

Review article

Investigation of Type and Frequency of Microplastics in Municipal Solid Waste Landfills Soil: A Systematic Review

Senobar Imanian¹
Roqiyeh Mostafaloo²
Farzaneh Fanaei^{3*}
Sepideh Sahragard¹

1. Student Research Committee, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran
2. Ph.D. Student in Environmental Health Engineering, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Student Research Committee, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
3. Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Ferdows Faculty of Medical Sciences, Medical Toxicology and Drug Abuse Research Center (MTDRC), Birjand University of Medical Sciences (BUMS), Birjand, Iran

*Corresponding author: Farzaneh Fanaei, Department of Environmental Health Engineering, Ferdows Faculty of Medical Sciences, Medical Toxicology and Drug Abuse Research Center (MTDRC), Birjand University of Medical Sciences (BUMS), Birjand, Iran

Email: fanaei70@gmail.com

Received: 12 October 2023

Accepted: 06 January 2024

ABSTRACT

Introduction and purpose: Microplastics (MPs) are an emerging pollutant with a long environmental persistence. Although several studies were conducted on MPs pollution in aquatic environments, soil environments received less attention due to the intangibility of pollution and the difficulty of evaluating MPs in soil. The present systematic study aimed to investigate the contamination of MPs in municipal waste landfill soil.

Methods: This systematic review was performed in accordance with the principles of Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). To that end, the databases PubMed, Science Direct, Web of Science, Scopus, Google Scholar, and internal databases of Magiran and SID were searched using the terms Microplastic, Soil, landfill, and their MeSH equivalents until 2023. Finally, 15 studies were evaluated after being screened based on the entry/exit criteria and study objectives.

Results: According to studies, the type and quantity of microplastics in the soil of municipal solid waste landfills are affected by various parameters. Microplastics had different concentrations and particle sizes from less than 10 µm to more than 5 mm. Polyethylene terephthalate (PET) and polyvinyl chloride (PVC) were the most extracted chemical compounds. The MPs levels fluctuated with sampling depth and rose with the age of the landfill site and plastic components. Smaller-sized microplastics were most frequent in regions where plastic debris had been subjected to severe weathering.

Conclusion: The enormous production of plastic waste and its health and ecological risks as an emerging and persistent pollutant in the environment emphasizes the importance of implementing programs to minimize plastic materials use and increase recycling of its waste. On the other hand, given the importance of soil quality in the food chain and its direct impact on air and water pollution, continuous monitoring and control of soil pollution with these substances, as well as research into the sources of their entry into the environment, can help to manage this challenge.

Keywords: Emerging pollutant, Microplastics, Plastics, Soil, Waste disposal facilities

► **Citation:** Imanian S, Mostafaloo R, Fanaei F, Sahragard S. Investigation of Type and Frequency of Microplastics in Municipal Solid Waste Landfills Soil: A Systematic Review. Journal of Health Research in Community. Spring 2024;10(1): 95-108.

مقاله مروری

بررسی نوع و فراوانی میکروپلاستیک ها در خاک محل های دفن پسماند شهری: مرور سیستماتیک

چکیده

صنوبر ایمانیان^۱
 رقیه مصطفی لو^۲
 فرزانه فنائی^{۳*}
 سپیده صحراگرد^۴

مقدمه و هدف: میکروپلاستیک ها (MPs) آلاینده هایی نوظهور و با ماندگاری بالا در محیط زیست هستند. مطالعات متعددی به بررسی آلودگی MPs در محیط آبی پرداخته اند؛ اما با توجه به ملموس نبودن آلودگی در محیط خاک و دشواری ارزیابی MPs در خاک، کمتر به آن پرداخته شده است. این مطالعه با هدف بررسی سیستماتیک آلودگی خاک در محل های دفن پسماند شهری به MPs انجام گرفت.

روش کار: مطالعه حاضر از نوع مرور سیستماتیک و بر اساس دستورالعمل پریزما (PRISMA) انجام شد. به این منظور، پایگاه های اطلاعاتی PubMed، Science Direct، Web of Science، Google Scholar، Scopus و Magiran داخلی و SID با استفاده از کلیدواژه های اصلی landfill، Soil، Microplastic و کلمات معادل در Mesh تا سال ۲۰۲۳ بررسی شد. در ادامه، غربالگری بر اساس معیارهای ورود و خروج و اهداف مطالعه انجام گرفت و در مجموع، ۱۵ مقاله ارزیابی شد.

یافته ها: مطالعات نشان داد نوع و میزان میکروپلاستیک ها در خاک محل دفن متأثر از پارامترهای مختلفی است. میکروپلاستیک ها دارای غلظت های مختلف و اندازه ی ذرات کمتر از $10\text{ }\mu\text{m}$ تا بیش از 5 mm بودند. بیشترین ترکیب استخراج شده مربوط به پلی اتیلن ترفتالات (PET) و پلی وینیل کلراید (PVC) بود. مقادیر MPs در عمق های مختلف نمونه برداری متفاوت است و با افزایش عمر محل دفن و سن مواد پلاستیکی افزایش می یابد. میکروپلاستیک هایی که اندازه ی کوچک تری داشتند، در مکان هایی که پسماندهای پلاستیکی در معرض درجالت بالای هوازدگی قرار داشتند، دارای بیشترین فراوانی بودند.

نتیجه گیری: تولید انبوه پسماندهای پلاستیکی و خطرهای بهداشتی و اکولوژیکی آن به عنوان آلاینده ای نوظهور و پایدار در محیط زیست، بیانگر لزوم توجه ویژه به تدوین برنامه هایی برای کاهش مصرف مواد پلاستیکی و افزایش بازیافت زائدات آن است. از طرفی، با توجه به اهمیت کیفیت خاک در چرخه ی تأمین مواد غذایی و تأثیر مستقیم آن در آلودگی آب و هوا، پایش و کنترل مستمر آلودگی خاک به این مواد به همراه بررسی منابع ورود آن ها به محیط زیست می تواند کمک شایانی به مدیریت این چالش کند.

کلمات کلیدی: میکروپلاستیک، پلاستیک، خاک، محل دفن پسماند، آلاینده ی نوظهور

۱. کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بیرجند، بیرجند، ایران
۲. دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت محیط، کمیته ی تحقیقات دانشجویی، دانشکده ی بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
۳. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی فردوس، مرکز تحقیقات مسمومیت ها و سوء مصرف مواد، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند، ایران

* نویسنده مسئول: فرزانه فنائی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی فردوس، مرکز تحقیقات مسمومیت ها و سوء مصرف مواد، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند، ایران

Email: fanaei70@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶

◀ **استناد:** ایمانیان، صنوبر؛ مصطفی لو، رقیه؛ فنائی، فرزانه؛ صحراگرد، سپیده. بررسی نوع و فراوانی میکروپلاستیک ها در خاک محل های دفن پسماند شهری: مرور سیستماتیک. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، بهار ۱۴۰۳؛ ۱۱(۱): ۹۵-۱۰۸.

مقدمه

با رشد صنایع و افزایش مصارف گوناگون به وسیله ی انسان ها و به تبع آن، تولید انواع پسماند، انتشار آلاینده های مختلف در

محیط زیست به طور چشمگیری افزایش یافته است [۱، ۲]. خاک به عنوان منبع طبیعی، سرمایه ملی و بستر حیات، نقشی اساسی در استقرار و رشد جوامع بشری و سایر مخلوقات دارد [۳]. اگرچه خاک از جمله منابع تجدیدپذیر به شمار می رود، هنگامی که سرعت تولید آن را با سرعت تخریب آن مقایسه می کنیم، اهمیت حفاظت از آن بیشتر جلوه می کند. از طرف دیگر، بخش مهمی از زنجیره غذایی انسان و حیوانات از خاک است. به همین دلیل، هر گونه آلودگی موجود در خاک ناشی از عوامل مختلف طبیعی یا مصنوعی، پسماندهای کشاورزی و صنعتی، فعالیت های شهری و دفع پسماندهای آلوده می تواند در طی زنجیره غذایی و نیز نفوذ به آب های زیرزمینی به سطوح بالاتر انتقال یابد و در نهایت، متوجه انسان شود [۷-۴]. همچنین، علاوه بر اینکه خاک پالایندگی طبیعت محسوب می شود، می تواند به عنوان مخزنی برای پذیرش انواع آلاینده های شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی عمل کند [۸]. در واقع، خاک آلاینده ها را دریافت می کند و هم زمان، به عنوان محل ذخیره سازی آن ها نیز نقش ایفا می کند [۹، ۱]. متأسفانه، بحث آلودگی خاک نسبت به سایر آلودگی های زیست محیطی همچون آب و هوا، به دلیل ملموس نبودن آن، کمتر جلب توجه می کند. ولی باید توجه کرد که خاک به عنوان عنصری میانی بین آب و هوا نقش بسیار مهمی در انتقال و نگهداشت آلودگی دارد. به خصوص، به دلیل ماهیت جامد آن، مسئله ی نگهداشت و انتقال آلودگی از این محیط به سایر محیط ها و جانداران شایسته ی تأمل است [۱]. همان گونه که آلاینده های موجود در خاک از محیط های دیگر به آن وارد می شوند، این آلاینده ها از خاک نیز می توانند وارد هوا و منابع آبی شوند [۱۰، ۱۱]. یکی از راه های معمول ورود آلاینده ها به خاک و آب های اطراف حمل و نقل و دفع غیر بهداشتی پسماند است. پسماندها جزو منابع مهم آلاینده در شهرها، خصوصاً شهرهای بزرگ است و نبود مدیریت مناسب در مرحله ی جمع آوری و در نهایت، دفع آن ها می تواند باعث ایجاد بحران های جدی بهداشتی و زیست محیطی شود [۱۲]. در طی

دهه های گذشته، افزایش بیش از حد جمعیت و پیشرفت جوامع شهری، خصوصاً در شهرهای بزرگ، باعث تولید و تجمع پسماندها در حجم زیاد با ترکیب و کیفیت های مختلف شده است. به همین دلیل، نهادهای ذی ربط در اکثر کشورها با انواع چالش های مهم در زمینه ی مسائل بهداشتی و زیست محیطی مربوط به مدیریت و دفع صحیح پسماندهای تولیدی مواجه هستند [۹، ۶]. دفن پسماند به روش لندفیل یکی از روش های پرکاربرد مدیریت پسماندهای جامد شهری در بسیاری از نقاط جهان است که در صورت رعایت نکردن قوانین و استانداردهای زیست محیطی، می تواند سبب آلودگی خاک، هوا، مواد غذایی و منابع آب های سطحی و زیرزمینی شود [۹]. تنوع ترکیب و غلظت آلاینده ها در محل های دفن به ترکیب پسماند دفن شده وابسته است [۱۳]. پسماندها ممکن است حاوی ترکیبات تجزیه پذیر مانند باقی مانده ی مواد غذایی و ترکیبات سخت تجزیه پذیر یا تجزیه ناپذیری مانند پلاستیک ها باشند. پلاستیک ها با توجه به مزیت اقتصادی، بهداشتی، دوام و طول عمر بالا و مزایای دیگر، به طور گسترده تولید و استفاده می شوند [۱۵، ۱۴، ۴]. تخمین زده اند که سالانه، حدود ۴۰۰ میلیون تن پلاستیک تولید می شود و پیش بینی می شود این مقدار تا سال ۲۰۵۰، به بیش از دو برابر نیز افزایش یابد [۱۶]. تولید روزافزون و مدیریت ناکافی پسماندهای پلاستیکی به ایجاد نوعی نگرانی جهانی در این زمینه منجر شده است [۱۷، ۱۲]. معمولاً برای دفع آن پسماندهای پلاستیکی که بازیافت نشده اند، از محل های دفن پسماند استفاده می شود [۱۸، ۱۳، ۸]. بر اساس گزارش ها، لندفیل ها حدود ۸۰ درصد از پلاستیک های تولید شده در دنیا را در خود جای می دهند؛ بنابراین، می توانند یکی از منابع مهم پخش این آلاینده در محیط زیست به شمار آیند [۱۹]. از طرفی، به دلیل رعایت نکردن استانداردهای لازم در مکان های دفن، با دفن این پسماندها نه تنها مشکل به طور اساسی برطرف نشده، بلکه آلودگی محیط زیست افزایش یافته است [۲۰]. پس از دفن، پسماندهای پلاستیکی تحت تأثیر عوامل زیادی از جمله تجزیه ی زیستی،

به ایجاد اثرهای سوء از جمله تغییر در کروموزم‌ها، جهش ژنی، ناباروری و افزایش خطر ابتلا به سرطان منجر شود [۳۰-۳۲].

حضور MPs در خاک می‌تواند به ایجاد تغییرات زیادی از جمله تغییر در ظرفیت نگهداشت آب، تغییر در ترکیب طبیعی و ساختار خاک، کاهش کیفیت و حاصل‌خیزی، توقف رشد گیاه و همچنین اثر بر جامعه‌ی میکروبی، جانداران و گیاهان در خاک منجر شود [۱۶، ۳۰، ۳۳، ۳۴]. مطالعات متعددی به بررسی آلودگی MPs در محیط آبی پرداخته‌اند؛ اما با توجه به ملموس نبودن آلودگی در محیط خاک و دشواری ارزیابی MPs در خاک، کمتر به آن توجه شده است [۳۶، ۳۵]. با توجه به نقش و اهمیت خاک در سلامت انسان و توسعه‌ی پایدار و همچنین، نگرانی‌های مرتبط با MPs به‌عنوان آلاینده‌ای نوظهور و پایدار در محیط، بر آن شدیم تا با انجام مطالعه‌ای سیستماتیک، انواع و فراوانی میکروپلاستیک‌ها در خاک مکان‌های دفن پسماند شهری به‌عنوان یکی از مخازن اصلی ورود MPs به اکوسیستم‌های آبی و خاکی را بررسی کنیم.

روش کار

در مطالعه‌ی حاضر، به‌منظور گزارش فرایند جست‌وجو، مستندسازی و غربالگری مطالب طبق شکل ۱، از چک‌لیست پریزما (موارد گزارش ترجیحی برای بررسی‌های سیستماتیک و متاآنالیزها) استفاده شد.

استراتژی‌های جست‌وجو

استراتژی‌های جست‌وجوی مطالعه با بررسی مطالعات مشابه قبلی برای رسیدن به هدف پژوهش (بررسی آلودگی میکروپلاستیک‌ها در خاک محل دفن پسماند شهری) تعیین شد. برای شناسایی مطالعات مرتبط، از کلیدواژه‌های اصلی Mesh، Soil، Microplastic، landfill و کلمات معادل در Microplastic* OR Mesoplastic* OR جمله از

تغییرات شدید دما (دما ممکن است تا ۹۰-۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش یابد) و اسیدیته (نوسانات pH)، تولید گازها (CH_4 یا CO_2)، شرایط محیطی مانند شوری یا فشار بالا، استرس فیزیکی، تراکم و فعالیت میکروبی دچار تغییرات فیزیکی و بیوشیمیایی می‌شوند. در نتیجه‌ی این عوامل و تغییرات، ضایعات پلاستیکی تجزیه و به قطعات کوچک‌تری به نام میکروپلاستیک‌ها (MPs-Microplastics) تبدیل می‌شوند [۱۲، ۱۶، ۱۷، ۲۰-۲۳].

MPs گروهی از آلاینده‌های نوظهور با قطر کمتر از ۵ میلی‌متر و با ماندگاری بالا در آب، خاک و هوا هستند که از تخریب قطعات بزرگ‌تر پلاستیک ایجاد می‌شوند [۴، ۱۴، ۲۴]. از این رو، MPs را می‌توان به میکروپلاستیک‌های اولیه و ثانویه طبقه‌بندی کرد [۲۳، ۱۴]. این آلاینده طیف گسترده و ناهمگنی از مواد با ترکیب شیمیایی، اشکال، رنگ‌ها، اندازه و تراکم‌های متفاوت را در بر می‌گیرد [۱۳]. این ویژگی‌ها از عوامل مهم جابه‌جایی و توزیع MPs در محیط است و ممکن است سمیت، ردیابی و شناسایی این آلاینده را پیچیده‌تر کند [۲۶، ۲۵]. MPs به‌دلیل ماهیت آب‌گریز به‌عنوان ناقل مواد شیمیایی خطرناک عمل می‌کند و مواد آلی سمی و فلزات سنگین را جذب می‌کند که موجب پایداری این مواد می‌شود [۲۱، ۱۶]. وجود MPs در محل‌های دفن پسماند خطرهای بالقوه‌ای برای محیط‌های اطراف ایجاد می‌کند [۷]. خاک و آب‌های زیرزمینی به‌دلیل انتقال و مهاجرت احتمالی MPs از محل دفن پسماند توسط شیرابه آلوده می‌شوند [۱۶، ۱۳]. همچنین، مواد سمی و فلزات سنگین جذب‌شده توسط MPs می‌تواند باعث آلودگی خاک کشاورزی شود [۲۷، ۲۲]. علاوه بر این، ذرات MPs می‌توانند از طریق هوا و جو از محل‌های دفن پسماند به محیط‌های اطراف منتقل شوند [۷]. در صورت استنشاق، MPs ممکن است به ریه‌ها و معده برسد و سیستم تنفسی و گوارشی انسان را تهدید کند [۲۸]. این ترکیبات می‌توانند از طریق بلع یا تماس پوستی نیز وارد بدن انسان شوند [۲۹]. بر اساس گزارش‌ها، ورود MPs به بدن انسان می‌تواند

نرم افزار EndNote را یکی از محققان (R. M) انجام داد. سپس، تمام مراحل غربالگری مقالات را مطابق با معیارهای ورود و خروج، دو محقق دیگر (S.S و S.I) به طور مستقل انجام دادند و در صورت اختلاف نظر، برای رفع تناقض، مقالات را محقق سوم (F.F) ارزیابی کرد. سپس، مقالاتی که معیار ورود به مطالعه را داشتند، به طور دقیق بررسی شدند.

یافته ها

مطابق شکل ۱، در جست و جوی اولیه، تعداد ۲۱۴۶ مطالعه یافت شد که پس از حذف موارد تکراری و غیرمرتبط، تعداد ۱۴۱۲ مقاله را محققان بررسی کردند. در ادامه، بر اساس معیارهای ورود و خروج، تعداد ۲۷ مقاله برای بررسی متن کامل واجد شرایط بودند که از این تعداد، ۱۵ مقاله داده های قابل استخراج برای تجزیه و تحلیل را گزارش داده بودند.

موارد استخراج شده از مطالعات بررسی شده شامل محل مطالعه، سال مطالعه، روش های تشخیص، غلظت (حداکثر، متوسط و حداقل)، اندازه ی MPs، تعداد نمونه، شکل و ترکیب MPs بود که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

بر اساس نتایج، ترکیب پسماند در محل دفن به پارامترهای مختلفی بستگی دارد که این موضوع به نوعی در ترکیب و میزان میکروپلاستیک ها نیز مؤثر است. بیشتر ترکیبات استخراج شده پلی اتیلن ترفتالات (PET) و پلی وینیل کلراید (PVC) بودند. در مطالعات، اندازه ی قطر منافذ الک استفاده شده برای عبور ذرات معمولاً بین ۲ تا ۱۰ میلی متر بود. خرد کردن ذرات بزرگ تر به ذرات کوچک تر و نوع نمونه برداری نیز در تعیین اندازه ی ترکیبات تأثیرگذار بود. میزان میکروپلاستیک ها در عمق های مختلف و سایت های قدیمی و جدید متفاوت بود. میکروپلاستیک های کوچک (۰/۱۵-۰/۳ میلی متر) معمولاً در مناطقی فراوان تر بودند که پسماندهای پلاستیکی در محل دفن درجه ی بالایی

Peat OR OR Soils) و (*Nanoparticle* OR Plastic Landfill OR Waste Dump OR Waste) و (Humus Disposal OR Disposal Facility) استفاده شد. جست و جو بدون در نظر گرفتن محدودیت زمانی تا ۱۰ دسامبر ۲۰۲۳، در پایگاه های داده ی الکترونیکی بین المللی PubMed، Science Direct، Web of Science، Scopus و در پایگاه های داخلی از جمله بانک اطلاعات نشریات کشور (magiran)، بانک اطلاعات جهاد دانشگاهی (SID) انجام شد. استراتژی جست و جو در پایگاه های داده ی الکترونیکی بین المللی در ضمیمه ی S_۱ ارائه شده است.

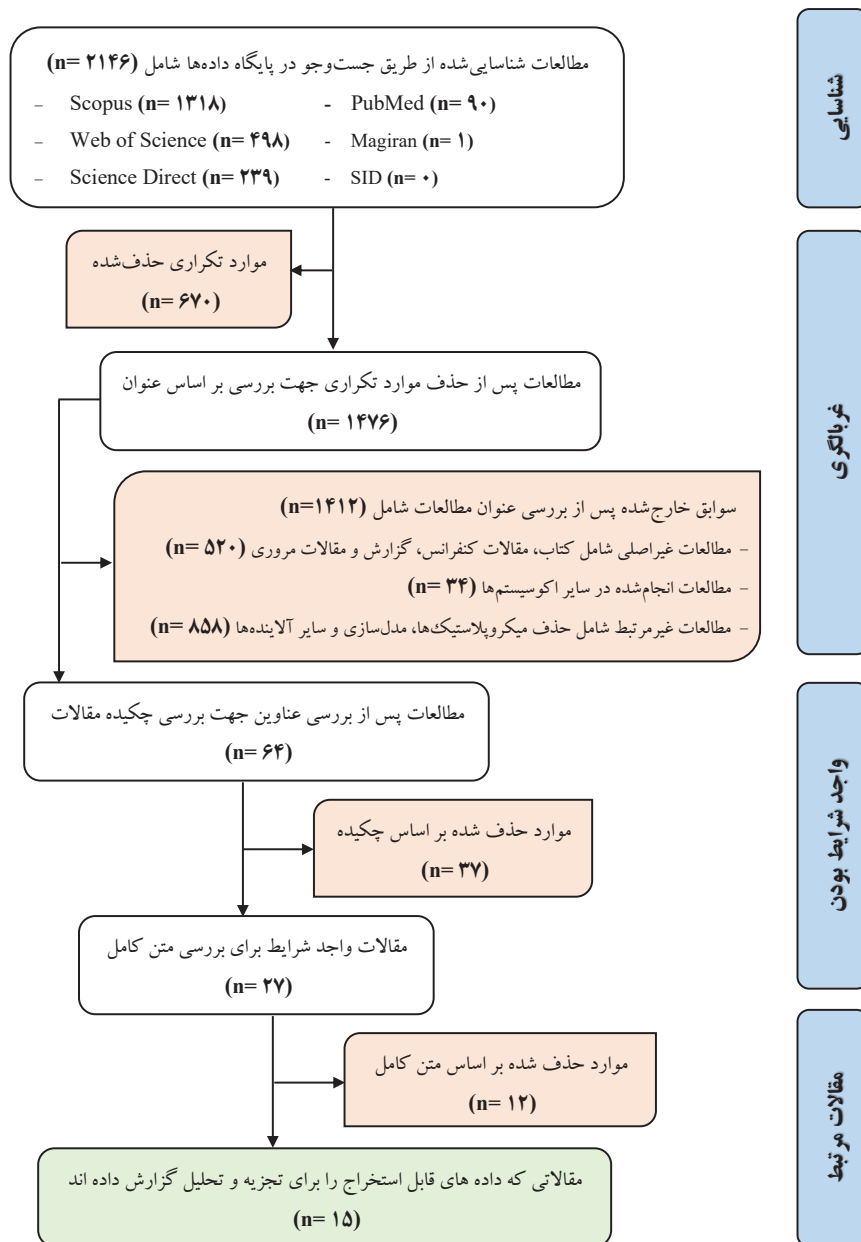
معیارهای واجد شرایط بودن و انتخاب مطالعه

پس از جست و جو، مطالعات وارد نرم افزار EndNote شد و به وسیله ی آن، موارد تکراری حذف شدند. سپس، بر اساس معیارهای ورود و خروج تعیین شده توسط تیم پژوهش، مقالات مرتبط با پژوهش غربالگری شد.

معیارهای ورود و خروج مطالعه ی حاضر: بررسی مطالعات منتشر شده به عنوان مقالات اصلی و خروج سایر مطالعات از جمله مقالات مروری و بررسی های منتشر شده به صورت کتاب، نامه به سردبیر، سمینار، کنفرانس، پایان نامه، گزارش ها، بررسی مطالعات منتشر شده به زبان انگلیسی و فارسی که متن کامل آن در دسترس بود و خروج مطالعات به زبان های دیگر و مواردی که متن کامل آن ها در دسترس نبود و همچنین، بررسی مطالعات منتشر شده در تمام زمان ها بدون در نظر گرفتن محدودیت زمانی، مطالعات منتشر شده در رابطه با خاک محل دفن و خروج مطالعات درباره ی سایر اکوسیستم های خاکی از جمله خاک کشاورزی، صنعتی و شهری. در آخر، مطالعاتی که قوی ترین ارتباط موضوعی با عنوان مطالعه را داشتند، بررسی شدند و مطالعات غیرمرتبط از مطالعه ی حاضر حذف شدند.

استخراج داده ها

ابتدا، جست و جو در پایگاه های داده و وارد کردن داده ها به



شکل ۱: نمودار جریان پریزما برای شناسایی، غربالگری، واجد شرایط بودن و گنجاندن مقالات مرتبط

برای اندازه‌گیری و تشخیص میکروپلاستیک‌ها استفاده شده بود. برای شناسایی میکروپلاستیک‌ها از میکروسکوپ‌ها و مازول‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) استفاده شده بود. همچنین، از میکروسکوپ

از هوازدگی را تجربه کرده بود. مقدار میکروپلاستیک‌ها با افزایش سن محل دفن و سن ماده‌ی پلاستیکی افزایش می‌یابد. از این‌رو، میکروپلاستیک‌ها با غلظت‌های مختلفی در خاک محل دفن گزارش شده بودند. از روش‌های متنوع و متفاوتی

جدول ۱: ترکیب، تعداد نمونه، اندازه، غلظت، شکل و روش های تشخیص میکروپلاستیک ها در خاک مکان های دفن پسماند

محل مطالعه	سال مطالعه	روش تشخیص	حداکثر	غلظت متوسط	حداقل	اندازه	تعداد نمونه	شکل	ترکیب	رفرنس
۱	پاکستان	۲۰۲۰	Stereo microscope	۱۲۲۰۰ MPs/kg	۲۳۱۵ ± ۴۴۸۳ MPs/kg	۱۷۵۰ MPs/kg	۴۰	fiber, sheet, fragment, foam, bead	-	(۳۷)
۲	بنگلادش	۲۰۲۰	FTIR Stereo microscope	-	-	-	۱۰	film, fragment, fiber	LDPE, HDPE, CA	(۳۸)
۳	چین	۲۰۲۲	SEM FTIR Stereo microscope	۱۴۲۰۰ items/kg	-	۵۷۰ items/kg	۱۰	Fibrous, film, fragment	PE, PP, PET	(۱۳)
۴	چین	۲۰۲۲	Micro-FTIR SEM	۱۴۴ items/g	-	۱۰ items/g	-	fragment, film, granule, linear, rod	PE, PP, PS, PU, PA, PET, PVC	(۳۹)
۵	ایران	۲۰۲۲	Stereo microscope FTIR	-	میکروپلاستیک (MPs) خاک سطحی ۷۶ ± ۳۴/۹۸ خاک عمقی ۲۴/۷۹ ± ۱۹/۷۹ (particles/kg _{soil})	میکروپلاستیک (MPs) ۰/۱-۰/۵ mm (٪۴۴/۶۴) ۰/۵-۱ mm (٪۳۰/۷۳) ۱-۲ mm (٪۱۸/۵۲)	۲۰	Fragment, film pellet, foam	میکروپلاستیک (MPs) LDPE, PP, PS, PA, PUR	(۴۰)
۶	ایران	۲۰۲۳	Stereo microscope FTIR-ATR SEM	-	میکروپلاستیک (MPs) خاک سطحی ۸۶۳ ± ۶۸۱ خاک عمقی ۲۲۵ ± ۱۳۸ (particles/kg _{soil})	میکروپلاستیک (MPs) ۰/۱-۰/۵ mm (٪۴۲/۸) ۰/۵-۱ mm (٪۳۳/۸) ۱-۲ mm (٪۱۷/۲)	۵۶	Film, fiber, fragment	میکروپلاستیک (MPs) LDPE, PP, PS, PET, PA, PVC	(۴۱)
۷	برنگال	۲۰۲۳	μ-FTIR stereo microscope	-	میکروپلاستیک (MEPs) خاک سطحی ۲۹/۸ ± ۶/۴ خاک عمقی ۱۸/۱ ± ۸/۳ (particles/kg _{soil})	میکروپلاستیک (MEPs) ۰/۵-۱ cm (٪۷۷/۴) ۱-۱/۵ cm (٪۱۲/۷) ۱/۵-۲/۵ cm (٪۹/۹)	۶	Pellet, Fragment, film, fiber	میکروپلاستیک (MEPs) PP, PE, Rubber, polyester	(۴۲)
۸	انگلستان	۲۰۲۳	ATR-FTIR μ-FTIR GC-MS	-	۴۲ items/۲۵ m ^۲ ۱۲/۳ particles g ^{-۱} dw soil	۲۵-۱۷۸ μm (٪۹۷/۳) ۱۷۸-۵۶۷ μm (٪۲/۵) > ۵۶۷ μm (٪۰/۲)	۶	Film, Fragment, foam	PS, PE, PP, PET	(۴۳)
۹	چین	۲۰۲۳	Py-GC/MS	-	۷/۶۲ kg/ton (تدفیل قدیمی) ۵/۴۹ kg/ton (تدفیل جدید)	> ۱ mm ۰/۵-۱ mm < ۰/۵ mm	۳۰	Film, Fragment, fiber, granule	PE, PP, PS	(۴۴)
۱۰	چین	۲۰۲۳	fluorescence microscope	۳۵۷۳ items·g ^{-۱}	-	-	۷	Pellet, wedge, rod, fibrous	-	(۴۵)
۱۱	هند	۲۰۲۳	ATR-FTIR SEM EDS stereo zoom microscope	۱۱۲۰ particles/kg of soil	-	particles/kg ۱۸۰ of soil	۱۰	Film, fragment, fiber, Foam	PE, PP	(۴۶)
۱۲	ایران	۲۰۲۳	ATR-FTIR stereo microscope	۷۶۵۱۳ items/kg dry soil	-	items/kg dry soil	۶	Fiber, fragment, film pellet	LDPE, HDPE, PP, PES, PET	(۴۷)
۱۳	نیجریه	۲۰۲۳	FT-IR	-	-	-	۲۱	-	PET, PS, PP	(۴۸)
۱۴	قزاقستان	۲۰۲۳	DTX ۵۰۰ LCD Levenhuk microscope	-	۰/۸۱ g ^{-۱}	-	۶	Plate, film, fiber	-	(۴۹)
۱۵	کره	۲۰۲۳	FT-IR microscope analysis	۷۳/۴ MPs(ea)/kg	-	۹۷/۸ MPs(ea)/kg	۵	fragment, fiber, film	PP, PE, PVC, PS, PET, nylon, PMMA	(۵۰)

(GC-MS) gas chromatography with mass spectrometry detector, (SEM) Scanning electron microscope, (FTIR) Fourier Transform Infrared, (Micro-FTIR) Microscopic Fourier transform infrared spectroscopy (LDPE) Low density polyethylene, (PET) polyethylene terephthalate, (PVC) Polyvinyl chloride, (PE) polyethylene, (PS) Polystyrene, (PU) polyurethane, (PP) polypropylene, (PA) Polyamide, (CA) Cellulose acetate, (PBAT) polybutylene adipate terephthalate

الکترونی روبشی با امکان تجزیه و تحلیل پرتو ایکس پراکنده‌ی انرژی (EDX) استفاده شده بود. به تعداد نمونه، شکل و ترکیب میکروپلاستیک‌ها در بعضی از مطالعات اشاره‌ای نشده بود.

بحث و نتیجه‌گیری

میکروپلاستیک‌ها در خاک محل دفن پسماند

اثرهای مضر پسماندهای پلاستیکی انباشته‌شده در خاک محل‌های دفن با توجه به تحقیقات کم در این زمینه، به بررسی و مطالعه‌ی بیشتر نیاز دارد. ورود پلاستیک‌ها و تبدیل آن‌ها به میکروپلاستیک در محل دفن به آلودگی خاک و محیط‌زیست منجر می‌شود [۵۱، ۷]. ترکیب و کمیت پسماند در محل‌های دفن به پارامترهای مختلفی مانند نوع پسماند، سیستم‌های مدیریت و بازیافت، گسترش شهرنشینی و فرهنگ جامعه و کاهش در مبدأ و سیستم دفع بستگی دارد [۵۲]. تفاوت در نوع پسماند به تفاوت در ترکیب و مقدار میکروپلاستیک‌ها منجر می‌شود [۵۲، ۲۵]. شهرهایی که برای بسته‌بندی از کاغذ و مقوا استفاده می‌کنند، پلاستیک تولیدی کمتری دارند [۵۲]. آلودگی میکروپلاستیک‌ها در سکونتگاه‌های شهری در هند ناشی از فعالیت‌های نامناسب مدیریت پسماند بود. به‌طور مثال، در مطالعه‌ای که به این منظور Rafique و همکاران (۲۰۲۰) انجام دادند، نمونه‌ها از کاربری‌های مختلف زمین مانند مناطق کشاورزی، سایت‌های تخلیه‌ی پسماند جدید و قدیمی، مناطق صنعتی، فضای سبز و پارک‌ها، اطراف جاده‌ها و زمین‌های بایر جمع‌آوری شدند [۳۷]. نتایج این مطالعه نشان داد که آلودگی میکروپلاستیک‌ها در شهر لاهور به دلیل فعالیت‌های انسانی و شرایط محیطی است و انتشار این آلاینده‌ی نوظهور با تولید و استفاده از مواد پلاستیکی و فعالیت‌های صنعتی و پسماندهای انسانی مرتبط است. همچنین، این مطالعه بیان کرد که غلظت پایین‌تر MPs در سایت‌های تخلیه‌ی جدید نسبت به سایت‌های قدیمی به دلیل تازه بودن پسماندهای جامد تخلیه‌شده در این مکان‌ها است. بنابراین،

می‌توان نتیجه گرفت برای تجزیه‌ی پلاستیک‌های بزرگ به ذرات MPs ریز مدت‌زمان درخور توجهی لازم است [۳۷]. در مطالعه‌ی دیگری که قربانی‌نژاد و همکاران (۲۰۲۲) به‌منظور تعیین فراوانی میکروپلاستیک‌ها در خاک مجاور لندفیل تهران انجام دادند (جدول ۱)، نتایج حاکی از آن بود که تراکم میکروپلاستیک‌ها در خاک‌های سطحی بیشتر از نمونه‌های برداشته‌شده از خاک‌های عمقی است و دلیل این امر به ماهیت سبک بودن پلاستیک‌ها و رها شدن آن توسط باد در اتمسفر و در نهایت، تجمع در خاک سطحی نسبت داده شد [۳۶]. همچنین، تنوع پلیمری میکروپلاستیک‌های شناسایی‌شده در منطقه‌ی مسکونی مجاور لندفیل تهران بالاتر از سایر مناطق گزارش شد. در مطالعه‌ای که Shentu و همکاران (۲۰۲۳) به‌منظور تعیین توزیع و انتشار MPs بین لایه‌های محل دفن پسماند انجام دادند، نمونه‌ها از داخل و خارج محل دفن پسماند برای شناسایی MPs برداشته و تجزیه و تحلیل شدند که میکروپلاستیک‌های شناسایی‌شده در محل دفن پسماند به‌طور درخور توجهی، بیشتر از خارج محل دفن بود [۴۵].

ترکیب، شکل و رنگ میکروپلاستیک‌ها

با توجه به نتایج حاصل از بررسی مطالعات انجام‌شده در این زمینه (جدول ۱)، می‌توان بیان کرد که پلی‌اتیلن (PE-Polyethylene)، پلی‌پروپیلن (PP-Polypropylene)، پلی‌اتیلن ترفتالات (PET-Polyethylene terephthalate) و پلی‌وینیل کلراید (PVC-Polyvinyl chloride) از جمله انواع پلیمرهای اصلی شناسایی‌شده در خاک محل دفن بودند. در مطالعه‌ی Kim و همکاران (۲۰۲۳) ، بالاترین فراوانی ترکیب میکروپلاستیک در محل دفن پسماند مربوط به PE و PP با فراوانی ۶۵ درصد بود و رنگ سیاه بالاترین نسبت (حدود ۳۰ درصد) را به خود اختصاص داد که ممکن است به دلیل استفاده‌ی گسترده در زندگی روزمره برای اهداف مختلف مانند لاستیک، سیم، منسوجات و بسته‌بندی باشد [۵۰]. در مطالعه‌ی Wan و همکاران، در میان اشکال مختلف میکروپلاستیک‌ها،

شکل های فیلم (film)، قطعه (fragment) و فیبر (fiber) غالب بودند [۱۳]. تفاوت در اشکال میکروپلاستیک ممکن است به دلیل تفاوت در ترکیب پسماند پلاستیکی و فرایندهای هوازدهی در محل دفن پسماند باشد. رنگ میکروپلاستیک ها نیز متنوع (آبی، زرد، مشکی، بنفش، قرمز، سبز، سفید و شفاف) است، اما در بیشتر نمونه ها، میکروپلاستیک های شفاف غالب هستند؛ زیرا اکثر محصولات پلاستیکی رایج مانند کیسه ی پلاستیکی، بسته بندی و ظروف یک بار مصرف معمولاً شفاف هستند [۱۳].

اندازه ی میکروپلاستیک ها و نمونه برداری از آن ها

در مطالعات بررسی شده، اندازه ی ذرات میکروپلاستیک ها در گستره های متفاوتی از کمتر از $10 \mu\text{m}$ تا بیش از 5 mm شناسایی شدند. اما به طور کلی، اکثر مطالعات اندازه ی کمتر از $100 \mu\text{m}$ را برای میکروپلاستیک های شناسایی شده در خاک محل دفن پسماند گزارش کردند. اندازه ی کوچک تر ذرات میکروپلاستیک های شناسایی شده می تواند ناشی از افزایش سن محل دفن و افزایش میزان تجزیه ی فیزیکی پسماندهای پلاستیکی در محل دفن در نتیجه ی قرار گرفتن بیشتر در معرض عوامل محیطی و هوادیدگی باشد. در مطالعه ی انجام شده توسط Rafique و همکاران، از ۸ منطقه ی مختلف بین ۴ تا ۸ مورد نمونه برداری شد و نمونه های فرعی نیز با وزنی حدود ۵۰۰ گرم از فاصله ی ۲/۵ متری برداشته و با یکدیگر ترکیب شدند [۳۷]. همچنین، برای استخراج میکروپلاستیک ها از خاک، از روش جداسازی فیزیکی مبتنی بر چگالی استفاده شده بود. نتایج متفاوت در مطالعات حاضر ممکن است با تعدد نمونه برداری به صورت همگن یا از عمق های متفاوت یا تعدد نمونه برداری در فواصل زمانی متفاوت مرتبط باشد. در مطالعه ی Sarka و همکاران، برای توزیع یکنواخت نقاط نمونه برداری، از نمونه گیری تصادفی طبقه ای استفاده شد [۵۳]. در مطالعه ی Wan و همکاران، ۱۲ نمونه در عمق های مختلف ۲/۳ تا ۱۴ متر با حفاری و گودبرداری جمع آوری شد و سپس، نمونه ها از

الک با اندازه ی منافذ بیش از ۲ میلی متر عبور داده شدند [۱۳]. در مطالعه ی قربانی نژاد و همکاران، برای نمونه برداری از سطح خاک، ۳ نمونه از سطح خاک با ابعاد 0.5 m در 0.5 m و از عمق 0.5 cm ۳-۰ برداشته و با هم مخلوط شدند [۴۰]. همچنین، از قسمت عمقی خاک نیز نمونه برداری به همین صورت انجام گرفت و حدود یک کیلو گرم خاک از هر نقطه جمع آوری شد و در مجموع، ۲۰ نمونه از خاک سطحی ($0-3 \text{ cm}$) و عمقی ($3-6 \text{ cm}$) برداشته شد. در مطالعات، معمولاً عمق نمونه برداری از خاک در محدوده ی ۲ تا ۱۰ سانتی متر متغیر است. برخی از محققان هم از روش های بازه ای ($0-3$ سانتی متر، $3-6$ سانتی متر یا $10-30$ سانتی متر) برای نمونه برداری استفاده کرده اند. بر اساس مطالعات، می توان گفت که استفاده از روش مناسب نمونه گیری و تعداد نمونه ی مناسب یکی از مراحل مهم برای اطمینان از نتایج است. از طرفی، با توجه به پیچیدگی و ناهمگونی بافت خاک و گستره ی وسیع اندازه ی ذرات میکروپلاستیک، نمونه برداری نامناسب ممکن است به حاصل شدن داده های غیرقابل اعتماد منجر شود. با این حال، هنوز روش نمونه گیری استاندارد برای میکروپلاستیک ها از محیط های جامد وجود ندارد.

روش شناسایی میکروپلاستیک ها

برای شناسایی میکروپلاستیک ها از میکروسکوپ ها و ماژول های میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) استفاده شده بود [۵۴، ۵۳]. همچنین، از میکروسکوپ الکترونی روبشی با امکان تجزیه و تحلیل پراکندگی انرژی پرتو ایکس (EDX) استفاده شده بود [۱۳]. میکروسکوپ ها وجود انواع مختلفی از ذرات پلاستیک تخریب شده مانند قطعات، فیلم های میکروپلاستیک و الیاف را نشان دادند [۱۳]. روش های دیگری از جمله استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی با آشکارساز طیف سنجی جرمی (GC-MS)، روش Micro-FT-IR و میکروسکوپ فلورسانس نیز برای شناسایی میکروپلاستیک ها

استفاده شده بود. با توجه به نتایج جدول ۱، می‌توان گفت که استرئومیکروسکوپ و طیف‌سنجی توسط طیف‌سنج FTIR برای شناسایی و شمارش میکروپلاستیک‌ها بیشترین کاربرد را در مطالعات داشتند [۳۸، ۱۹].

فراوانی و غلظت میکروپلاستیک در محل دفن پسماند و خاک زیرین

فراوانی میکروپلاستیک‌ها در خاک زیرین می‌تواند به میزان آلودگی میکروپلاستیک‌ها، انتقال توسط شیرابه و ساختار خاک مرتبط باشد. در مطالعه‌ی Wan و همکاران، فراوانی میکروپلاستیک‌های شناسایی‌شده در پسماند استخراج‌شده از محل دفن پسماند از ۵۷۰ تا ۱۴۲۰۰ مورد در هر کیلوگرم خاک متغیر بود [۱۳]. در این مطالعه، فراوانی میکروپلاستیک‌ها در خاک زیرین محل دفن پسماند در سطح متوسطی بود که ممکن است به تاریخچه‌ی دفن و ترکیب نمونه‌ها مربوط باشد. همچنین، حدود ۸۵ درصد از میکروپلاستیک‌های موجود در شیرابه و نمونه‌های آب زیرزمینی در محدوده‌ی ۲۰ تا ۱۵۰ میکرومتر بودند که نسبت به میکروپلاستیک‌های خاک زیرین محل دفن پسماند کوچک‌تر است. این امر نشان می‌دهد احتمال انتقال ریزپلاستیک‌های کوچک‌تر به شیرابه‌های محل دفن پسماند و آب‌های زیرزمینی بیشتر است [۵۴]. درحالی‌که میکروپلاستیک‌های بزرگ‌تر می‌توانند در پسماندها یا منافذ خاک محبوس شوند [۱۳]. مطابق با جدول ۱، نتایج غربالگری نشان داد که غلظت میکروپلاستیک‌ها در خاک محل دفن متفاوت و متأثر از عوامل مختلفی است. در مطالعه‌ای که قربانی‌نژاد و همکاران با هدف شناسایی میکروپلاستیک‌ها (MPs) و مزوپلاستیک‌ها (MEPs) در خاک اطراف لندفیل شهر تهران انجام دادند، نتایج نشان داد که غلظت میکروپلاستیک‌های شناسایی‌شده متأثر از عمق نمونه‌برداری است و تفاوت آماری معنی‌داری بین فراوانی میکروپلاستیک‌های شناسایی‌شده در خاک سطحی و عمقی وجود دارد [۴۰، ۴۱].

نتایج این مطالعه بیانگر تراکم بالاتر میکرو و مزوپلاستیک‌ها در خاک‌های سطحی نسبت به خاک‌های عمقی بود که می‌تواند ناشی از رها شدن پلاستیک‌ها در اتمسفر به دلیل ماهیت سبک آن‌ها و در نهایت، تجمع آن‌ها در خاک‌های سطحی اطراف محل دفن باشد. نتایج حاصل از سایر مطالعات نیز بیانگر این موضوع بود که فراوانی میکروپلاستیک در عمق‌های مختلف نمونه‌برداری متفاوت است [۵۵]. معمولاً میکروپلاستیک‌های کوچک در محل‌های دفنی که در آن‌ها، پسماندهای پلاستیکی درجه‌ی بالایی از هوازدهی را تجربه کرده‌اند، از فراوانی بیشتری برخوردار بودند. بنابراین، می‌توان گفت که غلظت میکروپلاستیک‌ها با افزایش سن محل دفن و سن ماده‌ی پلاستیکی افزایش می‌یابد [۵۲، ۷]. همواره مقداری مهاجرت و تجمع جزئی میکروپلاستیک‌ها در خاک اطراف محل دفن وجود دارد [۵۶]. تفاوت در مقادیر میکروپلاستیک‌ها بین محل‌های دفن پسماند ممکن است به عوامل مختلفی مانند نوع پسماند، ویژگی‌های خاک محل دفن پسماند و خاک اطراف، مکان‌های جمع‌آوری پسماند و... بستگی داشته باشد. اما باید توجه کرد که برخی از میکروپلاستیک‌ها ممکن است از پسماند سرچشمه نگیرند و ممکن است از فعالیت‌های انسانی دیگر که در مناطق اطراف محل دفن انجام می‌شوند، مانند عبور وسایل نقلیه و... منشأ گرفته باشند [۵۸، ۵۷، ۵۰]. بنابراین، برای محدود کردن مقادیر عناصر سمی واردشده به اکوسیستم، باید اقدامات احتیاطی انجام شود و استراتژی‌های مدیریت پسماند بهتری لحاظ شود [۵۹]. شیرابه‌ی پسماند در محل دفن نیز حاوی میکروپلاستیک است که خواص اسیدی شیرابه به تجزیه‌ی زودتر پلاستیک و تولید میکروپلاستیک بیشتر و انتقال سریع‌تر آن به آب‌های زیرزمینی سطحی و محیط اطراف منجر می‌شود [۶۱، ۶۰، ۲۰]. جامعه‌ی میکروبی نیز در تجزیه‌ی میکروپلاستیک‌ها اثر می‌گذارد [۶۲]. تنوع جامعه‌ی میکروبی به نوع خاک نیز وابسته است [۶۳]. میکروپلاستیک‌ها در محل‌های دفن پسماند غیربهداشتی، بدون حفاظت کافی می‌توانند راحت‌تر به محیط اطراف نشت

کنند [۶۴، ۶۵]. نتایج مطالعه‌ی Wan و همکاران نشان داد که میکروپلاستیک‌ها می‌توانند از محل دفن پسماند به خاک زیرین در محل‌های دفن پسماند، خصوصاً در محل‌های دفن غیربهداشتی منتقل شوند [۶۶، ۱۳]. علاوه بر این، میکروپلاستیک‌ها در خاک ممکن است تأثیر چشمگیری بر تخریب زیستی و ساختار خاک داشته باشد [۵۰].

این پژوهش مطالعه‌ای مروری و سیستماتیک در خصوص بررسی آلودگی میکروپلاستیک‌ها در خاک محل دفن پسماند شهری بود. نتایج حاصل از بررسی مطالعات نشان داد که تحقیقات مربوط به آلودگی میکروپلاستیک‌ها در خاک محل‌های دفن پسماند در مقایسه با سایر محیط‌ها، فراوانی کمتری دارد. دلیل مطالعات کمتر در این زمینه می‌تواند ناشی از پیچیدگی بافت خاک و دشواری ارزیابی MPs در این محیط‌ها باشد. با وجود این، محل‌های دفن بررسی شده حاوی میکروپلاستیک‌هایی با اندازه، ترکیب، شکل و فراوانی مختلف هستند که به واسطه‌ی دفن غیراصولی پسماند شهری به خاک اطراف لندفیل وارد می‌شوند و می‌توانند باعث آلودگی محیط‌زیست، انتقال توسط شیرابه به آب‌های زیرزمینی و انتقال به زمین‌های کشاورزی اطراف شوند. این ترکیبات می‌توانند علاوه بر آلودگی خاک، به آلودگی منابع آبی، هوا، گیاهان و محصولات کشاورزی منجر شوند و نهایتاً به زنجیره‌ی غذایی انسان ورود کنند؛ بنابراین، می‌توانند سلامت انسان، محیط‌زیست و سایر جانداران را به‌طور جدی تحت تأثیر قرار دهند. پیشنهاد می‌شود با توجه به اهمیت آلودگی میکروپلاستیک‌ها در محیط، توجه بیشتری به حضور آن‌ها در خاک شود و مطالعات بیشتری در خصوص بررسی آلودگی MPs در خاک‌های نزدیک به محل‌های دفن پسماند انجام شود و روش‌های تحقیقاتی، نمونه‌برداری، آنالیز و غربالگری طبق استانداردهای دقیق‌تری صورت گیرد. استفاده از

روش‌های نوین برای دفع پسماند، تفکیک در مبدأ و جلوگیری از دفع پلاستیک‌های بازیافت‌شدنی به محل‌های دفن، افزایش آگاهی و آموزش راجع به کاهش مصرف مواد حاوی پلاستیک، وضع قوانین سخت‌گیرانه در خصوص مدیریت پسماند‌های حاوی این ترکیبات و ابداع استراتژی‌های بهتر مدیریت پسماند از اهمیت زیادی برخوردار است. از آنجایی که منابع انتشار میکروپلاستیک‌ها یکی از عوامل مؤثر بر فراوانی آن‌ها در محیط‌زیست است، می‌توان با انجام فعالیت‌های کاهش در مبدأ، بازیافت و همچنین، بهره‌برداری مناسب از لندفیل‌ها، تا حد زیادی آلودگی خاک اطراف مکان‌های دفن پسماند به این آلاینده‌ی نوظهور و پایدار در محیط‌زیست را مدیریت کرد. علاوه بر این، لازم است که اقداماتی برای بهبود وضعیت فعلی خاک‌های آلوده به MP صورت گیرد و به پاک‌سازی و تصفیه‌ی آن‌ها با روش‌های بیولوژیکی و نوین پرداخته شود.

قدردانی

این مقاله با کد اخلاق IR.BUMS.REC.1402.268 در کمیته‌ی اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی بیرجند به تصویب رسیده است. از تمام کسانی که در این پژوهش ما را یاری کردند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

تضاد در منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که تضاد منافی در این مطالعه وجود ندارد.

References

1. Fanaei F, Moussavi G, Shekooihiyan S. Enhanced treatment of the oil-contaminated soil using

- biosurfactant-assisted washing operation combined with H₂O₂-stimulated biotreatment of the effluent. *Journal of Environmental Management* 2020; 271: 110941.
2. Eslami A, Ghafari M, Sohabatloo V, Fanaei F. Safety Assessment of Zanjan Drinking Water System Using Water Safety Plan. *jhehp* 2017; 2(3) :138-46.
 3. Iqbal S, Xu J, Allen SD, Khan S, Nadir S, Arif MS, et al. Unraveling consequences of soil micro-and nano-plastic pollution on soil-plant system: Implications for nitrogen (N) cycling and soil microbial activity. *Chemosphere* 2020; 260: 127578.
 4. He D, Luo Y, Lu S, Liu M, Song Y, Lei L. Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 2018; 109: 163-72.
 5. Havugimana E, Bhople BS, Kumar A, Byiringiro E, Mugabo JP, Kumar A. Soil pollution—major sources and types of soil pollutants. *Environmental science and engineering* 2017; 11: 53-86.
 6. Golwala H, Zhang X, Iskander SM, Smith AL. Solid waste: An overlooked source of microplastics to the environment. *Science of the Total Environment* 2021; 769: 144581.
 7. Mortazavi M, Shahryari T, Fanaei F, Barikbin B. Safety Assessment of Supply and Distribution Management of Drinking Water in Torbat Jam Using WSP-QA TOOL Software. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Fall 2019;5(3): 230-8 (Persian).
 8. Su Y, Zhang Z, Wu D, Zhan L, Shi H, Xie B. Occurrence of microplastics in landfill systems and their fate with landfill age. *Water Research* 2019; 164: 114968.
 9. Fanaei F, Moussavi G, Shekoohiyan S. Enhanced bioremediation of oil-contaminated soil in a slurry bioreactor by H₂O₂-stimulation of oil-degrading/biosurfactant-generating bacteria: performance optimization and bacterial metagenomics. *Biodegradation* 2023; 34(1): 83-101.
 10. Aali R, Fahiminia M, Asadi-Ghalhari M, Fanaei F, Mostafaloo R, Kishipour A. Accomplishment of water safety plan using quality assurance tool in 2020-2021: A case study in a western city of Gilan province, Iran. *Environ. Health Eng. Manag* 2021; 8(4) :287-94.
 11. Fanaei, F.; Shahryari, T.; Mortazavi, M.; Nasseh, N.; Pourakbar, M.; Barikbin, B. Hazard identification and integrated risk assessment of drinking water supply system from catchment to consumer based on the World Health Organization's Water Safety Plan. *Desalination Water Treat* 2023; 286: 257–73
 12. Gu J-D. Biodegradability of synthetic plastics and polymeric materials: An illusion or reality in waste managements. *Applied* 2020.
 13. Wan Y, Chen X, Liu Q, Hu H, Wu C, Xue Q. Informal landfill contributes to the pollution of microplastics in the surrounding environment. *Environmental Pollution* 2022; 293: 118586.
 14. Kim YN, Yoon JH, Kim KH. Microplastic contamination in soil environment—a review. *Soil Science Annual* 2021; 71(4): 300-8.
 15. Fuller S, Gautam A. A procedure for measuring microplastics using pressurized fluid extraction. *Environmental science & technology* 2016; 50(11): 5774-80.
 16. Monkul MM, Özhan HO. Microplastic contamination in soils: A review from geotechnical engineering view. *Polymers* 2021; 13(23): 4129.
 17. Lithner D, Larsson Å, Dave G. Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science of the total environment* 2011; 409(18): 3309-24.
 18. Hou L, Kumar D, Yoo CG, Gitsov I, Majumder EL-W. Conversion and removal strategies for microplastics in wastewater treatment plants and landfills. *Chemical Engineering Journal* 2021; 406: 126715.
 19. Galafassi S, Nizzetto L, Volta P. Plastic sources: A survey across scientific and grey literature for their inventory and relative contribution to microplastics pollution in natural environments, with an emphasis on surface water. *Science of The Total Environment* 2019; 693: 133499.
 20. He P, Chen L, Shao L, Zhang H, Lü F. Municipal solid waste (MSW) landfill: A source of microplastics?-Evidence of microplastics in landfill leachate. *Water research* 2019; 159: 38-45.
 21. Silva AL, Prata JC, Duarte AC, Soares AM, Barceló D, Rocha-Santos T. Microplastics in landfill leachates: The need for reconnaissance studies and remediation technologies. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 2021; 3: 100072.
 22. Zhao S, Zhang Z, Chen L, Cui Q, Cui Y, Song D, et al. Review on migration, transformation and ecological impacts of microplastics in soil. *Applied Soil Ecology* 2022; 176: 104486.
 23. Sharifi H, Movahedian Attar H. A review of microplastics measuring methods in water and wastewater bodies. *Iranian Journal of Health and Environment* 2021; 14(1): 173-90 (Persian).

24. Hahladakis JN, Velis CA, Weber R, Iacovidou E, Purnell P. An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *Journal of hazardous materials* 2018; 344: 179-99.
25. Kishipour A, Mostafaloo R, Arast Y, Asadi Ghalhari M. Micro-plastics as a new Challenge in Water Resource Management; Various forms and Removal Methods,(A review study). *Environmental Health* 2020; 6(1): 34-44.
26. Nizzetto L, Bussi G, Futter MN, Butterfield D, Whitehead PG. A theoretical assessment of microplastic transport in river catchments and their retention by soils and river sediments. *Environmental Science: Processes & Impacts* 2016; 18(8): 1050-9.
27. Wu X, Lu J, Du M, Xu X, Beiyuan J, Sarkar B, et al. Particulate plastics-plant interaction in soil and its implications: A review. *Science of the Total Environment* 2021; 792: 148337.
28. Beckingham B, Ghosh U. Differential bioavailability of polychlorinated biphenyls associated with environmental particles: Microplastic in comparison to wood, coal and biochar. *Environmental pollution* 2017; 220: 150-8.
29. Bradney L, Wijesekara H, Palansooriya KN, Obadamudalige N, Bolan NS, Ok YS, et al. Particulate plastics as a vector for toxic trace-element uptake by aquatic and terrestrial organisms and human health risk. *Environment international* 2019; 131: 104937.
30. Tafvizi M, Babaakbari M, Delavar MA. Effect of Low-Density Polyethylene Microplastic Particles on Some Biological Properties and Enzymatic Activity in a Calcareous Soil. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 2021; 52(5): 1287-97 (persian).
31. Prata JC. Airborne microplastics: consequences to human health? *Environmental pollution* 2018; 234: 115-26.
32. Rahman A, Sarkar A, Yadav OP, Achari G, Slobodnik J. Potential human health risks due to environmental exposure to nano-and microplastics and knowledge gaps: A scoping review. *Science of the Total Environment* 2021; 757: 143872.
33. Ingrassia R, Amato G, Iovino M, Rillig MC, Giambalvo D, Frenda AS. Polyester microplastic fibers in soil increase nitrogen loss via leaching and decrease plant biomass production and N uptake. *Environmental Research Letters* 2022; 17(5): 054012.
34. Liu H, Yang X, Liu G, Liang C, Xue S, Chen H, et al. Response of soil dissolved organic matter to microplastic addition in Chinese loess soil. *Chemosphere* 2017; 185: 907-17.
35. Guo JJ, Huang XP, Xiang L, Wang YZ, Li YW, Li H, et al. Source, migration and toxicology of microplastics in soil. *Environment international* 2020; 137: 105263.
36. Ren Z, Gui X, Xu X, Zhao L, Qiu H, Cao X. Microplastics in the soil-groundwater environment: aging, migration, and co-transport of contaminants—a critical review. *Journal of Hazardous Materials* 2021; 419: 126455.
37. 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.
38. Afrin S, Uddin M, Rahman M. Microplastics contamination in the soil from urban landfill site, Dhaka, Bangladesh. *Heliyon* 2020; 6(11).
39. Li N, Han Z, Guo N, Zhou Z, Liu Y, Tang Q. Microplastics spatiotemporal distribution and plastic-degrading bacteria identification in the sanitary and non-sanitary municipal solid waste landfills. *Journal of Hazardous Materials* 2022; 438: 129452.
40. Ghorbaninejad Fard Shirazi MM, Shekoohiyan S, Moussavi G, Heidari M. Frequency and ecological risk of microplastics and mesoplastics in the soil of residential areas near Tehran landfill in 2021. *Iranian Journal of Health and Environment* 2022; 15(1): 49-72 (Persian).
41. Ghorbaninejad Fard Shirazi MM, Shekoohiyan S, Moussavi G, Heidari M. Microplastics and mesoplastics as emerging contaminants in Tehran landfill soils: The distribution and induced-ecological risk. *Environmental Pollution* 2023; 324: 121368.
42. Leitão IA, Van Schaik L, Ferreira A, Alexandre N, Geissen V. The spatial distribution of microplastics in topsoils of an urban environment-Coimbra city case-study. *Environmental Research* 2023; 218: 114961.
43. Billings A, Carter H, Cross RK, Jones KC, Pereira MG, Spurgeon DJ. Co-occurrence of macroplastics, microplastics, and legacy and emerging plasticisers in UK soils. *Science of the Total Environment* 2023; 880: 163258.
44. Lou F, Wang J, Sima J, Lei J, Huang Q. Mass concentration and distribution characteristics of microplastics in landfill mineralized refuse using efficient quantitative detection based on Py-GC/MS. *Journal of Hazardous Materials* 2023; 459: 132098.
45. Guo S, Wu Z, Li X, Shen D, Shentu J, Lu L, et al. Microplastic, a possible trigger of landfill sulfate reduction process. *Science of The Total Environment*

- 2024; 906: 167662.
46. Mahesh S, Gowda NK, Mahesh S. Identification of microplastics from urban informal solid waste landfill soil; MP associations with COD and chloride. *Water Science and Technology* 2023; 87(1): 115-29.
 47. Rahmani A, Boroojerdi MN, Seid-Mohammadi A, Shabanloo A, Zabihollahi S, Zafari D. Abundance and characteristics of microplastics in different zones of waste landfill site: A case study of Hamadan, Iran. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 2023; 8: 100494.
 48. Ibor OR, Mpama NO, Okoli CP, Ogarekpe DM, Edet UO, Ajang RO, et al. Occurrence, identification and characterization of plastic pollution from an open solid waste dumpsite in Calabar, Southern Nigeria. *Environmental Advances* 2023; 11: 100338.
 49. Salikova NS, Rodrigo-Ilarri J, Rodrigo-Clavero M-E, Urazbayeva SE, Askarova AZ, Magzhanov KM. Environmental Assessment of Microplastic Pollution Induced by Solid Waste Landfills in the Akmola Region (North Kazakhstan). *Water* 2023; 15(16): 2889.
 50. Kim WK, Park H, Ishii K, Ham GY. Investigation on Microplastics in Soil near Landfills in the Republic of Korea. *Sustainability* 2023; 15(15): 12057.
 51. Duan J, Bolan N, Li Y, Ding S, Atugoda T, Vithanage M, et al. Weathering of microplastics and interaction with other coexisting constituents in terrestrial and aquatic environments. *Water Research* 2021; 196: 117011.
 52. Jani Y, Kaczala F, Marchand C, Hogland M, Kriipsalu M, Hogland W, et al. Characterisation of excavated fine fraction and waste composition from a Swedish landfill. *Waste Management & Research* 2016; 34(12): 1292-9.
 53. Sarkar A, Deb S, Ghosh S, Mandal S, Quazi SA, Kushwaha A, et al. Impact of anthropogenic pollution on soil properties in and around a town in Eastern India. *Geoderma Regional* 2022; 28: e00462.
 54. Natesan U, Vaikunth R, Kumar P, Ruthra R, Srinivasalu S. Spatial distribution of microplastic concentration around landfill sites and its potential risk on groundwater. *Chemosphere* 2021; 277: 130263.
 55. O'connor D, Pan S, Shen Z, Song Y, Jin Y, Wu WM, et al. Microplastics undergo accelerated vertical migration in sand soil due to small size and wet-dry cycles. *Environmental Pollution* 2019; 249: 527-34.
 56. Li J, Song Y, Cai Y. Focus topics on microplastics in soil: analytical methods, occurrence, transport, and ecological risks. *Environmental Pollution* 2020; 257: 113570.
 57. Koutnik VS, Leonard J, Alkidim S, Deprima FJ, Ravi S, Hoek EM, et al. Distribution of microplastics in soil and freshwater environments: Global analysis and framework for transport modeling. *Environmental Pollution* 2021; 274: 116552.
 58. Petersen F, Hubbart JA. The occurrence and transport of microplastics: The state of the science. *Science of the Total Environment* 2021; 758: 143936.
 59. Waheed S, Siddique N, Hamid Q, Chaudhry M. Assessing soil pollution from a municipal waste dump in Islamabad, Pakistan: a study by INAA and AAS. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 2010; 285(3): 723-32.
 60. Narevski AC, Novaković MI, Petrović MZ, Mihajlović IJ, Maoduš NB, Vujić GV. Occurrence of bisphenol A and microplastics in landfill leachate: lessons from South East Europe. *Environmental Science and Pollution Research* 2021; 28: 42196-203.
 61. Praagh MV, Hartman C, Brandmyr E. Microplastics in landfill leachates in the nordic countries. *Nordisk Ministerråd* 2018.
 62. Park SY, Kim CG. Biodegradation of micro-polyethylene particles by bacterial colonization of a mixed microbial consortium isolated from a landfill site. *Chemosphere* 2019; 222: 527-33.
 63. Rogers KL, Carreres-Calabuig JA, Gorokhova E, Posth NR. Micro-by-micro interactions: How microorganisms influence the fate of marine microplastics. *Limnology and Oceanography Letters* 2020; 5(1): 18-36.
 64. Yang L, Zhang Y, Kang S, Wang Z, Wu C. Microplastics in soil: A review on methods, occurrence, sources, and potential risk. *Science of the Total Environment* 2021; 780: 146546.
 65. Upadhyay K, Bajpai S. Microplastics in Landfills: A Comprehensive Review on Occurrence, Characteristics and Pathways to the Aquatic Environment. *Nature Environment & Pollution Technology* 2021; 20.
 66. O'kelly BC, El-Zein A, Liu X, Patel A, Fei X, Sharma S, et al. Microplastics in soils: An environmental geotechnics perspective. *Environmental Geotechnics* 2021; 8(8): 586-618.