مجله دانشکده علوم پزشکی ساوه مقاله پژوهشی
۱۴۰۴، دوره ۱، شماره ۲

بررسی حضور میکروپلاستیک‌ها در خاک مناطق مختلف شهر کرمانشاه؛ کمیت و کیفیت میکروپلاستیک‌ها و ارزیابی ریسک

مریم احمدی[۱]، فرید آزادی[۱]، هیوا حسینی[۲]، منیره نوری[۱]، هوشیار حسینی[۲*]

۱.کمیته تحقیقات دانشجویی دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
۲.گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱ تاریخ انتشار : ۱۴۰۴/۰۶/۳۱

چکیده

مقدمه: میکروپلاستیک‌ها به‌عنوان آلاینده‌های نوظهور، بر اکوسیستم‌های خاکی تأثیر می‌گذارند و ممکن است سلامت انسان را به‌طور جدی به‌خطر اندازند. این مطالعه با هدف شناسایی و بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی میکروپلاستیک‌ها در خاک مناطق مختلف شهر کرمانشاه، و همچنین ارزیابی ریسک‌های اکولوژیکی و انسانی انجام شد.

روش: نمونه‌برداری خاک از ۱۰ نقطه به‌صورت تصادفی در شهر کرمانشاه انجام شد. این مطالعه توصیفی - مقطعی از روش استخراج با محلول اشباع کلرید سدیم و تحلیل میکروسکوپی برای تعیین ویژگی‌های بصری شامل شکل، رنگ و اندازه استفاده کرد. ارزیابی ریسک اکولوژیکی با استفاده از شاخص تجمع زمینی (Igeo) و شاخص بار آلودگی (PLI) و ارزیابی ریسک انسانی با محاسبه دوز مواجهه روزانه تخمینی (EDI) انجام شد.

یافته‌ها: میانگین فراوانی میکروپلاستیک‌ها در خاک ۲۶/۰۱ ذره در هر کیلوگرم خاک خشک بود. فیبرها با ۶۱/۵۴ درصد، رنگ مشکی با ۵۳/۸۵ درصد و ذرات با اندازه کمتر از ۵۰۰ میکرومتر بیشترین فراوانی را در میان میکروپلاستیک ها داشتند. نتایج نشان داد که منطقه الهیه (با کاربری مسکونی) بیشترین سطح آلودگی را داشت و شاخص PLI برابر با ۲/۶۵ محاسبه شد که نشان‌دهنده سطح خطرناک آلودگی (رده IV) است.

نتیجه‌گیری: میکروپلاستیک‌ها به‌طور قابل‌توجهی در خاک‌های شهر کرمانشاه شناسایی شدند و این آلودگی می‌تواند بر کیفیت خاک و سلامت انسان تأثیر منفی بگذارد. بنابراین، بهبود مدیریت پسماند و اجرای راهکارهای مؤثر برای کاهش آلودگی میکروپلاستیک در اولویت قرار دارد.

کلیدواژه: میکروپلاستیک، آلودگی خاک، ریسک اکولوژیکی، مواجهه انسانی

*نویسنده مسئول: هوشیار حسینی، ایمیل: hoo.hosseini@gmail.com

ارجاع: حسینی,هوشیار,احمدی,مریم,آزادی,فرید,حسینی,هیوا,نوری,منیره. بررسی حضور میکروپلاستیک‌ها در خاک مناطق مختلف شهر کرمانشاه؛ کمیت و کیفیت میکروپلاستیک‌ها و ارزیابی ریسک .*مجله دانشکده علوم پزشکی ساوه* ;1404 1(2): e229927. doi: 10.22034/jsavehums.2025.547503.1059

مقدمه

پلاستیک‌ها و محصولات آن به دلیل دوام بالا، اقتصادی بودن، رعایت مسائل بهداشتی و سهولت پردازش به طور گسترده در صنایع مختلف از جمله بسته‌بندی، ساختمان، تولید مواد بهداشتی، قطعات خودرو، کالاهای خانگی و مواد کشاورزی استفاده می‌شوند. آن‌ها متناسب با کاربرد مورد نظر، طراحی و تولید می‌شوند(۱). تولید جهانی پلاستیک در سال ۲۰۲۲ تقریبا ۴۰۰/۳ میلیون تن ثبت شده است(۲). باتوجه به تولید گسترده پلاستیک و ضعف در مدیریت و دفع زباله‌های پلاستیکی، آلودگی پلاستیکی به وضوح در همه‌جا مشاهده می‌شود و اثرات منفی بر اکوسیستم‌ها به‌جا می‌گذارد(۳, ۴). اصطلاح "میکروپلاستیک" اولین بار توسط تامپسون و همکاران ارائه شد(۵, ۶). میکروپلاستیک‌ها ذرات با اندازه های بین ۱ میکرومتر تا ۵ میلی‌متر، با منشا تولید اولیه یا ثانویه هستند(۷) که به واسطه‌ی تولید در منابع مختلف با انواع پلیمرها، رنگ‌ها، شکل‌ها و اندازه‌های متفاوت، در سراسر اکوسیستم حضور دارند(۸). میکروپلاستیک‌ها به‌طور گسترده‌ای در اقیانوس‌ها، رودخانه‌ها، آب‌های زیرزمینی، رسوبات و محیط‌های خاک، فاضلاب‌ها و حتی هوایی که تنفس می کنیم، یافت می‌شوند(۹, ۱۰). خاک‌های شهری در معرض آلودگی میکروپلاستیک از طریق فعالیت‌های مختلف انسانی مانند ساخت‌وساز، ترافیک و مدیریت ناکارآمد پسماند و سایر موارد هستند(۱۱). یکی از مسیرهای ورود میکروپلاستیک‌ها به خاک‌های شهری، رسوب از جو به واسطه‌ی منابعی مانند سایش تایر وسایل نقلیه، سایش منسوجات، فعالیت‌های ساختمانی و فرایندهای صنعتی است(۴, ۱۲). منبع دیگر، فعالیت‌های کشاورزی/شهری است که سبب افزایش فراوانی میکروپلاستیک‌ها از طریق آبیاری با فاضلاب، استفاده از کمپوست، لجن فاضلاب یا مالچ‌پاشی می‌شوند(۱۳, ۱۴). میکروپلاستیک‌های ناشی از مالچ‌های کشاورزی می‌توانند آفت‌کش‌هایی مانند کاربندازیم[1] و مالاتیون[2] را به خود جذب کنند(۱۵). مطالعه زوبریس و ریچاردز (سال۲۰۱۸) نشان داد که خاک‌هایی که از محصولات حاصل از پردازش لجن تصفیه خانه فاضلاب شهری استفاده می‌کنند، غلظت قابل توجهی از الیاف مصنوعی در مقایسه با خاک کشاورزی که از محصولات لجن استفاده نکرده‌اند، دارند(۱۶). علاوه بر این، محل‌های دفن زباله و تخلیه فاضلاب می‌توانند سبب افزایش میکروپلاستیک‌ها در خاک محیط شوند(۳, ۴). تخمین زده شده است که سالانه حدود ۱/۵ میلیون تن میکروپلاستیک وارد خاک موجود در محیط می‌شود(۱۷) و میزان ورود زباله‌های پلاستیکی به اکوسیستم‌های خاکی سالانه بین ۴ تا ۲۳ برابر بیشتر از اقیانوس‌ها است(۱۱). پسماندهای پلاستیکی از طریق تخریب فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی به میکروپلاستیک‌ها تبدیل می‌شوند(۱). حضور میکروپلاستیک‌ها در خاک می‌تواند باعث کاهش کیفیت خاک شده و در عملکردهای زیست‌محیطی آن مانند توانایی نگهداری آب، چرخه عناصر مغذی و رشد گیاه اختلال ایجاد کنند(۱۲, ۱۸). همچنین به دلیل سطح ویژه‌ای که دارند می‌توانند به عنوان حامل آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین عمل کرده و جذب آن‌ها را افزایش دهند(۱۱).

میکروپلاستیک‌ها می‌توانند از طریق نفوذ به خاک وارد منابع آب زیرزمینی شوند و در نهایت از طریق زنجیره غذایی به بدن انسان منتقل شوند و به عنوان ناقل آلاینده‌ها عمل کنند(۱۹-۲۲). مطالعات آزمایشگاهی استرس اکسیداتیو، سمیت سلولی و تغییرات در پاسخ ایمنی را در سلول‌های انسانی در مواجهه با میکرپلاستیک‌ها ثبت کرده‌اند(۲۳). مطالعات حیوانی نیز تجمع میکروپلاستیک‌ها را در ریه، قلب، کبد، کلیه، مغز، طحال، روده، رحم و تخمدان‌ها تایید کرده است(۲۴). میکروپلاستیک‌های موجود در خاک می‌توانند جذب ریشه گیاهان شده و بر روی دسترسی به نیتروژن و خصوصیات دینامیک آب اثر گذاشته و تاثیرات سوء بر رشد گیاهان داشته باشند (۲۵, ۲۶). مطالعه پیگناتلی و همکاران(سال۲۰۲۰) نشان داد که مواجهه مزمن با پلی‌پروپیلن[3] و پلی‌اتیلن[4] بر

[1] Carbendazim
[2] Malathion
[3] Polypropylene
[4] Polyethylene

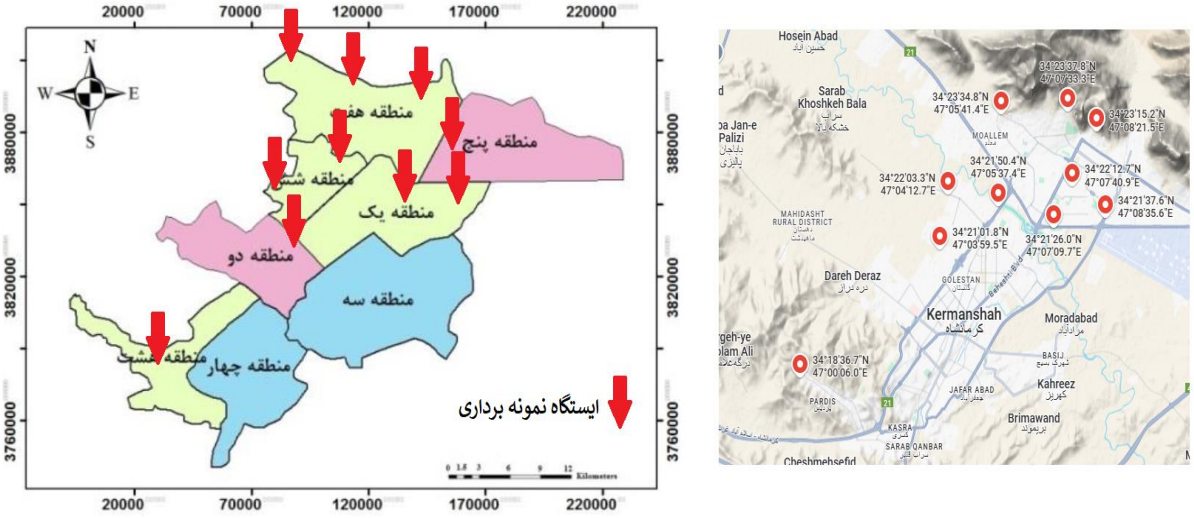
سرعت جوانه‌زنی، تعداد برگ و زیست توده تولید شده در شاهی باغچه تأثیر منفی می‌گذارد(۲۷). نتایج مطالعات آزمایشگاهی حاکی از آن است که ذرات میکروپلاستیک می‌توانند باعث اختلال در فعالیت میکروبی خاک و اثرات منفی بر رفتار و سلامت موجودات خاکی (مانند کرم‌های خاکی) شوند که در نهایت می‌تواند سبب کاهش کیفیت و باروری خاک شود(۲۸).

باتوجه‌به اهمیت آلودگی خاک به میکروپلاستیک‌ها و اثرات منفی آنها بر سلامت خاک و در نهایت سلامت انسان، این مطالعه باهدف بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی میکروپلاستیک‌های موجود در خاک مناطق مختلف شهر کرمانشاه و ارزیابی ریسک سلامت آنها انجام شد و باتوجه به اینکه تاکنون پژوهشی بر روی سطح آلودگی میکروپلاستیک‌ها در محیط خاک شهر کرمانشاه صورت نگرفته است، نتایج این مطالعه می‌تواند به اتخاذ و توسعه راهکارهای مدیریتی مؤثر کمک کند.

روش

منطقه مطالعه و جمع‌آوری نمونه

محدوده مطالعه شهر کرمانشاه بود و ۱۰ نقطه مختلف شهر به‌صورت تصادفی انتخاب و نمونه برداری شدند. مختصات جغرافیایی نقاط نمونه برداری توسط سامانه موقعیت‌یاب جهانی(GPS)ثبت گردید که در شکل ۱ آورده شده‌اند. این نقاط با توجه به تمرکز فعالیت‌های کارگاهی، تفریحی و مواصلاتی انتخاب شدند.



شکل ۱. مختصات نقاط نمونه برداری

نمونه‌ها در نقاط مشخص شده از ۳۰ سانتی‌متر فوقانی خاک جمع آوری شدند(۱۲). به هنگام نمونه‌برداری و حمل ونقل از هیچ تجهیزات پلاستیکی استفاده نشد. نمونه‌ها (حجم هر نمونه ۱ کیلوگرم)، توسط بیل استیل جمع‌آوری و در ظروف شیشه‌ای قرار گرفتند و جهت آنالیز به آزمایشگاه منتقل شدند(۲۶).

کنترل کیفیت

برای جلوگیری از آلودگی ثانویه نمونه‌ها و کاهش خطای آزمایش، اطمینان حاصل شد که تمام سطوح و تجهیزات آزمایشگاهی تمیز و استریل شده نگه داشته شده‌اند. برای به‌حداقل‌رساندن جریان هوا در آزمایشگاه، تمام درها و پنجره‌ها بسته شدند. ظروف و وسایل مورداستفاده غیر پلاستیکی (شیشه‌ای، فلزی) قبل از استفاده با آب مقطر شستشو داده شده و خشک شدند و سپس با استفاده از استریومیکروسکوپ جهت آلودگی به میکروپلاستیک بررسی شدند تا عدم وجود ذرات میکروپلاستیک تأیید شود.

استخراج میکروپلاستیک‌ها و تجزیه‌وتحلیل آن

هر یک از نمونه‌های خاک جهت همگن‌سازی ابتدا به‌صورت دستی با قاشق فلزی مخلوط شدند؛ پس از آن نمونه‌ها از الک با مش ۳۰ (دهانه‌ی چشمه‌ی توری:۶۰۰ میکرون) و مش ۴۰ (دهانه‌ی چشمه‌ی توری: ۴۲۵ میکرون) عبور داده شدند(۱۴, ۲۹). برای استخراج میکروپلاستیک از نمونه‌ها، ۱۵۰ گرم خاک وزن کرده و به ارلن شیشه ای انتقال داده شد. در زیر هود، به هر نمونه ۱۰ میلی لیتر آب مقطر و ۳۰ میلی لیتر محلول پراکسید هیدروژن (H_2O_2) ٪۳۰ به عنوان هاضم برای هضم مواد آلی و قابل هضم اضافه شد. سپس همه نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در انکوباتور شیکردار با سرعت۶۰ دور در دقیقه و در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند(۲۹, ۳۰). به منظور جداسازی میکروپلاستیک‌ها از ماتریس خاک، از جداسازی چگالی با نمک کلرید سدیم (NaCl) استفاده شد. بدین جهت به هر نمونه ۳۵ گرم نمک کلرید سدیم (با حداکثر چگالی ۱/۲ گرم برسانتی‌متر مکعب) که با ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر مخلوط شده بود، اضافه شده و به مدت ۵ دقیقه در دستگاه شیکر قرار گرفت. پس از آن به مدت ۷۲ ساعت در دمای اتاق و مکانی تاریک قرار گرفت(۲۹, ۳۰). در نهایت نمونه‌ها با استفاده از قیف بوخنر (پمپ خلا تک مرحله‌ای J/B DV-42) از فیلتر سلولزی ۰/۴۵ میکرون عبور داده شد و به پلیت‌های شیشه‌ای برچسب گذاری شده منتقل شدند(۳۱). از استریو میکروسکوپ برای شناسایی ذرات میکروپلاستیک و دسته‌بندی آن‌ها براساس شکل، رنگ، اندازه و از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM[1]) برای تعیین مورفولوژی سطح میکروپلاستیک‌ها استفاده شد(۲۹, ۳۲). تست سوزن داغ نیز در موارد مشکوک حین تشخیص میکروپلاستیک‌ها انجام شد(۳۳). از یک نمونه شاهد عاری از میکروپلاستیک نیز جهت شناسایی آلودگی ثانویه نمونه‌ها و کاهش خطای آزمایش استفاده شد(۲۶). برای تعیین اندازه میکروپلاستیک‌های جمع‌آوری‌شده، از یک روش مقایسه‌ای مبتنی بر مقیاس فیزیکی استفاده شد. ذرات میکروپلاستیک با استفاده از یک نوک سوزن استاندارد با قطر نوک ۵۰۰ میکرومتر به صورت دستی بررسی و اندازه‌گیری شدند. هر نمونه حداقل سه بار توسط دو اپراتور مستقل بررسی شد تا خطای انسانی به حداقل برسد.

ارزیابی ریسک

ارزیابی ریسک اکولوژیکی

شاخص تجمع زمینی (Igeo[2]):

$$I_{geo} = \log_2(\frac{C_i}{1.5 \times C_0}) \quad (۱)$$

که در آن، C_i فراوانی میکروپلاستیک‌ها در هر نقطه نمونه‌برداری (تعداد ذره در هر کیلوگرم) است، ضریب ۱/۵ فاکتوری برای کاهش اثر تغییرات احتمالی در مقدار پایه است. C_0 مقدار فراوانی پایه میکروپلاستیک ها (تعداد ذره در هرکیلوگرم) است که به دلیل نبود این داده، کمترین مقدار فراوانی میکروپلاستیک‌ها بعد از صفر، به عنوان مقدار پایه در نظر گرفته می‌شود(۶/۶۷ ذره در کیلوگرم)(۳۱).

شاخص بار آلودگی (PLI[3]) :

$$CF_i = \frac{C_i}{C_0}$$

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n} \quad (۲)$$

CFi شاخص آلودگی برای هر نقطه نمونه‌برداری شده است. PLI نشان‌دهنده شاخص بار آلودگی کلی برای منطقه مورد مطالعه است که در جدول ۱ معیار طبقه بندی آن آمده است. n تعداد نقاط نمونه‌برداری است(۳۱, ۳۴).

[1] Scanning electron microscope
[2] Geo-accumulation index
[3] Pollution Load Index

جدول ۱. طبقه بندی سطح خطر برای PLI

دسته‌بندی خطر	PLI
I	۰/۵ >
II	۰/۱-۵
III	۱/۲-۱
IV	۲/۳-۱
V	۳>

ارزیابی مواجهه انسانی

میزان مصرف روزانه تخمینی (EDI)[1] از طریق بلع:

$$EDI_{ingestion} = \frac{C \times AMIMP \times m_{ingestion}}{BW} \quad (۳)$$

که در آن $m_{ingestion}$ نرخ بلع خاک و گرد و غبار (میلی‌گرم در روز) است که براساس استاندارد EPA (۲۰۱۱) میانگین نرخ بلع خاک و گرد و غبار برای بزرگسالان ۵۰ و برای کودکان ۱۰۰ میلی‌گرم در روز است(۳۵). AMIMP میانگین جرم هر ذره میکروپلاستیک است که برای اندازه‌های ۱-۰ میلی‌متر (۵-۱۰×۶/۴۱ گرم بر ذره) و ۵-۱ میلی‌متر(۰/۰۱۳۹گرم بر ذره) است(۳۱). C غلظت میکروپلاستیک‌ها در خاک (ذره در هرکیلوگرم). BW وزن بدن (کیلوگرم) است که برای کودکان ۱۵ کیلوگرم و برای بزرگسالان ۶۵ کیلوگرم در نظر گرفته شد.

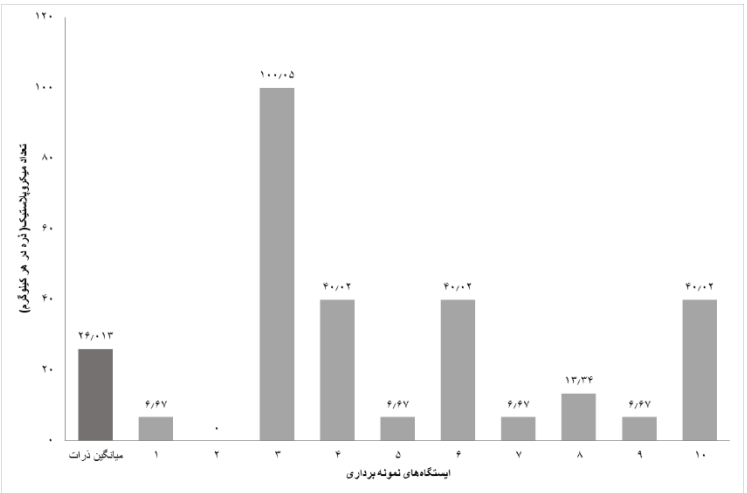
تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

برای محاسبات و رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل (۲۰۱۰) استفاده شد. همچنین ریسک اکولوژیکی و میزان مواجهه از طریق بلع برای کودکان و بزرگسال‌ها، بر اساس معادلات ارائه شده در قسمت‌های قبلی، محاسبه گشت.

یافته‌ها

فراوانی میکروپلاستیک‌ها

تعداد میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در خاک هر منطقه کرمانشاه و میانگین تعداد آنها در شکل ۲ نمایش داده شده است. میکروپلاستیک‌ها به غیر از منطقه پارک کوهستان در تمام نقاط نمونه‌برداری یافت شدند. میانگین کل فراوانی آنها در شهر کرمانشاه ۳۰/۵۶ ± ۲۶/۰۱ ذره در هر کیلوگرم خاک است. همچنین رنج فراوانی میکروپلاستیک‌ها ۱۰۰/۰۵-۰ ذره در هر کیلوگرم است که بیشترین فراوانی متعلق به نقطه نمونه برداری منطقه الهیه کاشانی بود.

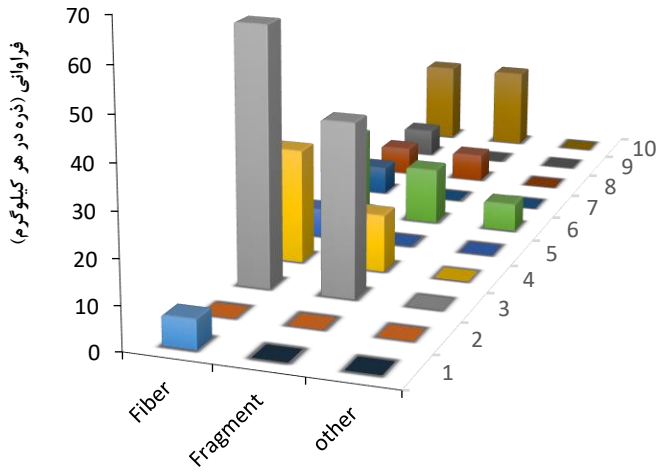


شکل۲.میزان میکروپلاستیک‌ها در نمونه‌های خاک مناطق مختلف کرمانشاه(تعداد ذره/کیلوگرم)

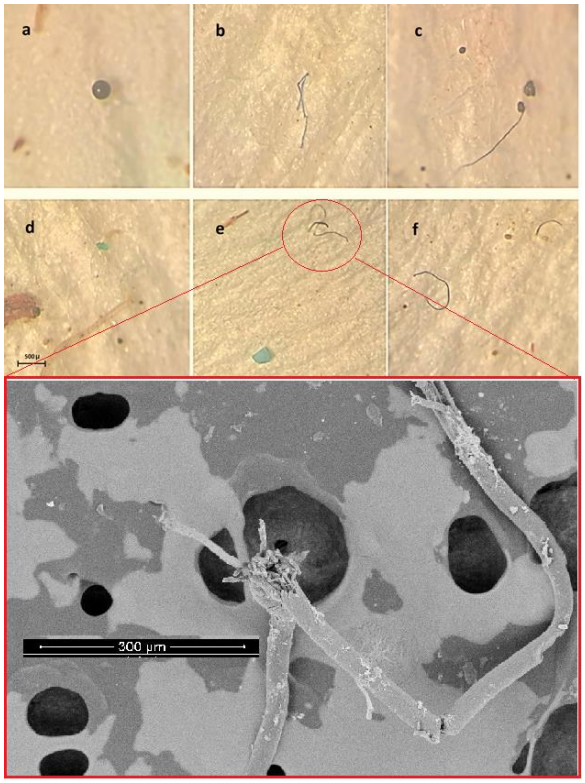
[1] Estimated daily intake

شکل میکروپلاستیک‌ها

بیشترین شکل‌های مشاهده شده در کل نمونه‌ها متعلق به فیبر (۶۱/۵۴ درصد) و سپس قطعات (۳۵/۹۰) بود؛ تعداد محدودی از شکل‌های دیگر مانند میکروپلاستیک‌های کروی شکل نیز مشاهده شدند(شکل ۳). تصاویر تعدادی از میکروپلاستیک‌های مشاهده شده توسط استریومیکروسکوپ و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) در شکل ۴ به نمایش در آمده است.



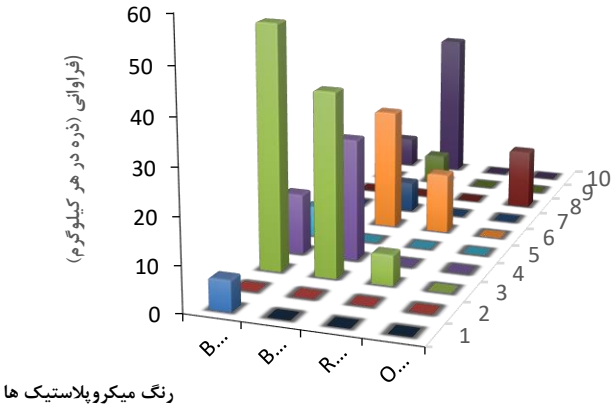
شکل ۳.فراوانی شکل میکروپلاستیک‌های موجود در کل نمونه‌های خاک



شکل۴. (a تا f) عکس میکروپلاستیک‌های مشاهده شده توسط استریومیکروسکوپ از و g) عکس گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

رنگ میکروپلاستیک‌ها

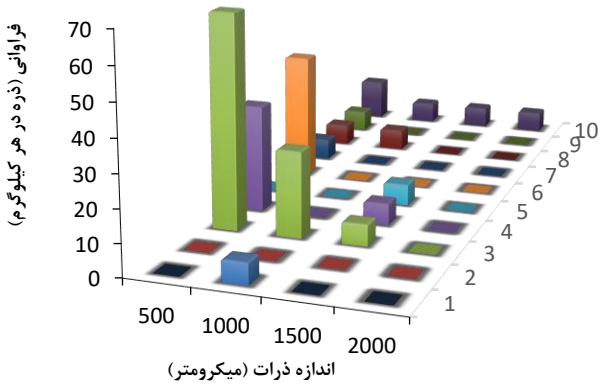
در شکل ۵ مشاهده می‌شود که رنگ مشکی (۵۳/۸۵ درصد) بیشترین فراوانی را درکل نمونه‌ها دارد و پس از آن به ترتیب رنگ آبی، قرمز، سفید و سبز قرار دارند.



شکل ۵. فراوانی رنگ میگروپلاستیک‌های موجود در کل نمونه‌های خاک

اندازه میکروپلاستیک‌ها

در رابطه با توزیع اندازه ذرات میکروپلاستیک، همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است، بیشترین سهم مربوط به ذرات کمتر از ۵۰۰ میکرومتر(۶۸/۴۲ درصد) و پس از آن ذرات کمتر از ۱۰۰۰ میکرومتر(۱۸/۴۲ درصد) است(شکل ۶).



شکل۶. فراوانی توزیع اندازه ذرات میکروپلاستیک‌های موجود در کل نمونه‌های خاک

ریسک اکولوژیکی میکروپلاستیک‌ها در خاک

بر اساس شاخص تجمع جغرافیایی، سطح آلودگی میکروپلاستیک‌ها در هر نقطه نمونه‌برداری (به‌غیر از ایستگاه شماره دو که میکروپلاستیک در آن شناسایی نشد و به همین دلیل قابل محاسبه نبود) به دست آمد (جدول ۲). نمونه خاک منطقه الهیه کاشانی بیشترین سطح آلودگی را دارد.

جدول ۲.آلودگی میکروپلاستیک‌ها در هر نقطه

ایستگاه	محل نمونه‌برداری	Igeo	سطح آلودگی
۱	تپه	-۰.۵۸۵	بدون آلودگی (سطح I)
۲	پارک کوهستان	غیرقابل‌تشخیص	_
۳	الهیه کاشانی	۳/۳۲۲	آلودگی شدید (سطح V)
۴	پردیس	۲	آلودگی متوسط (سطح III)
۵	الهیه چغامیرزا فاز دو	-۰.۵۸۵	بدون آلودگی (سطح I)

۶	پارک شرقی دو هزار	۲	آلودگی متوسط (سطح III)
۷	رسالت	-۰.۵۸۵	بدون آلودگی (سطح I)
۸	ترمینال شهید کاویانی	۰/۴۱۵	بدون آلودگی تا آلودگی متوسط (سطح II)
۹	سرخه لیژه	-۰.۵۸۵	بدون آلودگی (سطح I)
۱۰	میدان نیایش	۲	آلودگی متوسط (سطح III)

میزان آلودگی کلی در خاک محدوده مطالعه نیز توسط شاخص بار آلودگی محاسبه شد (جدول ۲). از آنجایی که نتایج ایستگاه شماره ۲ به تعیین بار آلودگی کمکی نمی‌کند از محاسبات حذف شد. شاخص بار آلودگی ۲/۶۵ بدست آمد که در دسته IV قرار می‌گیرد(3>PLI>1/2) (۳۴).

خطر مواجهه با میکروپلاستیک‌ها در خاک برای انسان

دوز مواجهه انسانی با میکروپلاستیک‌ها از طریق بلع خاک برای بزرگسالان (با وزن ۶۵ کیلوگرم) ۰/۰۳۸ میلی گرم در کیلو گرم در روز و برای کودکان(با وزن ۱۵ کیلوگرم) ۰/۳۲۷ میلی گرم در کیلوگرم در روز در محدوده مطالعه بدست آمد.

بحث

این مطالعه برای اولین بار به بررسی آلودگی خاک کرمانشاه به میکروپلاستیک پرداخت. پس از بررسی نمونه خاک ۱۰ ایستگاه از مناطق مختلف شهر کرمانشاه، مشخص شد که فراوانی میکروپلاستیک‌ها از ۱۰۰/۰۵-۰ (ذره/کیلوگرم) متغییر هستند. تنها در یک ایستگاه یعنی منطقه تفریحی پارک کوهستان هیچ میکروپلاستیکی یافت نشد؛ در حالی‌که بیشترین سطح آلودگی میکروپلاستیک مربوط به منطقه مسکونی الهیه کاشانی بود؛ تفاوت در سطح آلودگی می‌تواند به این دلیل باشد که در پارک کوهستان با وجود گردش مردم، ارتفاع بالا منطقه و شیب تند، احتمال انتقال از طریق شست و شوی ذرات میکروپلاستیک توسط رواناب و انتقال آنها به مناطق مسطح‌تر وجود دارد(۳۶). در حالی که سطح بالای آلودگی در منطقه الهیه می‌تواند ناشی از فعالیت‌های مسکونی یا مدیریت نامناسب و دفع ناکافی پسماند پلاستیکی باشد(۱۴). ممکن است این منطقه در کرمانشاه به دلایل مختلفی با تجمع بیشتر میکروپلاستیک‌ها نسبت به سایر مناطق مواجه باشد. از جمله این دلایل رشد سریع جمعیت و تراکم و مصرف بالای محصولات پلاستیکی، تنوع فرهنگی و به طبع فرهنگ بازیافتی متفاوت، همراه با سیستم مدیریت پسماند بروز نشده محتمل هستند که می‌تواند منجر به رهاسازی پلاستیک‌ها در محیط و تبدیل تدریجی آن‌ها به میکروپلاستیک‌ها شود. همچنین، فرسایش پلاستیک‌های بزرگ تحت تأثیر تابش شدید آفتاب و باد، آلودگی هوای ناشی از ذرات معلق و ورود میکروپلاستیک‌ها از طریق فاضلاب و رواناب شهری (مانند شستشوی لباس‌های مصنوعی یا استفاده از محصولات آرایشی) از دیگر عوامل مؤثر هستند. علاوه بر این، کمبود پوشش گیاهی و در جهت قرارگیری بادهای غالب ورودی به منطقه نیز می‌تواند به افزایش غلظت میکروپلاستیک‌ها در محیط منتج شود.

جدول ۳. مقایسه ویژگی های میکروپلاستیک‌ها درخاک مطالعات مختلف

مکان مطالعه	فراوانی (ذره/کیلوگرم)	شکل غالب	رنگ غالب	اندازه غالب (میکرومتر)	مرجع
کرمانشاه، ایران	۱۰۰-۰/۰۵	فیبر، قطعه	مشکی، آبی	۵۰۰>	این مطالعه
سایبرجایا، مالزی	۰/۳-۱/۵	قطعه، فیلم	شفاف، خاکستری	-	(۳۷)
برلین، آلمان	۲۰-۹۸۰	فیبر، قطعه	-	۱۷۴/۴۰±۲۸۴/۲	(۱۲)
گویژو، چین	۷۸۰-۹۴۲۰	گرانول	مشکی	۵۰۰>	(۲)
گانگ‌دونگ، کره جنوبی	۰-۱۶۳۲۵	قطعه	مشکی، قرمز	۲۰-۵۰۰	(۱۴)
ماکاسار، اندونزی	۱۶۶۰۰-۲۱۹۰۰	قطعه، فیلم	آبی، سبز	۳۰۰>	(۲۸)
اژه و مرمره، ترکیه	۴۶/۶-۲۶۶/۶	فیلم	آبی	۱۰۰۰>	(۳۸)
اهواز، ایران	۱۰۰-۳۱۳۵	فیبر، قطعه	سفید/شفاف	۲۵۰>	(۲۶)
لاهور، پاکستان	۱۷۵۰-۱۲۲۰۰	فیبر	-	۳۰۰-۵۰۰۰	(۳۹)

یافته‌های این مطالعه و نتایج سایر مطالعات ارائه شده در جدول ۲، حاکی از توزیع غیریکنواخت میکروپلاستیک‌ها در خاک است. برای مثال بیشترین آلودگی مربوط به مطالعه والنا و همکاران (سال ۲۰۲۴) است که ۱۶۶۰۰-۲۱۹۰۰ ذره میکروپلاستیک در هر کیلوگرم خاک اراضی مختلف ماکاسار اندونزی را گزارش کرده‌اند(۲۸). در حالی‌که فراوانی میکروپلاستیک ها در مطالعه حاضر نسبت به بیشتر مطالعات ارائه شده، پایین‌تر است. این تفاوت در توزیع فراوانی‌ها می‌تواند به دلیل نوع کاربری زمین و منابع آلودگی باشد(۲۸, ۳۸). دفع نامناسب پسماندهای پلاستیکی، انتشار الیاف از منسوجات مصنوعی، سایش تایرها، زهکشی و رواناب شهری و استفاده از مالچ پلاستیکی در کشاورزی از منابع آلودگی میکروپلاستیک‌ها در خاک شهری هستند(۱۴, ۳۹). بیشترین شکل مشاهده شده در مطالعه حاضر، فیبر بود که با نتایج مطالعات انجام شده در برلین آلمان، اژه و مرمره ترکیه، اهواز ایران و لاهور پاکستان همخوانی دارد(جدول ۲). از علل غالب بودن این شکل در مطالعه می‌توان به تجمع فیبرها به دلیل انتقال هوایی و گیر افتادن آنها به علت نسبت بیشتر طول به عرض، اشاره کرد(۱۲, ۳۹). میکروپلاستیک‌های فیبر شکل ممکن است از منابعی مانند منسوجات مصنوعی، طناب پلاستیکی منشاء گرفته باشند(۱۴). از نظر رنگ، مشکی رایج‌ترین رنگ میکروپلاستیک‌ها در خاک‌های کرمانشاه است که با مطالعات گویژو در چین و گانگ‌دونگ در کره جنوبی همخوانی دارد(جدول۲). از علل این پدیده می‌توان به سایش تایرها به عنوان یکی از منابع اصلی میکروپلاستیک‌های مشکی و استفاده گسترده از مواد پلاستیکی سیاه رنگ در بخش‌های مختلف مانند بسته‌بندی، تولید قطعات الکترونیکی، تولید قطعات خودرو و غیره اشاره کرد(۴۰, ۴۱). در حالی‌که در سایر مطالعات این جدول، بیشترین سهم مربوط به رنگ‌های متفاوتی است که به تفاوت در منشاء و نوع پلاستیک‌های

مصرفی اشاره دارد(۳۸). همچنین بیشترین توزیع اندازه در مطالعه ما، مربوط به ذرات کمتر از ۵۰۰ میکرومتر بود که با اکثر مطالعات انجام شده هم راستا است(جدول ۲). ممکن است اندازه کوچک میکروپلاستیک‌ها علت تحرک بیشتر آنها در خاک باشد(۴۲). در مناطق پرتردد (حاشیه جاده‌ها، زمین‌های کشاورزی، مناطق مسکونی و پارک‌ها) میکروپلاستیک‌ها تحت تأثیر نیروهای فیزیکی (فشردگی، اصطکاک) یا عوامل محیطی به سرعت به ذرات کوچک‌تر تبدیل می‌شوند(۱۴). در ارزیابی شاخص تجمعی زمینی، به‌غیر از منطقه الهیه کرمانشاه که سطح آلودگی آن شدید بود، سایر مناطق این مطالعه از سطح بدون آلودگی تا آلودگی متوسط دسته‌بندی شدند. این نتایج با یافته‌های مطالعهٔ پروینا و همکاران (۲۰۲۴) که در آن I_{geo} خاک‌های مورد بررسی از بدون آلودگی تا آلودگی متوسط طبقه‌بندی شدند، مطابقت دارد(۳۷). همچنین شاخص بار آلودگی ۲/۶۵ بدست آمد که حاکی از آن است که خاک‌های بررسی شده در کرمانشاه تحت تاثیر قابل توجهی از آلودگی میکروپلاستیک هستند. به علاوه ارزیابی نسبی مواجهه روزانه از طریق بلع خاک نشان داد که مواجهه کودکان به دلیل وزن کمتر و نرخ بلع بالاتر، به‌طور قابل توجهی بیشتر از بزرگسالان است که با الگوی مشاهده شده در مطالعه گو و همکاران (۲۰۲۴) که به برررسی میکروپلاستیک های خاک در داکینگ چین پرداختند، هم راستا است(۳۱). داده‌های مطالعه حاضر و سایر مطالعات مشابه نشان می‌دهد که فعالیت‌های انسانی نقش مستقیمی در توزیع اندازه و فراوانی میکروپلاستیک‌ها دارند. میکروپلاستیک‌ها حتی در محیط‌های به ظاهر بکر مانند جنگل‌ها (میکروپلاستیک‌های ریز و عمدتاً زیر ۳۰۰ میکرومتر) از طریق مکانیسم‌های غیرمستقیم مانند انتقال جوی یا تجزیه بلند مدت حضور دارند(۱۴). دلایل تفاوت الگوهای توزیع را می‌توان به تفاوت در الگوهای مصرف پلاستیک در هر منطقه دانست. برای مثال در پارک‌ها و اراضی کشاورزی استفاده از پلاستیک‌های سبز رنگ و کاربرد ماشین‌آلات کشاورزی متنوع منجر به فراوانی بیشتر رنگ‌های خاص نسبت به سایر رنگ‌ها شده است(۴۳). این تفاوت‌ها نشان می‌دهد که نوع فعالیت‌های انسانی در هر منطقه می‌تواند به طور مستقیم بر ویژگی‌های میکروپلاستیک‌های موجود در خاک تأثیر بگذارد. میکروپلاستیک‌ها در خاک‌های کرمانشاه نه تنها ممکن است به‌عنوان حامل‌های سایر آلاینده‌ها، مانند فلزات سنگین یا آلاینده‌های آلی عمل کنند، بلکه می‌توانند ساختار خاک را تغییر داده و رشد گیاه و جمعیت زنده خاکی را مختل کنند و به واسطه ورود به زنجیره غذایی تهدیدی برای سلامتی انسان و موجودات دیگر محسوب شوند(۲۸, ۳۹). آلودگی میکروپلاستیک‌ها در اکوسیستم خاکی اخیراً مورد توجه قرار گرفته و مطالعات فعال در این زمینه تنها در سال‌های اخیر انجام شده است. به دلیل ویژگی‌های منحصر به‌فرد محیط خاک، بررسی آلودگی و اثرات نامطلوب پسماندهای پلاستیکی بر محیط‌های خاکی بسیار دشوار است.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به بررسی حضور و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها در خاک مناطق مختلف شهر کرمانشاه پرداخت. نتایج نشان داد که در اکثر نقاط شهر، آلودگی به میکروپلاستیک‌ها وجود دارد. میانگین فراوانی آنها ۵۶/±۳۰، ۲۶/۰۱۳ ذره در هر کیلوگرم خاک است و توزیع غیریکنواخت آن در مناطق مختلف، بیانگر تأثیر فعالیت‌های انسانی، مدیریت نامناسب پسماندهای پلاستیکی و کاربری زمین است. فیبرها ۶۱/۵۴ درصد اشکال و مشکی ۵۳/۸۵ درصد رنگ میکروپلاستیکها را تشکیل دادند. ذرات با اندازه کمتر از ۵۰۰ میکرومتر نیز بیشترین سهم را از نظر توزیع اندازه داشتند. از منظر ریسک، شاخص تجمع زمینی(Igeo) نشان داد که بیشترین سطح آلودگی مربوط به منطقه الهیه کاشانی است. شاخص بار آلودگی(PLI)، آلودگی قابل توجه میکروپلاستیک‌ها را در محدوده مطالعه نشان می‌دهد و همچنین مواجهه کودکان نسبت به بزرگسالان بالاتر گزارش شد که هشدار دهنده است. این یافته‌ها ضرورت بهبود مدیریت پسماند پلاستیکی و تدوین سیاست‌های پیشگیرانه در راستای کاهش مخاطرات ناشی از میکروپلاستیک‌ها را برجسته می‌کند.

پیشنهادها و محدودیت‌ها

تعداد محدود نقاط نمونه‌برداری ممکن است بر قابلیت تعمیم نتایج اثر بگذارد. همچنین در ارزیابی ریسک انسانی استفاده از وزن فرضی برای محاسبه ممکن است دقت نتایج را محدود کرده باشد. پیشنهاد می‌شود مطالعات در فصول مختلف سال برای بررسی نوسانات زمانی در آلودگی و همچنین تحقیقات بیشتر برای شناسایی دقیق منابع میکروپلاستیک‌ها در مناطق مختلف شهر کرمانشاه انجام شود تا راهکارهای هدفمند برای کاهش آلودگی طراحی شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه بابت حمایت‌های مالی و غیرمالی از این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نمایند.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان در انجام یافته‌های این پژوهش مبانی اخلاقی در گردآوری و تحلیل و نهایی‌سازی آنها کلیه موارد اخلاقی را رعایت نموده و همچنین این پژوهش از وزارت متبوع و کارگروه مربوطه کد اخلاق طرح IR.KUMS.REC.1404.311 دریافت نموده‌اند.

کد اخلاق

IR.KUMS.REC.1404.311

تضاد منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافع در انتشار این یافته‌ها ندارند.

حمایت مالی

پژوهش حاضر با کد طرح ۴۰۴۰۴۴۷ مورد حمایت دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه قرار گرفته است.

سهم نویسندگان

مریم احمدی: نگارش پیش‌نویس مقاله
فرید آزادی: داده‌برداری و آزمایش‌ها
هیوا حسینی: مدیریت پروژه، ویرایش مقاله
منیره نوری: تحلیل نتایج، آزمایش‌ها و ویرایش مقاله
هوشیار حسینی: اعتبارسنجی، بازبینی و تأیید مقاله.
همه نویسندگان در تدوین مقاله مشارکت نمودند و نسخه نهایی را مطالعه و تاییدکردند.

References:

1. Kim Y-N, Yoon J-H, Kim K-HJ. Microplastic contamination in soil environment–a review. Soil Science Annual. 2021;71(4):300-8.
2. Zhang F, Yang X, Zhang Z. Effects of soil properties and land use patterns on the distribution of microplastics: A case study in southwest China. Journal of Environmental Management. 2024;356:120598.
3. Rede D, Delerue-Matos C, Fernandes VC. The Microplastics Iceberg: Filling Gaps in Our Understanding. Polymers. 2023;15(16):3356.
4. Afrin S, Uddin M, Rahman M. Microplastics contamination in the soil from urban landfill site, Dhaka, Bangladesh. Heliyon 6: e05572. 2020.
5. Hirt N, Body-Malapel M. Immunotoxicity and intestinal effects of nano- and microplastics: a review of the literature. Particle and Fibre Toxicology. 2020;17(1.٥٧:(
6. Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, Davis A, Rowland SJ, John AW, et al. Lost at sea: where is all the plastic? Science. 2004;304(5672):838.-
7. Song J, Wang C, Li G. Defining Primary and Secondary Microplastics: A Connotation Analysis. ACS ES&T Water. 2024.

8. Basaran B, Özçifçi Z, Akcay HT, Aytan U. Microplastics in branded milk: Dietary exposure and risk assessment. Journal of Food Composition and Analysis. 2023;123.
9. Zurub R, Cariaco Y, Wade M, Bainbridge S.Microplastics exposure: implications for human fertility, pregnancy and child health. Frontiers in Endocrinology. 2024;14:1330396.
10. Zheng Q, Xiao J, Zhang D, Li X, Xu J, Ma J, et al. Bisphenol analogues in infant foods in south China and implications for infant exposure. Science of The Total Environment. 2023:168509.
11. Kang Q, Zhang K, Dekker SC, Mao J. Microplastics in soils: A comprehensive review. Science of The Total Environment. 2025;960:178298.
12. Amato-Lourenço LF, Bertoldi C, van Praagh M, Rillig M. Airborne microplastic deposition in the soil of urban allotment gardens. Environmental Pollution. 2025:126372.
13. Caba-Flores MD, Martínez-Valenzuela C, Cardenas-Tueme M, Camacho-Morales A. >_<Micro problems with Macro Consequences: Accumulation of Persistent Organic Pollutants and Microplastics in Human Breast Milk and in Human Milk Substitutes. 2023.
14. Yoon J, Kim B, Kim K. Distribution of microplastics in soil by types of land use in metropolitan area of Seoul. Appl Biol Chem 67: 15. 2024.
15. Blackburn K, Green Dنخانده .The potential effects of microplastics on human health: What is known and what is unknown. Ambio. 2022;51(3):518-30.
16. Karbalaei S, Hanachi P, Walker TR, Cole M. Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution. Environmental science and pollution research. 2018;25:36046-63.
17. Ullah F, Wang PY, Saqib S, Zhao L, Ashraf M, Khan A, et al. Toxicological complexity of microplastics in terrestrial ecosystems. iScience. 2025;28(2):111879.
18. Zhang Z, Zhang F, Yang X, Zhang J. The occurrence and distributions characteristics of microplastics in soils of different land use patterns in Karst Plateau, Southwest China. Science of The Total Environment. 2024;906:167651.
19. Colmenarejo Calero E, Kovač Viršek M, Mali N. Microplastics in groundwater: Pathways, occurrence, and monitoring challenges. Water. 2024;16(9):1228.
20. Monkul MM, Özhan HO. Microplastic contamination in soils: A review from geotechnical engineering view. Polymers. 2021;13(23):4129.
21. Zhang QJ, Liu L, Jiang Y, Zhang Y, Fan YF, Rao WX, Qian X. Microplastics in infant milk powder*. Environmental Pollution. 2023;323.
22. Diaz-Basantes MF, Conesa JA, Fullana A. Microplastics in Honey, Beer, Milk and Refreshments in Ecuador as Emerging Contaminants. Sustainability. 2020;12.(١٤)
23. Danopoulos E, Twiddy M, West R, Rotchell JM. A rapid review and meta-regression analyses of the toxicological impacts of microplastic exposure in human cells. Journal of Hazardous Materials. 2022;427:127861.
24. Liu Z, Zhuan Q, Zhang L, Meng L, Fu X, Hou Y. Polystyrene microplastics induced female reproductive toxicity in mice. Journal of hazardous materials. 2022;424:127629.
25. Li J, Zhu B, Huang B, Ma J, Lu C, Chi G, et al. Vertical distribution and characteristics of soil microplastics under different land use patterns: A case study of Shouguang City, China. Science of the Total Environment. 2023;903:166154.
26. Nematollahi MJ, Keshavarzi B, Mohit F, Moore F, Busquets R. Microplastic occurrence in urban and industrial soils of Ahvaz metropolis: a city with a sustained record of air pollution. Science of The Total Environment. 2022;819:152051.
27. Pignattelli S, Broccoli A, Renzi M. Physiological responses of garden cress (L. sativum) to different types of microplastics. Science of the Total Environment. 2020;727:138609.
28. Walenna MA, Hanami ZA, Hidayat R, Damayanti AD, Notodarmojo S, Caroles L. Examining soil microplastics: prevalence and consequences across varied land use contexts. Civil Engineering Journal. 2024;10(4):1265-9.١
29. Dorau K, Hoppe M, Rückamp D, Köser J, Scheeder G, Scholz K, Fries E. Status quo of operation procedures for soil sampling to analyze microplastics. Microplastics and Nanoplastics. 2023;3(1):15.
30. Radford F, Zapata-Restrepo LM, Horton AA, Hudson MD, Shaw PJ, Williams ID. Developing a systematic method for extraction of

microplastics in soils. Analytical Methods. 2021;13(14):1695-705.
31. Guo Y, Wu R, Guo C, Wu L, Xu J. Risks of microplastics in different land-use types of soil in a typical petrochemical city in China. 2024.
32. Liu L, Zhang X, Jia P, He S, Dai H, Deng S, Han J. Release of microplastics from breastmilk storage bags and assessment of intake by infants: A preliminary study. Environ Pollut. 2023;323:121197.
33. Sharma S, Bhardwaj A, Thakur M, Saini A . عکسUnderstanding microplastic pollution of marine ecosystem: a review. Environmental Science and Pollution Research. 2024;31(29):41402-45.
34. Rana MM, Haque MR, Tasnim SS, Rahman MM. The potential contribution of microplastic pollution by organic fertilizers in agricultural soils of Bangladesh: quantification, characterization, and risk appraisals. Frontiers in Environmental Science. 2023;11:1205603.
35. EPA. EXPOSURE FACTORS HANDBOOK:

۲۰۱۱EDITION. 2011.
36. Han N, Zhao Q, Wu C. Threshold migration conditions of (micro) plastics under the action of overland flow. Water Research. 2023;242:120253.
37. Praveena SM, Zaidi NMNM, Nafisyah AL, Lingaraju H. Microplastics in Urban Soils From Different Land Use Activities of Cyberjaya (Malaysia): Exploring Occurrence, Relationships, Sources and Pollution Level. Land Degradation & Development. 2024;35(17):5254-66.
38. Akca MO, Gündoğdu S, Akca H, Delialioğlu RA, Aksit C, Turgay OC, Harada N. An evaluation on microplastic accumulations in Turkish soils under different land uses. Science of the Total Environment. 2024;911:168609.
39. Rafique A, Irfan M, Mumtaz M, Qadir A. Spatial distribution of microplastics in soil with context to human activities: a case study from the urban center. Environmental Monitoring and Assessment. 2020;192:1-13.
40. Reynolds RL, Molden N, Kokaly RF, Lowers H, Breit GN, Goldstein HL, et al. Microplastic and associated black particles from road-tire wear: Implications for radiative effects across the cryosphere and in the atmosphere. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2024;129(19):e2024JD041116.
41. Huang Y, Xu EG. Black microplastic in plastic pollution: undetected and underestimated? Water emerging contaminants & nanoplastics. 2022.
42. Zhang X, Chen Y, Li X, Zhang Y, Gao W, Jiang J, et al. Size/shape-dependent migration of microplastics in agricultural soil under simulative and natural rainfall. Science of the Total Environment. 2022;815:152507.
43. Choi YR, Kim Y-N, Yoon J-H, Dickinson N, Kim K-H. Plastic contamination of forest, urban, and agricultural soils: a case study of Yeoju City in the Republic of Korea. Journal of Soils and Sediments. 2021;21:1962-73.

Study of Microplastics Presence in Soil of Different Areas of Kermanshah City: Quantity, Quality, and Risk Assessment

Maryam Ahmadi[1], Farid Azadi[1], Hiwa Hossaini[2], Monireh Nouri[1], Hooshyar Hossini[2]*

1.Student Research Committee, School of Public Health, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran
2.Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran

Received : 06/01/2025 ePublished: 09/22/2025

ABSTRACT:

Introduction: Microplastics, as emerging pollutants, can significantly impact soil ecosystems and potentially threaten human health. This study aimed to investigate the distribution and characteristics (quantitative and qualitative) of microplastics in soils from different areas of Kermanshah City, as well as to evaluate their associated ecological and human health risks.

Methods: Soil samples were collected from ten randomly selected sites across Kermanshah City. This cross-sectional descriptive study employed extraction using saturated sodium chloride (NaCl) solution, followed by microscopic analysis to determine visual characteristics such as particle shape, color, and size. Ecological risk assessment was conducted using the Geoaccumulation Index (Igeo) and Pollution Load Index (PLI), while human health risk was evaluated using Estimated Daily Intake (EDI).

Results: The mean abundance of microplastics in the soil was 26.01 particles per kilogram of dry soil. Fibers accounted for 61.54%, black particles for 53.85%, and particles smaller than 500 µm were the most prevalent. The highest level of contamination was found in Elahieh, a residential area, with a PLI value of 2.65, indicating a hazardous level of pollution (Category IV).

Conclusion: Microplastic pollution was confirmed in urban soils of Kermanshah, with potential negative impacts on both soil quality and human health. Strengthening waste management practices and implementing effective strategies to reduce microplastic pollution are therefore essential.

Keyword: Microplastics, Soil Pollution, Ecological Risk, Human Exposure

***Corresponding Author**: **Hooshyar Hossini, e-mail: hoo.hosseini@gmail.com**

CITATION: Hossini,H.,Ahmadi,M.,azadi,F.,Hossaini,H.,Nouri,M. Study of Microplastics Presence in Soil of Different Areas of Kermanshah City: Quantity, Quality, and Risk Assessment. *Saveh University of Medical Sciences Journal*, 2025; 1(2): e229927. doi: 10.22034/jsavehums.2025.547503.1059