلوگرم خاک رسید. زو و همکاران (۲۰۱۶) میانگین تعداد MPs را در خاک‌های منطقه ساحلی هبی، چین ۶۳۴ ذره بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند (۲).

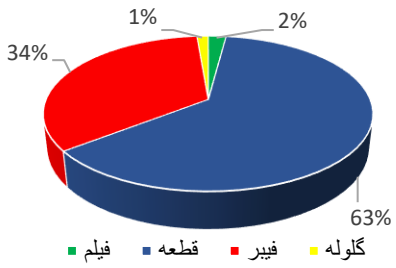
۳-۲-اندازه، شکل و رنگ میکروپلاستیک‌ها

از نظر اندازه، میکروپلاستیک‌های با اندازه کوچکتر از ۰/۵ میلی‌متر بیشترین فراوانی را در خاک های اصفهان داشته و ۷۰/۵۹ درصد از کل ذرات را تشکیل دادند (شکل ۳) که نشان دهنده تاثیر شدید و درازمدت عوامل فیزیکی و شیمیایی در خرد کردن ذرات در شت تر پلاستیکی است. میکروپلاستیک‌ها با اندازه‌های ۱-۰/۵ میلی‌متر ۱۸/۰۸ در صد، ذرات ۲-۱ میلی‌متر ۷/۳۶ درصد و ۵-۲ میلی‌متر ۳/۹۷ در صد از میکروپلاستیک‌ها را شامل شدند. در مناطق آموزشی و مسکونی در چین نیز MPs کوچکتر از ۰/۵ میلی‌متر بزرگترین بخش (۶۴/۳ درصد) از کل MPs را تشکیل دادند (۵). در خاک‌های کشاورزی استان شانشی در شمال غربی چین بیشترین فراوانی اندازه ذرات (۸۱ درصد) مربوط به محدوده ۰/۵-۰ میلی متر بود (۳).

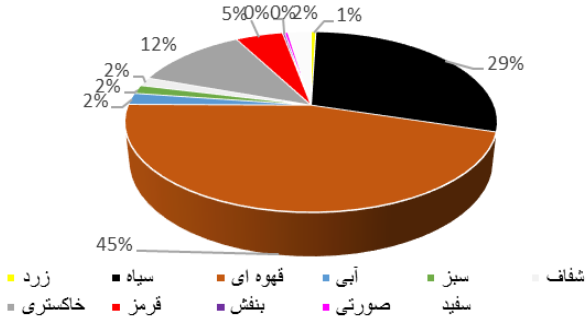
از نظر شکل، میکروپلا ستیک‌های قطعه‌ای و فیبری تقریبا در همه مکان‌های نمونه‌برداری غالب بودند (شکل ۳) که با گزارشات ارائه شده در سایر مطالعات همخوانی دارد. در مناطق مسکونی و مراکز آموزشی چین نیز MPs فیبری و قطعه‌ای (به ترتیب با فراوانی ۳۱/۵ و ۳۳/۳ درصد) در نمونه‌های خاک شایع‌تر بودند. منشا میکروپلاستیک‌های فیبری در مناطق مسکونی عمدتا الیاف آزاد شده از منسوجات مورد استفاده توسط ساکنان است. به طور معمول، شستن یک تکه پارچه می‌تواند ۱۹۰۰ الیاف را در آب آزاد نماید ولی میکروپلاستیک های به شکل قطعه‌ای عموماً در مناطق تفریحی فراوان‌تر بودند (۵). میکروپلاستیک‌های قطعه‌ای ممکن است از خرد و متلاشی شدن تدریجی ضایعات پلاستیکی رها شده در شهر مانند وسایل و ابزار مستهلک، بسته بندی پلاستیکی مواد و کیسه های پلاستیکی به وجود بیایند (۳).

در خاک های مورد مطالعه، میکروپلاستیک های قهوه‌ای بیشترین فراوانی را داشته و ۴۵/۴۴ درصد از کل میکروپلاستیک ها را تشکیل دادند، میکروپلاستیک‌های سیاه دومین فراوانی با ۲۹/۲۴ درصد و پس از آن به ترتیب خاکستری (۱۱/۷۹ درصد)، قرمز (۴/۹۰ درصد)، سفید (۲/۴۲ درصد)، آبی (۲/۰۸ درصد)، شفاف (۱/۵۸ درصد)، سبز (۱/۵۶ درصد)، زرد (۰/۴۹ درصد)، صورتی (۰/۳۳ درصد)، بنفش (۰/۲۳ درصد) قرار گرفتند (شکل ۳). فراوانی زیاد میکروپلاستیک‌های قهوه‌ای و سیاه در خاک‌های شهری ا صفهان ن شان دادند که عمدتا به دلیل تغییرات شیمیایی سطحی و پیوند شدن ترکیبات آلی و اکسیدهای آهن با میکروپلاستیک های شفاف طی زمان می‌باشد. در مناطق شهری چین نیز میکروپلاستیک‌های سیاه (۳۶/۴ درصد) فراوان‌ترین رنگ مشاهده شده در MPs بود (۵).





الف ب

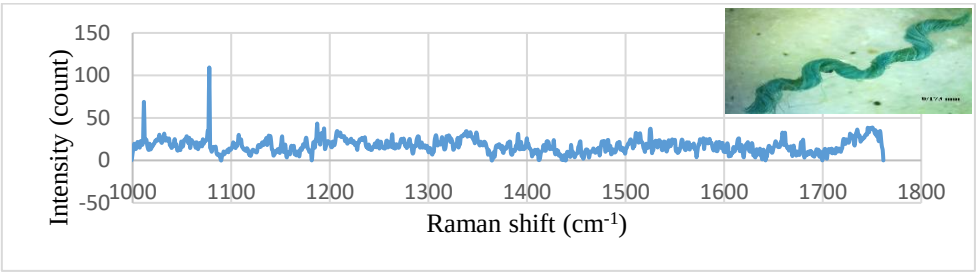


ج

شکل ۳- درصد فراوانی میکروپلاستیک‌ها در خاک‌های شهر اصفهان از نظر الف) اشکال، ب) اندازه ذرات، ج) رنگ

۳-۳- جنس میکروپلاستیک‌ها

بر اساس مقایسه طیف‌های رامان به دست آمده برای نمونه‌های میکروپلاستیک انتخاب شده از نقاط نمونه برداری محتمل‌ترین مطابقت را با پلیمرهای پلی‌اتیلن، پلی‌آمید، پلی‌اتیلن، پلی‌آمید، پلی‌پروپیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌وینیل‌کلرید داشتند. طیف رامان بدست آمده برای یک قطعه میکروپلاستیک فیبری به عنوان نمونه در شکل ۴ نشان داده شده است. ذرات PE و PP معمولا بیشترین فراوانی را در خاک‌ها دارند. آنالیز FTIR میکروپلاستیک‌ها در خاک منطقه مسکونی مجاور لندفیل تهران نشان داد که میکروپلاستیک‌ها غالبا از جنس پلی‌استایرن، پلی‌اتیلن ترفتالات، پلی‌آمید، پلی‌پروپیلن و پلی‌وینیل‌کلرید بوده است. میکروپلاستیک‌ها در منطقه مسکونی مجاور لندفیل تهران از تنوع پلیمری بالاتری نسبت به سایر مناطق برخوردار بوده است (۱). در زمین‌های کشاورزی در استان سین‌کیانگ چین، MPs غالبا ناشی از مالچ‌های پلاستیکی پلی‌اتیلنی بودند (۲). آفرین و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی نوع MPs در خاک‌های یک منطقه مسکونی نزدیک به لندفیل بنگلادش پرداختند و گزارش نمودند بیشترین ترکیب پلیمری مربوط به پلی اتیلن با چگالی کم و زیاد و استات سلولز بود (۱).



شکل ۴- پلیمر پلی‌آمید در یک نمونه میکروپلاستیک فیبری شناسایی شده توسط دستگاه میکروسکوپ رامان

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تعداد، شکل، اندازه، رنگ و جنس میکروپلاستیک‌های خاک در کاربری‌های مختلف شهر اصفهان ارزیابی شد. ذرات میکروپلاستیک در تمام نمونه‌های خاک مورد بررسی وجود داشت اما بیشترین فراوانی میکروپلاستیک‌ها مربوط به

مناطق تجاری و پس از آن مناطق مسکونی، تفریحی، صنعتی و کشاورزی بود. پایش تعداد و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها دراین خاک‌ها می‌تواند به محققین برای درک بهتر منشا، رفتار و پیامدهای اکولوژیکی میکروپلاستیک‌ها و به مدیران برای ارزیابی وضعیت موجود و تصویب و اجرای قوانین برای کنترل آلودگی میکروپلاستیک‌ها در محیط‌زیست کمک نماید.

فهرست منابع

۱- قربانی نژاد فرد، م. شکوهیان، س. موسوی، غ. حیدری، م. ۱۴۰۱. تعیین فراوانی و ریسک اکولوژیک میکروپلاستیک و مزوپلاستیک‌های موجود در خاک منطقه مسکونی مجاور لندفیل تهران در سال ۱۴۰۰. مجله سلامت و محیط زیست ۱۵: ۷۲-۴۹.

۲- کریمی، ش. کلاه چی، ز. ۲۰۲۳. مروری بر منابع ورودی میکروپلاستیک به خاک و اثرات آن بر سلامت خاک. مدیریت اراضی. ۱۱: ۲۶۳-۲۴۹.

3- Ding, L., Zhang, S., Wang, X., Yang, X., Zhang, C., Qi, Y. and Guo, X. 2020. The occurrence and distribution characteristics of microplastics in the agricultural soils of Shaanxi Province, in north-western China. Sci.Total Environ. 720, 137525.

4- Tafvizi, M., Babaakbari, M., and Delavar, M. A. 2021. Effect of low-density polyethylene microplastic particles on some biological properties and enzymatic activity in a calcareous soil. Iran. J. Soil Water Res. 52: 1287-1297.

5- Tang, K. H. D., and Luo, Y. 2023. Abundance and characteristics of microplastics in the soil of a Higher Education Institution in China. Trop. Aquat. Soil Pollut.3, 1-14.

6- Yu, L., Zhang, J., Liu, Y., Chen, L., Tao, S and Liu, W. 2021. Distribution characteristics of microplastics in agricultural soils from the largest vegetable production base in China. Sci. Total Environ.756: 143860.

7- Zhou, Y., Liu, X., and Wang, J. 2019. Characterization of microplastics and the association of heavy metals with microplastics in suburban soil of central China. Sci. Total Environ. 694, 133798.

چکیده انگلیسی

Abundance and characteristics of microplastics in urban soils of Isfahan

Maryam Roghani, Ph.D. Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

Mehran Shirvani, Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

Abstract

The contamination of soil resources with microplastics and their associated environmental risks has recently become a global concern. Microplastics are generally defined as plastic particles smaller than five millimeters in size. The entry of these particles into the environment from various sources causes negative consequences for human, plant, animal, and ecosystem health. Despite the importance of data and information on the abundance and characteristics of microplastics in soils, little information is available worldwide, especially in Iran. Therefore, this research was conducted with the aim of determining the number and types of microplastic particles in the urban soils of Isfahan city. Soil sampling points were determined in five different land uses, including recreational, residential, commercial, agricultural, and industrial, and composite soil sampling was performed from a depth of 0 to 10 cm. Microplastics were separated from soil samples by the floatation method and counted and characterized using an optical microscope. The polymer type of some microplastics was determined by a Raman

microscope. The results showed that microplastic particles were present in all soil samples, and their abundance ranged from 178 to 8635 particles kg^{-1} soil. The highest abundance of microplastics was related to commercial areas, followed by residential, recreational, industrial, and agricultural areas. Most of the microplastics found were smaller than 0.5 mm, mainly fragmented and fibrous, and brown in color. Polyethylene, polyamide, polypropylene, and polyvinyl chloride polymers were identified by Raman spectroscopy in selected microplastic samples. The results of this research can provide useful information to researchers and managers for investigating the environmental effects and methods of controlling the entry of these emerging pollutants.
Keywords: Emerging contaminants, Polymeric compounds, Soil healt