DOI: 10.48305/jhsr.v21i1.1589 Published by Vesnu Publications

Journal of Health System Research Vol. 21, No. 1, Spring

Received: 03.02.2024 Accepted: 12.08.2024 Published: 04.04.2025

Investigation of Microplastics in Ready-to-Use Compost in the Urban and Agricultural Green Spaces of Isfahan City, Iran

Leila Gheisari[1], Karim Ebrahimpour[2], Hamidreza Pourzamani[3]

Original Article

Abstract

Background: The environmental and health hazards posed by microplastics (particles < 5 mm) have raised significant concerns in contemporary society. This study investigates the quantity, types, and forms of microplastics present in ready-to-use compost from urban and agricultural green spaces in Isfahan City, Iran, in 2023.

Methods: In this study, we analyzed the frequency, types, and morphological characteristics of microplastics in ready-to-use compost sourced from urban and agricultural green spaces in Isfahan City. We employed various methods, including sieving, Fenton digestion, flotation based on density with saturated salt, and filtration, to separate microplastic particles. A stereo microscope was utilized to count and characterize their shapes, while Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy was used to identify the types of polymers present.

Findings: The study revealed an average of 36145.8 ± 7395.1 microplastic particles per kilogram of compost. Microplastics measuring between 1000 and 5000 µm constituted the highest frequency, accounting for 78% of the total. Five types of polymers were identified in the ready-to-use compost: polyethylene terephthalate (PET), polypropylene (PP), polyethylene (PE), polystyrene (PS), and polyvinyl chloride (PVC), with PET being the most prevalent at 28.7%. Microplastics were observed in various forms, including fibers, foam, fragments, and films, with fibers being the most common form, comprising 60% of the total.

Conclusion: The concentration of microplastics in ready-to-use compost from urban and agricultural green spaces in Isfahan City is comparable to levels found in other studies conducted within the country; however, it is notably higher than those observed in countries where organic materials are properly segregated. Due to the lack of standardized limits for microplastics in compost, making international comparisons is challenging. The choice of methodologies for sampling, separation, identification protocols, measurement, and the establishment of permissible limits significantly influences study outcomes. Hence, it is crucial to establish standardized methods to ensure consistency and accuracy in assessing microplastics in compost.

Keywords: Microplastics; Compost; Plastics; Green space; Iran

Citation: Gheisari L, Ebrahimpour K, Pourzamani H. **Investigation of Microplastics in Ready-to-Use Compost in the Urban and Agricultural Green Spaces of Isfahan City, Iran.** J Health Syst Res 2025; 21(1): 113-21.

1- MSc Student, Student Research Committee AND Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
2- Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health AND Environmental Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
3- Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health AND Environmental Research Center, Non-communicable Disease Prevention Research Institute, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
Corresponding Author: Hamidreza Pourzamani; Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health AND Environmental Research Center, Non-communicable Disease Prevention Research Institute, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
Email: hamidpourzamani@gmail.com

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-05-16]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i1.1589]

DOI: 10.48305/jhsr.v21i1.1589 Published by Vesnu Publications

بررسی میکروپلاستیک‌های موجود در کمپوست آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشاورزی اصفهان

لیلا قیصری[1]، کریم ابراهیم‌پور[2]، حمیدرضا پورزمانی[3]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: پتانسیل خطرات زیست محیطی و سلامتی میکروپلاستیک‌ها (ذرات کمتر از ۵ میلی‌متر)، نگرانی‌های زیادی را در جامعه امروزی ایجاد می‌کند. پژوهش حاضر با هدف بررسی مقدار، نوع و شکل میکروپلاستیک‌های موجود در کمپوست آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشاورزی اصفهان در سال ۱۴۰۲ انجام شد.

روش‌ها: در این مطالعه، تجزیه و تحلیل فراوانی، نوع و ویژگی‌های مورفولوژیک میکروپلاستیک‌ها در کمپوست آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشاورزی اصفهان با استفاده از روش الک کردن، هضم فنتونی، شناورسازی بر اساس چگالی با نمک اشباع و فیلتراسیون به منظور جداسازی ذرات میکروپلاستیک و استفاده از میکروسکوپ استریو جهت شمارش و تعیین شکل و انجام طیف‌سنجی Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) برای شناسایی نوع پلیمرهای میکروپلاستیک‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: به طور میانگین، ۷۳۹۵/۱ ± ۳۶۱۴۵/۸ ذره میکروپلاستیک در هر کیلوگرم کمپوست وجود داشت. میکروپلاستیک‌های شمارش شده در بازه ۵۰۰۰-۱۰۰۰ میکرومتر بیشترین فراوانی (۷۸ درصد) را به خود اختصاص دادند. پنج پلیمر شامل پلی‌اتیلن ترفتالات (Polyethylene terephthalate یا PET)، پلی‌پروپیلن (Polypropylene یا PP)، پلی‌اتیلن (Polyethylene یا PE)، پلی‌استایرن (Polyestyrene یا PS) و پلی‌وینیل کلراید (Polyvenyle chloride یا PVC) در کمپوست آماده مصرف شناسایی گردید که رایج‌ترین ترکیب استخراج شده مربوط به پلیمر PET با میزان ۲۸/۷ درصد بود. میکروپلاستیک‌ها به اشکال الیاف، فوم، قطعه‌ای شکل و فیلم مشاهده شدند که میکروپلاستیک‌ها با شکل الیاف با میزان ۶۰ درصد، بیشترین شکل را داشت.

نتیجه‌گیری: مقدار میکروپلاستیک‌های موجود در کمپوست آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشاورزی اصفهان مشابه سایر تحقیقات انجام شده در کشور است، اما نسبت به سایر کشورهایی که مواد آلی به صورت مجزا جمع‌آوری می‌شود، خیلی بالاتر می‌باشد. استانداردی در رابطه با تعداد میکروپلاستیک‌ها در کمپوست وجود ندارد و در نتیجه، امکان مقایسه نیست. متفاوت بودن روش‌های تعیین میکروپلاستیک‌ها، تأثیر زیادی روی نتایج دارد. بنابراین، تعیین روش‌های استاندارد برای نمونه‌برداری، جداسازی، پروتکل‌های شناسایی، اندازه‌گیری و حدود مجاز میکروپلاستیک‌ها در کمپوست از اهمیت زیادی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: میکروپلاستیک‌ها؛ کمپوست؛ پلاستیک‌ها؛ فضای سبز؛ ایران

ارجاع: قیصری لیلا، ابراهیم‌پور کریم، پورزمانی حمیدرضا. **بررسی میکروپلاستیک‌های موجود در کمپوست آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشاورزی اصفهان.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۴۰۴؛ ۲۱ (۱): ۱۲۱-۱۱۳

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۵/۲۲ تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۱/۱۵

مقدمه

تولید، مصرف و ضایعات پلاستیک در دهه‌های گذشته به سرعت در سراسر جهان در حال رشد است (۱). طبق داده‌های موجود اخیر، تولید جهانی پلاستیک در سال ۲۰۲۰ حدود ۳۶۷ میلیون تن بود (۲). حدود ۸۰ درصد پلاستیک تولید شده در جهان در شش گروه پلی‌اتیلن (Polyethylene یا PE)، پلی‌پروپیلن (Polypropylene یا PP)، پلی‌وینیل کلراید (Polyvenyle chloride یا PVC)، پلی‌اورتان (Polyurethane یا PUR)، پلی‌اتیلن ترفتالات (Poly ethylene terphthalte یا PET) و پلی‌استایرن (Polyestyrene یا PS) قرار می‌گیرد (۳). بیشترین مورد استفاده از پلاستیک مربوط به صنعت بسته‌بندی (۴۷ درصد) است. در هر ساعت در ایالات متحده آمریکا، ۳ میلیون بطری آب استفاده که کمتر از ۳۰ درصد آن بازیافت می‌شود (۴). با تولید و مصرف گسترده محصولات پلاستیکی، تخمین زده می‌شود که میزان زباله‌های پلاستیکی ۱۲۰۰۰ میلیون تن در پایان سال ۲۰۵۰ میلادی باشد (۵). هر سال حدود ۸ تا ۱۱ میلیون تن زباله پلاستیکی به اقیانوس‌ها وارد می‌شود (۳).

جمعیت رو به رشد انسانی ما را به سمت یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست محیطی به نام مدیریت پسماند سوق داده است. فن‌آوری‌های کمپوست روش کارامدی به منظور مدیریت پسماندهای آلی است؛ چرا که حدود ۵۰ درصد از حجم و وزن پسماندهای اولیه را کاهش می‌دهد. کمپوست از مواد مختلفی از

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، کمیته تحقیقات دانشجویی و گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۳- استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و مرکز تحقیقات محیط زیست، پژوهشکده پیشگیری از بیماری‌های غیر واگیر، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
نویسنده مسؤول: حمیدرضا پورزمانی؛ استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و مرکز تحقیقات محیط زیست، پژوهشکده پیشگیری از بیماری‌های غیر واگیر، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
Email: hamidpourzamani@gmail.com

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-05-16]
[DOI: 10.48305/jhsr.v21i1.1589]

جمله زباله‌های خانگی، زباله‌های حاصل از کشاورزی و فرآوری مواد غذایی تولید می‌شود. بسته به مدت زمان کمپوست کردن، کمپوست‌ها به کمپوست تازه (۶-۲ هفته، درجه پوسیدگی پایین) و کمپوست نهایی (۱۲-۵ هفته، درجه پوسیدگی بالا) تقسیم می‌شوند (۶). کمپوست‌سازی می‌تواند انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد، بازیابی انرژی را در اشکال قابل استفاده امکان‌پذیر نماید و اصلاحات غنی از مواد مغذی در خاک ایجاد کند. با این حال، بسیاری از ضایعات غذایی با بسته‌بندی‌های پلاستیکی مخلوط می‌شوند و این نگرانی را ایجاد می‌کند که کمپوست‌ها ممکن است به طور ناخواسته میکروپلاستیک‌ها (ذرات بیشتر از ۵ میلی‌متر) را به خاک‌های کشاورزی وارد کنند (۷). اعتقاد بر این است که قرار گرفتن در معرض عوامل محیطی مانند گرما، اشعه ماورای بنفش یا کلونی‌های میکروبی، می‌تواند باعث شود که پلیمرها به قطعات کوچک‌تر تخریب و در نهایت، به میکروپلاستیک تبدیل گردند (۸). این میکروپلاستیک‌ها در کمپوست می‌توانند چرخه کربن را به روش‌های متفاوتی مانند فرایندهای میکروبی خاک، رشد گیاه یا تجزیه بستر تحت تأثیر قرار دهند (۹). علاوه بر خطرات بالقوه‌ای که برای سلامت انسان و اکوسیستم ایجاد می‌شود، شواهد اولیه‌ای وجود دارد که نشان می‌دهد برخی از میکروپلاستیک‌ها اثر بازدارندگی بر فرایندهای کمپوست‌سازی دارند و در نتیجه، احتمالاً مزایای مورد نظر این فرایندها را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، آلودگی پلاستیکی می‌تواند باعث کاهش جذابیت مصرف کمپوست برای کشاورزان و مصرف‌کنندگان شود (۷).

مطالعات در مورد میکرو پلاستیک‌ها و پتانسیل خطرناک بودن آن‌ها نگرانی‌های زیادی را ایجاد می‌کند (۱۰). میکروپلاستیک‌ها را می‌توان بسته به منابع تولید به دو دسته تقسیم کرد؛ میکروپلاستیک‌های اولیه که به طور عمده به ذرات پلاستیکی ساخته دست بشر اشاره می‌کنند و به عنوان مواد اولیه برای تولید صنعتی یا تولید لوازم آرایشی استفاده می‌شود و میکروپلاستیک‌های ثانویه که از پلاستیک‌های بزرگ مورد استفاده در تولید محصولات کشاورزی، تولیدات صنعتی و ساخت و سازهای شهری، اثر فرایندهای فرسایش محیطی مانند تابش اشعه ماورای بنفش یا دمای بالا یا سایش در محیط تولید می‌شوند (۱۱). اندازه کوچک آن‌ها و نسبت سطح به حجم زیاد و آب‌گریزی، مصرف آن‌ها توسط ارگانیسم‌های زنده را تسهیل می‌کند و خطر احتمال انتقال مواد شیمیایی جذب شده روی سطحشان به آب را افزایش می‌دهد و باعث ایجاد نگرانی در مورد اثر منفی نهایی آن‌ها بر محیط زیست و سلامتی انسان می‌شود (۱۲، ۱۰).

بررسی میکروپلاستیک‌ها و خرده پلاستیک‌ها در کمپوست پسماند شهری در شهر تهران نشان داد که در کمپوست درجه یک به طور متوسط ۷/۰۴ ± ۷۷/۷۰ عدد و در کمپوست درجه دو ۸/۱۱ ± ۶۶/۴۳ عدد میکروپلاستیک در هر گرم وزن خشک وجود داشت و PS میکروپلاستیک غالب بود (۱۳). در پژوهش Edo و همکاران در اسپانیا، تعداد میکروپلاستیک‌ها ۲۰-۵ ذره بر گرم وزن خشک کمپوست شمارش شد و الیاف بیشترین میزان را به خود اختصاص داد (۱۴). مطالعه تعیین میکروپلاستیک در خاک و شیرابه محل‌های دفن زباله نشان داد که میانگین مقدار میکروپلاستیک‌های شیرابه در محل‌های دفن زباله، ۴/۹۶ ± ۲۰/۹۰ ذره بر کیلوگرم در وزن خشک بود. همچنین، پنج شکل میکروپلاستیک‌ها در محل دفن زباله شامل گرانول، فیلم، الیاف، کره‌ها و اشکال نامنظم بیشترین مقدار بودند. علاوه بر این، مشخص گردید که سه نوع اصلی میکروپلاستیک از محل دفن زباله، PE، PP و PET بود (۱۵). در مطالعه He و همکاران در چین مشخص شد که PE و PP، به عنوان دو پلیمر متداول و مورد استفاده در تمام نمونه‌های شیرابه یافت گردید و ۸۹/۶۹ درصد از کل پلیمرهای شناسایی شده را تشکیل دادند (۱۱). تحقیق Weithmann و همکاران در آلمان، کودهای آلی را به عنوان عامل احتمالی برای ورود میکروپلاستیک‌ها بزرگ‌تر از ۱ میلی‌متر به محیط مورد بررسی قرار داد. تجزیه و تحلیل اندازه میکروپلاستیک‌ها حاکی از آن بود که بیشتر ذرات جمع‌آوری شده از نمونه‌های مختلف بین ۲ تا ۵ میلی‌متر بودند. همچنین، آن‌ها در زباله‌های آلی شهری، ۲۴ میکروپلاستیک بر کیلوگرم با اندازه ۵-۱ میلی‌متر را شناسایی کردند. بیشتر اشکال میکروپلاستیک‌ها (۷۵ تا ۱۰۰ درصد) قطعات و به دنبال آن، الیاف (صفر تا ۸ درصد) و کره (صفر تا ۸ درصد) بودند. نوع پلیمرهای شناسایی شده در نمونه‌ها شامل پلیمرهای PS، Polyester (PES)، PE، PP، PET، PVC، PUR، Polyvinylidene dichloride (PVDC)، Polyamide (PA) و پلیمرهای مبتنی بر لاتکس و سلولز و بیشتر ذرات موجود در کمپوست‌ها پلیمرهای PS و PE بود (۳).

نتایج پژوهش Braun و همکاران در آلمان به منظور تعیین مقدار پلاستیک در هشت کارخانه کمپوست و فروشگاه‌ها نشان داد که همه کمپوست‌ها حاوی پلاستیک بودند که میزان آن‌ها از ۱۲ تا۴۶ ذره در کیلوگرم متغیر بود. غلظت‌های محاسبه شده از میکروپلاستیک از ۲/۴ تا ۱۸/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم برای میکروپلاستیک‌های بزرگ (۵-۱ میلی‌متر) بود (۶). مطالعه van Schothorst و همکاران که به منظور بررسی منابع میکروپلاستیک با چگالی کم با دو روش کشاورزی با استفاده از کمپوست و مالچ پلاستیک به ترتیب در هلند و جنوب شرقی اسپانیا انجام شد، نشان داد که نمونه‌های خاک اسپانیایی و هلندی به ترتیب حاوی ۲۲۴۲ و ۸۸۸ میکروپلاستیک بر کیلوگرم بود. نمونه‌های کمپوست از زباله‌های آلی شهری نسبت به نمونه‌های حاصل از زباله‌های باغی و گلخانه‌ای آلوده‌تر و به ترتیب حاوی ۲۸۰۰ و ۱۲۵۳ میکروپلاستیک بر کیلوگرم بودند. در تحقیق آن‌ها، پلی‌استر، PP و PE بیشترین مقدار کل میکرو پلاستیک‌ها در کمپوست را به خود اختصاص دادند و در ابعاد ۳۰ میکرومتر تا ۲ میلی‌متر، تعداد ۱۷۵۰ ذره بر کیلوگرم میکروپلاستیک شمارش گردید (۱۶).

پژوهش Gui و همکاران بر روی کمپوست زباله‌های خانگی روستایی (Rural domestic waste یا RDW) در چین نشان داد که فراوانی متوسط میکروپلاستیک‌ها (۵-۰/۰۵ میلی‌متر) در کمپوست، ۲۴۰۰ ذره بر کیلوگرم (وزن خشک) و اشکال اصلی شامل الیاف و فیلم‌ها بود. پلی‌استر، PP و PE متداول‌ترین انواع پلیمرها بودند و میکروپلاستیک‌های با اندازه کمتر از ۱ میلی‌متر بیشترین میزان را شامل شدند (۸).

با توجه به این که از کمپوست در فضای سبز شهری و کشاورزی استفاده می‌شود و نگرانی‌هایی در رابطه با وجود میکروپلاستیک‌ها در آن‌ها وجود دارد و همچنین، از آن‌جایی که مطالعات انجام شده در خصوص شناسایی میکروپلاستیک‌ها در کمپوست محدود است، تحقیق حاضر به بررسی و تجزیه و تحلیل فراوانی و نوع و ویژگی‌های مورفولوژیکی میکروپلاستیک‌ها در کمپوست آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشاورزی اصفهان پرداخت.

روش‌ها

هدف از انجام این پژوهش، شناسایی و اندازه‌گیری میکروپلاستیک‌های موجود در کمپوست آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشاورزی اصفهان بود. نمونه‌برداری در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور سال ۱۴۰۲ هر ماه سه بار صورت

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-05-16]
[DOI: 10.48305/jhsr.v21i1.1589]

پذیرفت و ۹ نمونه کمپوست جمع‌آوری و آنالیز گردید. مطالعه حاضر برای تعیین مقدار و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها در فصل گرم سال قابل استفاده می‌باشد. کل نمونه برداشت شده اولیه، کمپوست آماده مصرف در فضای سبز و کشاورزی بود که ذرات بزرگ‌تر از ۵ میلی‌متر و کوچک‌تر از ۳۰۰ میکرون آن با الک حذف گردید و میکروپلاستیک در این طیف از اندازه کمپوست بررسی شد.

در این تحقیق از آب اکسیژنه، نمک روی کلرید، پودر سولفات فرو و سولفوریک اسید (شرکت Merck، آلمان) و جهت آنالیز کمی و کیفی میکروپلاستیک‌ها در کمپوست، از تجهیزات میکروسکوپ استریو (شرکت صاایران، ایران)، طیف‌سنجی Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR spectrometer، مدل WQF-510)، هیتر استیرر و فور (شرکت Memmert، آلمان) استفاده گردید.

نمونه‌برداری از کمپوست نهایی (کمپوست سرند شده و آماده فروش) صورت می‌گرفت. از یک تشت فلزی بزرگ برای نمونه‌برداری مرکب استفاده شد. جهت نمونه‌برداری از توده کمپوست، ۵ برش (۳ برش در یک طرف و ۲ برش در طرف دیگر) ایجاد شد. از هر برش، ۱۲ نمونه ۱ کیلوگرمی برداشته و در داخل تشت ریخته و به طور کامل مخلوط شد و سپس حجم نمونه به یک چهارم کاهش یافت تا مقدار نمونه به حدود ۱۵ کیلوگرم برسد و از نمونه ۱۵ کیلوگرمی، در نهایت حدود ۱/۵ کیلوگرم کمپوست مرکب تولید و برای آنالیز به آزمایشگاه ارسال گردید (۱۷).

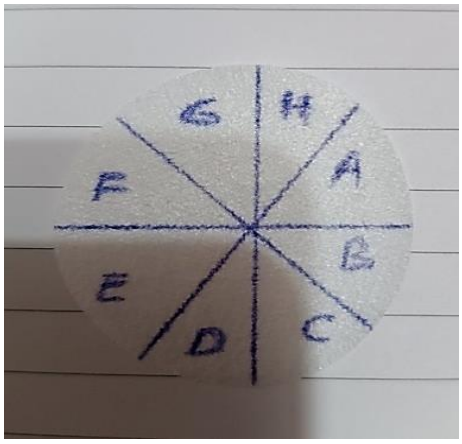
در آزمایشگاه ابتدا حدود ۵۰۰ گرم نمونه کمپوست در یک ظرف شیشه‌ای ریخته شد و در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت تا کاملاً خشک شود و رطوبت آن خارج گردد. سپس نمونه به خوبی به صورت دستی مخلوط و از الک مش ۴ با اندازه منافذ ۴/۷۶ میلی‌متر و الک مش ۵۰ با اندازه منافذ ۰/۲۹۷ میلی‌متر عبور داده شد تا ذرات بیشتر از ۵ میلی‌متر و کمتر از ۳۰۰ میکرون آن حذف گردد. در ادامه، ۴ گرم از آن با ترازوی دقیق توزین و به بشر تمیز شیشه‌ای منتقل گردید تا فرایندهای بعدی حذف مواد آلی و ذرات مزاحم صورت پذیرد (۸).

برای حذف مواد آلی از ماتریس‌های محیطی غنی از مواد آلی، از فرایند هضم با روش اکسیداسیون شیمیایی فنتون پیشنهاد شده توسط Hurley و همکاران استفاده شد (۱۸). بدین منظور، از آب اکسیژنه ۳۰ درصد و سولفات آهن ۰/۰۵ مولار تا هضم کامل استفاده گردید.

برای حذف ذرات غیر آلی مانند پوست تخم‌مرغ که در شناسایی و شمارش میکروپلاستیک‌ها تداخل می‌نمایند، از تکنیک جداسازی بر اساس چگالی توصیه شده توسط اداره ملی اقیانوسی و جوی آمریکا (NOAA یا National Oceanic and Atmospheric Administration) (۱۹، ۱۵) استفاده شد.

جهت فرایند فلوتاسیون از یک دکانتور شیشه‌ای به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر استفاده شد. ۵۰ درصد حجم دکانتور از نمک اشباع $ZnCl_2$ (تهیه شده از انحلال نمک در آب مقطر تا مرز اشباع) پر شد و نمونه‌های کمپوست هضم شده با روش اکسیداسیون شیمیایی فنتون داخل آن ریخته شد. به نمونه ۲۴ ساعت فرصت داده شد تا ذرات چگال‌تر از نمک کاملاً در ته ظرف ته‌نشین و ذرات سبک‌تر روی سطح آن شناور گردد (۱۴).

برای شمارش ذرات پلاستیکی زیر میکروسکوپ، ابتدا از یک ست فیلتراسیون خلأ برای تثبیت میکروپلاستیک‌ها روی سطح فیلتر Polytetrafluoroethylene (PTFE) آب‌دوست با اندازه روزنه ۰/۲۲ میکرون استفاده شد. پس از خشک کردن فیلتر در دمای آزمایشگاه، به علت تعداد بالای میکروپلاستیک‌ها و برای سهولت شمارش و پایین آوردن میزان خطا، فیلتر قبل از قرار گرفتن در ست فیلتراسیون مانند شکل ۱ ناحیه‌بندی و هر ناحیه به صورت مجزا شمارش گردید و در آخر مجموع تمام ناحیه‌ها به عنوان تعداد کل میکروپلاستیک‌ها در نظر گرفته شد (۱۱).



شکل ۱. فیلتر Polytetrafluoroethylene (PTFE) ناحیه‌بندی شده

برای شمارش و تعیین اندازه و تعیین شکل میکروپلاستیک‌ها، از میکروسکوپ استریو استفاده گردید. برای این کار، فیلترهای آماده شده با بزرگنمایی چهل برابر مورد بررسی قرار گرفت. تعداد ذرات پلاستیک موجود در هر بخش از فیلتر ابتدا شمارش و سپس با نرم‌افزار دستگاه اندازه آن‌ها تعیین گردید. نحوه تعیین اندازه میکروپلاستیک‌ها قطر معادل آن‌ها بود و بر اساس اندازه در سه گروه ۳۰۰ تا ۵۰۰ میکرونی، ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرونی و ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ میکرونی دسته‌بندی شد (۱۴).

در هنگام شمارش ذرات جهت اطمینان از پلاستیک بودن ذره، از تست نیدل داغ (۲۰) و برای دسته‌بندی میکروپلاستیک‌ها بر اساس شکل، از رهنمودهای مؤسسه GESAMP که توسط United Nations Environment Programme (UNEP) منتشر شده است (۲۱)، استفاده گردید.

به منظور تعیین جنس میکروپلاستیک، از طیف‌سنجی FTIR استفاده شد. هر پلیمر در طول موج‌های خاصی دارای جذب می‌باشد که مرتبط با وجود گروه‌های عاملی خاص در ساختار آن پلیمر است و در صورتی که طیف FTIR میکروپلاستیکی جذب در آن ناحیه داشته باشد، تأییدکننده حضور آن پلیمر در میکروپلاستیک‌ها است. اساس شناسایی FTIR، گروه‌های عاملی می‌باشد و با مقایسه با استانداردهای موجود، نمونه‌های پلیمر پلاستیکی شناسایی گردید (۲۲).

تمام وسایل و تجهیزات مورد استفاده در مطالعه حاضر (سطل‌های نمونه‌برداری، الک‌های ضد زنگ، بشر، پتری دیش‌ها و...) با آب مقطر برای چندین بار قبل کار شستشو داده شد و در آون خشک گردید. الک‌ها و فیلتر در طول فرایند با فویل آلومینیومی پوشانده شد تا از آلودگی میکروپلاستیک‌های

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-05-16]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i1.1589]

موجود در هوا جلوگیری شـود. یک لباس آزمایشـگاهی پنبه‌ای و دسـتکش‌های نیتریل همیشـه در طول فرایند نمونه‌برداری و کار آزمایشگاهی پوشیده شد (۱۱). از اسـتفاده از هرگونه ابزار پلاسـتیکی در طول کار اجتناب شد. تمامی مراحل کار زیر هود با جریان آرام انجام گرفت.

یافته‌ها

در تحقیق حاضر، میزان میکروپلاستیک‌های موجود در کمپوست آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشاورزی اصفهان در تابستان ۱۴۰۲ بررسی شد و نتایج آن به صورت تعداد و شکل و نوع میکروپلاستیک‌ها به دست آمد.

جدول ۱ تعداد میکروپلاسـتیک‌های موجود در کمپوسـت را بر اسـاس اندازه نشـان می‌دهد. شـکل ۲ درصـد فراوانی میکروپلاسـتیک‌ها بر اسـاس اندازه به تفکیـک در مـاه‌هـای مختلف تـابسـتـان و میـانگین درصـد فراوانی کـل میکروپلاسـتیک‌ها و میانگین درصـد فراوانی کل میکروپلاسـتیک‌ها در ماه‌های مختلف در کمپوست آماده مصرف در اصفهان را نشان می‌دهد.

شـکل ۳ کروماتوگرام حاصـل از طیف‌سـنجی FTIR بر اسـاس طول موج گرفته شـده از نمونه‌های میکروپلاسـتیک کمپوسـت آماده مصرف در فضای سبز شـهری و کشـاورزی اصـفهان و جدول ۲ درصـد پلیمرهای میکروپلاسـتیکی شناسایی شده را نشان می‌دهد.

جـدول ۳ تعداد میکروپلاسـتیک‌های موجود و شـکل ۴ درصـد فراوانی میکروپلاسـتیک‌ها در ماه‌های مختلف تابسـتان و میانگین درصـد فراوانی کل میکروپلاسـتیک‌ها در کمپوسـت آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشاورزی اصفهان را بر اساس شکل آن‌ها نشان می‌دهد.

بحث

آلودگی محیط زیسـت با میکروپلاسـتیک‌ها به عنوان یک چالش جهانی مطرح شـده اسـت؛ چرا که ممکن است خطراتی برای جانداران و سلامت عمومی ایجاد کند. بیشـتر پژوهش‌ها انتقال میکروپلاسـتیک‌ها از زمین را به دفع نامناسـب زباله‌های پلاسـتیکی، توزیع توسـط باد، فاضـلاب شـهری و همچنین، فاضـلاب صـنعتی و لجن فاضلاب نسبت می‌دهند. بازیافت ضایعات آلی از طریق کمپوست یا تخمیر و کاربرد متعاقب آن در زمین‌های کشـاورزی، اصولاً روش مناسبی برای بازگرداندن مواد مغذی، عناصر کمیاب و هوموس به خاک است.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که به طور میانگین ۷۳۹۵/۱ ± ۳۶۱۴۵/۸ ذره میکروپلاسـتیک در هر کیلوگرم کمپوسـت آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشـاورزی اصـفهان وجود داشت. با توجه به جدول ۱، فراوانی میکروپلاستیک‌ها در بـازه ۵۰۰–۳۰۰ مـیکرومتر، ۱۳۸۸/۷± ۱۸۷۵/۰ ذره بر کیلوگرم؛ در بـازه ۱۰۰۰–۵۰۰ مـیـکـرومـتـر، ۳۴۴۰/۸ ± ۵۰۰۰/۰ ذره بر کیلوگرم و در بـازه ۵۰۰۰–۱۰۰۰ میکرومتر، ۷۵۱۱/۶ ± ۲۴۵۶۲/۵ ذره بر کیلوگرم وزن خشـک کمپوسـت شمارش شد. بر اساس شکل ۲، حدود ۷۸ درصد ذرات میکروپلاستیک شـمارش شـده در بازه ۵۰۰۰–۱۰۰۰ میکرومتر و ۶ درصـد در بازه ۵۰۰–۳۰۰ میکرومتر می‌باشـد که به ترتیب بیشـترین و کمترین میزان را به خود اختصـاص می‌دهند. این امر نشـان می‌دهد که احتمال انتقال میکروپلاستیک‌های کوچک‌تر به شیرابه و آب‌های زیرزمینی بیشتر است (۲۳).

نتایج تحقیق Edo و همکاران که روی کمپوسـت بخش آلی زباله‌های شـهری اسـپانیا انجام شـد، نشـان داد که ۷۰ درصـد میکروپلاسـتیک‌های شمارش شده در بازه ۵۰۰۰–۱۰۰۰ میکرومتر بوده اسـت (۱۴) که با یافته‌های پژوهش حاضـر مشـابهت داشـت. همچنین، در مطـالعه Gui و همکاران که میکروپلاسـتیک‌های کمپوسـت زباله‌های روسـتایی را بررسـی کرده بود، تعداد میکروپلاسـتیک را ۲/۴ ذره در گرم و بیشـترین فراوانی را در بازه ۵۰۰–۱۰۰ میکرومتر گزارش کرد و علت آن را تمایل بیشتر ماکروپلاسـتیک‌ها به آزادسـازی میکروپلاسـتیک‌ها کوچک‌تر دانسـت و اعلام نمود که بیش از ۷۰ درصـد میکروپلاستیک‌ها با اندازه کمتر از ۰/۵ میلی‌متر بودند (۸) که با نتایج تحقیق حاضر متفاوت بود.

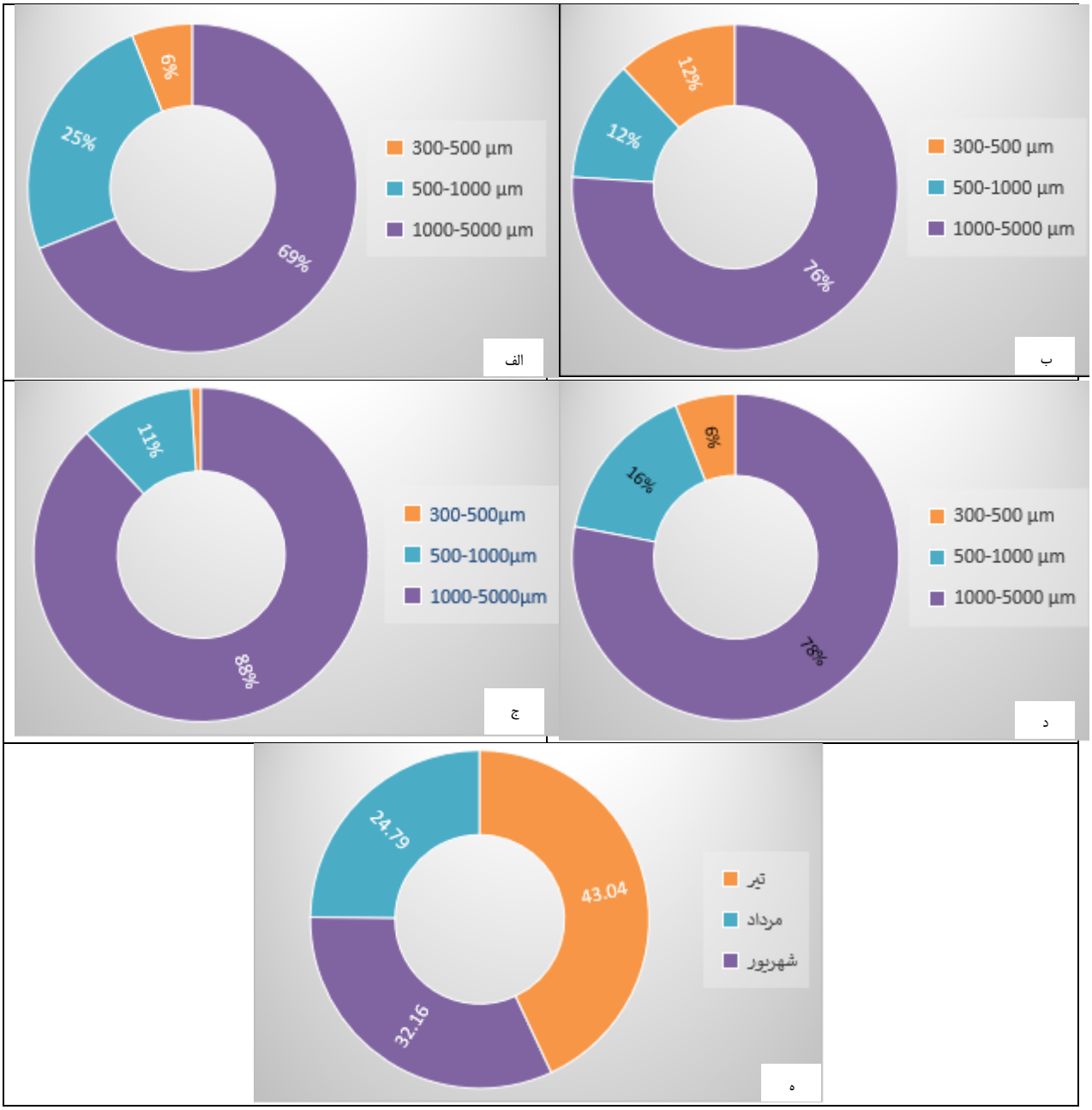
در پژوهش Braun و همکـاران که در آلمان به بررسـی انواع پلاسـتیک‌ها پـرداخـت، تعـداد میکروپلـاسـتیـک‌هـای بزرگ (۵–۱ میلی‌متر) را بیشـتـر از میکروپلاستیک‌های کوچک تخمین زده بود (۶).

جدول ۱. تعداد میکروپلاستیک‌های موجود در کمپوست آماده مصرف در اصفهان بر اساس اندازه آن‌ها (ذره بر کیلوگرم)

زمان	نام نمونه	تعداد میکروپلاستیک (۳۰۰ تا ۵۰۰ میکرومتر)	تعداد میکروپلاستیک (۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرومتر)	تعداد میکروپلاستیک (۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ میکرومتر)	تعداد کل میکروپلاستیک‌ها
تیر	نمونه ۲	۳۲۵۰	۱۱۷۵۰	۲۸۷۵۰	۴۳۷۵۰
۱۴۰۲	نمونه ۳	۲۰۰۰	۸۵۰۰	۲۸۵۰۰	۳۹۰۰۰
	میانگین ± انحراف معیار	۲۶۲۵/۰ ± ۸۸۳/۸	۱۰۱۲۵/۰ ± ۲۲۹۸/۱	۲۸۶۲۵/۰ ± ۱۷۶/۷	۴۱۳۷۵/۰ ± ۳۳۵۸/۷
مرداد	نمونه ۱	۲۷۵۰	۴۷۵۰	۱۵۰۰۰	۲۰۲۵۰
۱۴۰۲	نمونه ۲	۲۲۵۰	۲۷۵۰	۱۷۵۰۰	۲۰۲۵۰
	نمونه ۳	۳۷۵۰	۱۷۵۰	۲۵۵۰۰	۳۱۰۰۰
	میانگین ± انحراف معیار	۲۹۱۶/۶ ± ۷۶۳/۷	۳۰۸۳/۳ ± ۱۵۲۷/۵	۱۹۳۳۳/۳ ± ۵۴۸/۸	۲۳۸۳۳/۳ ± ۶۲۰۶/۵
شهریور	نمونه ۱	۲۵۰	۲۵۰۰	۱۵۷۵۰	۱۸۵۰۰
۱۴۰۲	نمونه ۲	۲۵۰	۴۷۴۵۰	۳۴۷۵۰	۳۹۷۵۰
	نمونه ۳	۵۰۰	۳۲۵۰	۳۰۷۵۰	۳۴۵۰۰
	میانگین ± انحراف معیار	۳۳۳/۳ ± ۱۴۴/۳	۱۱۴۵/۰ ± ۳۵۰۰/۶	۲۷۰۸۳/۳ ± ۱۰۰۱۶/۶	۳۰۹۱۶/۶ ± ۱۱۰۶۸/۹
کل	میانگین ± انحراف معیار	۱۸۷۵/۰ ± ۱۳۸۸/۷	۵۰۰۰/۰ ± ۳۴۴۰/۸	۲۴۵۶۲/۵ ± ۷۵۱۱/۶	۳۶۱۴۵/۸ ± ۷۳۹۵/۱

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-05-16]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i1.1589]



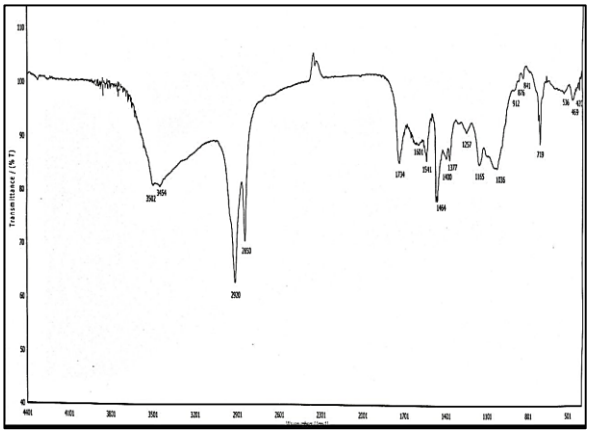
شکل ۲. درصد فراوانی میکروپلاستیک‌ها در کمپوست آماده مصرف در اصفهان بر اساس اندازه

الف: تیرماه، ب: مرداد ماه، ج: شهریور ماه، د: میانگین درصد فراوانی کل میکروپلاستیک‌ها و ه: میانگین درصد کل فراوانی میکروپلاستیک‌ها در ماه‌های مختلف تابستان

غلظت‌های محاسبه شده میکروپلاستیک از ۰/۹ ± ۲/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم تا ۶/۹ ± ۱۸/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای میکروپلاستیک‌های بزرگ و از ۰ ± ۰/۰۱ تا ۰/۸ ± ۲/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای میکروپلاستیک‌های کوچک مشاهده شد (۶) که با یافته‌های مطالعه حاضر هم‌راستا بود. در تحقیق حاضر عنوان شد که احتمالاً مدت زمان کمپوست‌سازی بر فراوانی اقلام پلاستیکی بزرگ‌تر مؤثر است و شاید مدت زمان طولانی‌تر، باعث تجزیه ذرات بزرگ‌تر به کوچک‌تر می‌شود.

نتایج پژوهش Weithmann و همکاران که در آلمان با هدف بررسی کود آلی به عنوان وسیله‌ای برای ورود میکروپلاستیک انجام شد، نشان داد که بیشتر ذرات جمع‌آوری شده از نمونه‌های مختلف بین ۲ تا ۵ میلی‌متر بودند. با این حال، ممکن است تکه‌تکه شدن به اندازه کمتر از ۱ میلی‌متر در محیط طبیعی (جایی که نیروهای مکانیکی عمل می‌کنند؛ به عنوان مثال امواج در ساحل) بیشتر از کارخانه‌های فرآوری زیستی زباله‌ها باشد (۳).

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-05-16]
[DOI: 10.48305/jhsr.v21i1.1589]



شکل ۳. کروماتوگرام طیف‌سنجی Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) بر اساس طول موج میکرو پلاستیک‌ها موجود در کمپوست

تکه‌تکه شدن سطح ماکروپلاستیک‌ها (Macroplastic) ممکن است توسط نیروی مکانیکی، اکسیداسیون شیمیایی و تجزیه زیستی ایجاد شود که تفاوت در این فرایندها و عملیات پیش‌تصفیه احتمالاً روی تعداد و اندازه ذرات مؤثر می‌باشد (۳).

با استفاده از طیف‌سنجی FTIR، در مجموع پنج پلیمر شامل PET، PP، PE، PS و PVC در کمپوست آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشاورزی اصفهان شناسایی گردید که رایج‌ترین نوع پلیمر میکروپلاستیکی PET با ۲۸/۷ درصد بود که در ادامه، PP با فراوانی ۲۰/۲۳ درصد، PE با فراوانی ۱۶/۴۳ درصد، PS با فراوانی ۱۲/۷۸ درصد، PVC با فراوانی ۸/۵۹ درصد و سایر پلیمرها با فراوانی ۶/۷۶ درصد بوده است. بالاتر بودن فراوانی PET احتمالاً مربوط به مصرف بطری‌های نوشیدنی شامل آب معدنی و نوشابه و سایر است که اغلب از جنس PET می‌باشند که به خصوص در تابستان مورد مصرف بالاتری دارند. در تحقیق انجام شده در اسپانیا، PE فراوانی بیشتری را به خود اختصاص داده بود که به علت استفاده در مواد بسته‌بندی مانند کیسه‌ها یا ظروف غذا اعلام شد (۱۴). با توجه به شکل ۴، میکروپلاستیک‌ها در پژوهش حاضر به اشکال الیاف، فوم، قطعه‌ای شکل و فیلم به ترتیب با مقادیر ۶۰، ۳، ۳۰ و ۷ درصد مشاهده شدند و میکروپلاستیک‌های الیاف شکل بالاترین فراوانی را به خود اختصاص دادند. تفاوت در اشکال میکروپلاستیک ممکن است به دلیل تفاوت در ترکیب پسماند پلاستیکی و فرایندهای هوازدگی باشد.

جدول ۲. درصد پلیمرهای میکروپلاستیکی موجود در کمپوست

نوع	اعداد موجی منتخب (cm-1)	درصد
PE	۷۱۹–۱۴۵۲–۲۹۲۲	۱۶/۴۳
PET	۱۰۶۶–۱۲۴۴–۱۷۳۴	۲۸/۷۰
PP	۱۱۶۱–۸۱۸–۲۸۵۰	۲۰/۲۳
PS	۱۴۴۶–۱۰۲۲–۹۰۵–۸۴۴	۱۲/۷۸
PVC	۱۷۲۰–۱۳۳۹–۱۲۴۰–۹۶۱	۸/۵۹
سایر	–	۶/۷۶

PE: Polyethylene; PET: Polyethylene terephthalate; PP: Polypropylene; PS: Polyestyrene; PVC: Polyvenyle chloride

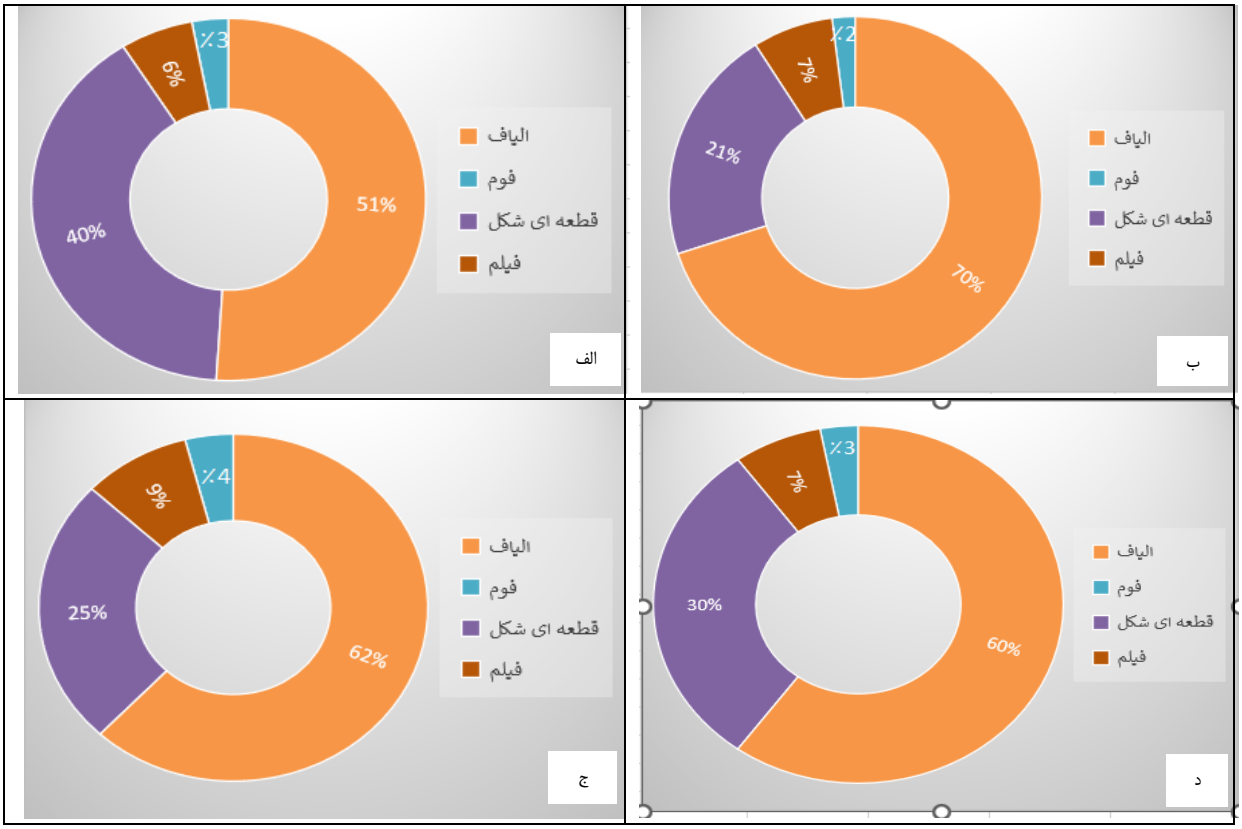
نتایج مطالعه Edo و همکاران روی کمپوست بخش آلی زباله‌های شهری اسپانیا (۱۴)، یافته‌های تحقیق انجام شده روی میکرو پلاستیک‌ها و خرده پلاستیک‌های کمپوست پسماند شهری تهران (۱۳) و نتایج پژوهش Gui و همکاران با هدف بررسی میکروپلاستیک در کمپوست زباله‌های خانگی روستایی (۸) نشان دادند که میکروپلاستیک‌های الیافی شکل غالب بودند که با یافته‌های بررسی حاضر همخوانی داشت.

جدول ۳. تعداد میکروپلاستیک‌های موجود در کمپوست آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشاورزی اصفهان بر اساس شکل

زمان	نام نمونه	فیلم	قطعه‌ای شکل	فوم	الیاف	کل
تیر	نمونه ۱	۴۵۰۰	۱۳۲۵۰	۱۲۵۰	۷۰۰۰	۲۶۰۰۰
۱۴۰۲	نمونه ۲	۲۰۰۰	۱۸۵۰۰	۵۰۰	۲۲۷۵۰	۴۳۷۵۰
	نمونه ۳	۵۰۰	۱۲۷۵۰	۱۰۰۰	۲۶۵۰۰	۳۹۰۰۰
	میانگین ± انحراف معیار	۳۳۳۳/۳۳ ± ۲۰۲۰/۷	۱۴۸۳۳/۳ ± ۳۱۸۵/۲	۹۱۶/۷ ± ۳۸۱/۹	۱۸۷۵۰/۰ ± ۱۰۳۴۷/۱	۳۶۲۵۰/۰ ± ۹۱۸۸/۹
مرداد	نمونه ۱	۱۰۰۰	۴۲۵۰	-	۱۵۰۰۰	۲۰۲۵۰
۱۴۰۲	نمونه ۲	-	۵۲۵۰	۲۵۰	۱۴۷۵۰	۲۰۲۵۰
	نمونه ۳	۲۵۰۰	۶۰۰۰	۵۰۰	۲۲۰۰۰	۳۱۰۰۰
	میانگین ± انحراف معیار	۱۷۵۰/۰ ± ۱۰۶۰/۷	۵۱۶۶/۷ ± ۸۷۷/۹	۳۷۵/۰ ± ۱۷۶/۸	۱۷۲۵۰/۰ ± ۴۱۱۵/۵	۲۳۸۳۳/۳ ± ۶۲۰۶/۵
شهریور	نمونه ۱	۷۵۰	۲۷۵۰	-	۱۵۰۰۰	۱۸۵۰۰
۱۴۰۲	نمونه ۲	۴۵۰۰	۱۰۲۵۰	-	۲۵۰۰۰	۳۹۷۵۰
	نمونه ۳	۳۰۰۰	۱۱۰۰۰	۱۲۵۰	۱۹۲۵۰	۳۴۵۰۰
	میانگین ± انحراف معیار	۲۷۵۰/۰ ± ۱۸۸۷/۵	۸۰۰۰/۰ ± ۴۵۶۲/۱	۱۲۵۰	۱۹۷۵۰/۰ ± ۵۰۱۸/۷	۳۰۹۱۶/۳ ± ۱۱۰۶۸/۹
کل	میانگین ± انحراف معیار	۲۳۴۳/۸ ± ۱۵۸۶/۴	۹۳۳۳/۳ ± ۵۱۴۳/۳	۷۹۱/۷ ± ۴۳۰/۶	۱۸۵۸۳/۳ ± ۶۲۰۳/۶	۳۰۳۳۳/۳ ± ۹۵۱۱/۵

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-05-16]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i1.1589]



شکل ۴. درصد فراوانی میکروپلاستیک‌ها در کمپوست آماده مصرف در اصفهان بر اساس شکل در ماه‌های مختلف تابستان

الف: تیر ماه، ب: مرداد ماه، ج: شهریور ماه و د: میانگین درصد فراوانی کل میکروپلاستیک‌ها)

میکروپلاستیک‌های الیافی ممکن است از ضایعات لباس‌ها و منسوجات خانگی به وجود آمده باشد. در مطالعه حاضر فراوانی بالای میکروپلاستیک‌ها در بازه بالاتر، احتمالاً به علت حضور بیشتر فیبرها در نمونه‌های کمپوست است که به طور عمده دارای اندازه‌های بزرگ بودند.

یکی از محدودیت‌های تحقیق حاضر، اندازه‌گیری میکروپلاستیک‌ها تنها در فصل گرم بود که امکان مقایسه مقدار میکروپلاستیک‌ها در فصول مختلف سال را فراهم نمی‌کرد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که نمونه‌برداری در کل سال انجام شود و مقدار میکروپلاستیک‌ها در ماه‌های مختلف سال در کمپوست مشخص گردد. همچنین، روش‌های متداول مورد استفاده برای جداسازی پلاستیک از ماتریس‌های آلی پیچیده ممکن است برای همه انواع پلیمر مناسب نباشد. اکسیداسیون مواد آلی با آب اکسیژنه ۳۰ درصد، باعث تغییرات در PA، PP، PC، PET و Low density polyethylene (LDPE) می‌شود. متفاوت بودن روش‌ها برای تعیین میکروپلاستیک‌ها احتمالاً تأثیر زیادی بر تعداد کل فراوانی میکروپلاستیک‌ها دارد. بنابراین، تعیین روش‌های استاندارد برای نمونه‌برداری، جداسازی، پروتکل‌های شناسایی، اندازه‌گیری و حدود مجاز میکروپلاستیک‌ها در کمپوست از اهمیت زیادی برخوردار است (۷).

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که میزان میکروپلاستیک‌های موجود در کمپوست آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشاورزی اصفهان در فصل تابستان به طور میانگین ۳۶ ذره میکروپلاستیک در هر گرم (با بازه ۴۴-۱۸ ذره بر گرم) کمپوست بود. حدود ۷۸ درصد ذرات میکروپلاستیک شمارش شده در بازه ۵۰۰۰-۱۰۰۰ میکرومتر و ۶ درصد در بازه ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر قرار داشتند که به ترتیب بیشترین و کمترین میزان را به خود اختصاص دادند. با استفاده از طیف‌سنجی FTIR، در مجموع پنج پلیمر شامل PET، PP، PE، PS و PVC در کمپوست آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشاورزی اصفهان شناسایی شد که رایج‌ترین نوع پلیمر میکروپلاستیکی PET با ۲۸/۷ درصد بود. میکروپلاستیک‌هاب مطالعه حاضر به اشکال الیاف، فوم، قطعه‌ای شکل و فیلم به ترتیب با مقادیر ۶۰، ۳، ۳۰ و ۷ درصد مشاهده شدند و اشکال الیاف شکل، بالاترین فراوانی را به خود اختصاص دادند.

به‌روزرسانی روش‌های دفع پسماند، تفکیک در مبدأ، جداسازی بهتر پلاستیک‌های بازیافت شدنی، آموزش و اطلاع‌رسانی الزام کاهش مصرف مواد پلاستیکی، وضع قوانین سخت‌گیرانه در خصوص مدیریت پسماندهای حاوی میکروپلاستیک‌ها، ابداع راهکارهای بهتر مدیریت پسماند، نوآوری در فن‌آوری بسته‌بندی‌های مکانیکی، حذف بسته‌بندی‌های غیر ضروری، بهبود جداسازی در کارخانه کمپوست و جایگزینی پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر به جای پلاستیک‌های فعلی از اهمیت زیادی برای کاهش آلودگی میکروپلاستیک‌ها برخوردار است (۲۳، ۷).

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-05-16]
[DOI: 10.48305/jhsr.v21i1.1589]

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضـر برگرفته از پایان‌نامه مقطع کارشـناسی ارشد با شماره ۳۴۰۰۵۸۶، مصوب دانشگاه علوم پزشکی اصفهان می‌باشد. بدین‌وسیله از کلیه کسانی که در انجام این مطالعه همکاری نمودند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

1. Wang C, Liu Y, Chen W, Zhu B, Qu S, Xu M. Critical review of global plastics stock and flow data. J Ind Ecol 2021; 25(5): 1300-17.
2. Gola D, Tyagi P, Arya A, Chauhan N, Agarwal M, Singh S, et al. The impact of microplastics on marine environment: A review. Environ Nanotechnol Monit Manag 2021; 16: 100552.
3. Weithmann N, Möller JN, Löder MGJ, Piehl S, Laforsch C, Freitag R. Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment. Sci Adv 2018; 4(4): eaap8060.
4. Williams AT, Rangel-Buitrago N. The past, present, and future of plastic pollution. Mar Pollut Bull 2022; 176: 113429.
5. Zhang Z, Su Y, Zhu J, Shi J, Huang H, Xie B. Distribution and removal characteristics of microplastics in different processes of the leachate treatment system. Waste Manag 2021; 120: 240-7.
6. Braun M, Mail M, Heyse R, Amelung W. Plastic in compost: Prevalence and potential input into agricultural and horticultural soils. Sci Total Environ 2021; 760: 143335.
7. Porterfield KK, Hobson SA, Neher DA, Niles MT, Roy ED. Microplastics in composts, digestates, and food wastes: A review. J Environ Qual 2023; 52(2): 225-40.
8. Gui J, Sun Y, Wang J, Chen X, Zhang S, Wu D. Microplastics in composting of rural domestic waste: abundance, characteristics, and release from the surface of macroplastics. Environ Pollut 2021; 274: 116553.
9. Vithanage M, Ramanayaka S, Hasinthara S, Navaratne A. Compost as a carrier for microplastics and plastic-bound toxic metals into agroecosystems. Curr Opin Environ Sci Health 2021; 24: 100297.
10. Avio CG, Gorbi S, Regoli F. Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat. Mar Environ Res 2017; 128: 2-11.
11. 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 Res 2019; 159: 38-45.
12. Prata JC. Airborne microplastics: Consequences to human health? Environ Pollut 2018; 234: 115-26.
13. Parchianloo S, Hashemi H, Alavian-Petroody SS. Microplastics and mesoplastics in municipal waste compost Case study: Tehran Compost Factory. [Thesis]. Tehran, Iran: Shahid Beheshti University; 2021. [In Persian].
14. Edo C, Fernández-Piñas F, Rosal R. Microplastics identification and quantification in the composted Organic Fraction of Municipal Solid Waste. Sci Total Environ 2022; 813: 151902.
15. Puthcharoen A, Leungprasert S. Determination of microplastics in soil and leachate from the landfills. Thai Environ Eng J 2019; 33(3): 39-46.
16. Van Schothorst B, Beriot N, Huerta Lwanga E, Geissen V. Sources of light density microplastic related to two agricultural practices: the use of compost and plastic mulch. Environ 2021; 8(4): 36.
17. Salehi S, Dehghanifard E, Ghanbari R, Ameri A, Joneidi Jafari A, Farzadkia M, et al. Quantitative and Qualitative Comparison of External Materials in Khomein and Tehran Compost Plants, 1387. J Health Syst Res 2011; 6(3).
18. Hurley RR, Lusher AL, Olsen M, Nizzetto L. Validation of a Method for Extracting Microplastics from Complex, Organic-Rich, Environmental Matrices. Environ Sci Technol 2018; 52(13): 7409-17.
19. Tirkey A, Upadhyay LSB. Microplastics: An overview on separation, identification and characterization of microplastics. Mar Pollut Bull 2021; 170: 112604.
20. Ruggero F, Gori R, Lubello C. Methodologies for microplastics recovery and identification in heterogeneous solid matrices: a review. J Polym Environ 2020; 28: 739-48.
21. Kershaw P, Turra A, Galgani F, editors. Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean. London, UK: GESAMP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection; 2019.
22. Taheri S, Shoshtari-Yeganeh B, Pourzamani H, Ebrahimpour K. Investigating the pollution of bottled water by the microplastics (MPs): The effects of mechanical stress, sunlight exposure, and freezing on MPs release. Environ Monit Assess 2023; 195(1): 62.
23. Imanian S, Mostafaloo R, Fanaei F, Sahragard S. Investigation of type and frequency of microplastics in municipal solid waste landfills soil: a systematic review. J Health Res Commun 2024; 10(1): 95-108.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2025-05-16]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i1.1589]