

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

Leila Gheisari<sup>1</sup>, Karim Ebrahimpour<sup>2</sup>, Hamidreza Pourzamani<sup>3</sup>

### 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  $36145.8 \pm 7395.1$  microplastic particles per kilogram of compost. Microplastics measuring between 1000 and 5000  $\mu\text{m}$  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

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

لیلا قیصری<sup>۱</sup>، کریم ابراهیم‌پور<sup>۲</sup>، حمیدرضا پورزمانی<sup>۳</sup>

### 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 فتونی، شناسایی 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،  $36145/8 \pm 7395/1$  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 (PET یا Polyethylene terephthalate)، پلی‌پروپیلن (PP یا Polypropylene)، پلی‌اتیلن (PE یا Polyethylene)، پلی‌استایرن (PS یا Polystyrene) و پلی‌وینیل کلراید (PVC یا Polyvinyl chloride) 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. استاندارد 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): ۱۱۳-۱۲۱

تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۱/۱۵

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۵/۲۲

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴

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 کارآمدی 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

### 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 (Polyvinyl chloride یا PVC)، پلی‌اورتان (Polyurethane یا PUR)، پلی‌اتیلن ترفتالات (Polyethylene terephthalate یا PET) و پلی‌استایرن (Polystyrene یا PS) قرار می‌گیرد (۳). بیشترین مورد استفاده از پلاستیک مربوط به صنعت

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

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 ۱-۵ 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, Polyethylene (PE), Polypropylene (PP), Polyethylene terephthalate (PET), PVC, Polyamide (PA), Polyvinylidene dichloride (PVDC) و PUR (۱۲). 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 تا ۴۶ ذره در کیلوگرم متغیر بود. غلظت‌های محاسبه شده از میکروپلاستیک از ۲/۴ تا ۱۸/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم برای میکروپلاستیک‌های بزرگ (۵-۱۰ 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 مایع 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 (۵-۰/۵ 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

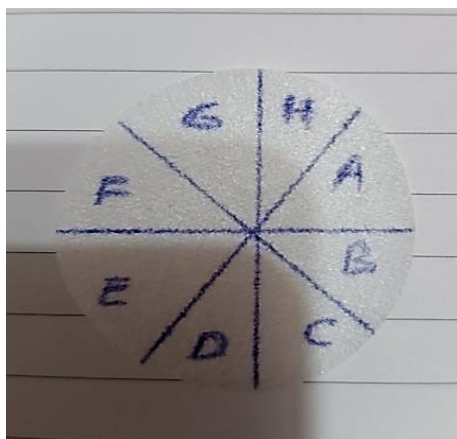
هدف از انجام این پژوهش، شناسایی و اندازه‌گیری میکروپلاستیک‌های موجود در کمپوست آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشاورزی اصفهان بود. نمونه‌برداری در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور سال ۱۴۰۲ هر ماه سه بار صورت

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 عمد به ذرات پلاستیکی ساخته دست بشر اشاره می‌کند 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 ارگانسیم‌های 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  $7.04 \pm 77.70$  عدد و در کمپوست درجه دو  $11.81 \pm 66.43$  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،  $4.96 \pm 20.90$  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

Polytetrafluoroethylene (PTFE) آب دوست با اندازه روزه 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 ناحیه بندی 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 (PTFE) Polytetrafluoroethylene ناحیه بندی شده

برای شمارش و تعیین اندازه و تعیین شکل میکروپلاستیک‌ها، از میکروسکوپ استریو استفاده گردید. برای این کار، فیلترهای آماده شده با بزرگمایی چهار برابر مورد بررسی قرار گرفت. تعداد ذرات پلاستیک موجود در هر بخش از فیلتر ابتدا شمارش و سپس با نرم افزار 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 دسته بندی شد (۱۴).

در هنگام شمارش ذرات جهت اطمینان از پلاستیک بودن ذره، از تست نیدل داغ (۲۰) و برای دسته بندی 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 طیف سنجی FTIR استفاده شد. هر پلیمر در طول موج‌های خاصی دارای جذب می باشد 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 می باشد و با مقایسه با استانداردهای موجود، نمونه‌های پلیمر پلاستیکی شناسایی گردید (۲۲).

تمام وسایل و تجهیزات مورد استفاده در مطالعه حاضر (سطح‌های نمونه برداری، 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

پذیرفت و ۹ نمونه کمپوست جمع آوری و آنالیز گردید. مطالعه حاضر برای تعیین مقدار و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها در فصل گرم سال قابل استفاده می باشد. کل نمونه برداشت شده اولیه، کمپوست آماده مصرف در فضای سبز و کشاورزی بود که ذرات بزرگتر از ۵ میلی متر 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 صالیان، ایران)، طیف سنجی Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR spectrometer، مدل WQF-510)، هیتر استیر و فور (شرکت Memmert، آلمان) استفاده گردید.

نمونه برداری از کمپوست نهایی (کمپوست سرنده شده و آماده فروش) صورت می گرفت. از یک تشت فلزی بزرگ برای نمونه برداری مرکب استفاده شد. جهت نمونه برداری 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 سانتی گراد 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 میلی متر و الک مش ۵۰ با اندازه منافذ ۰/۲۹۷ میلی متر عبور داده شد تا ذرات بیشتر از ۵ میلی متر 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 تخم مرغ که در شناسایی و شمارش میکروپلاستیک‌ها تداخل می نمایند، 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 میلی لیتر 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 چگال تر از نمک کاملاً در ته ظرف ته نشین و ذرات سبک تر روی سطح آن شناور گردد (۱۴).

برای شمارش ذرات پلاستیکی زیر میکروسکوپ، ابتدا از یک ست فیلتراسیون خلأ برای تثبیت میکروپلاستیک‌ها روی سطح فیلتر

موجود در هوا جلوگیری شود. یک لباس آزمایشگاهی پنبه‌ای و دستکش‌های نیتریل همیشه در طول فرایند نمونه‌برداری و کار آزمایشگاهی پوشیده شد (۱۱). از استفاده از هرگونه ابزار پلاستیکی 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 میکروپلاستیک‌های موجود در کمپوست را بر اساس اندازه نشان می‌دهد. شکل ۲ درصد فراوانی میکروپلاستیک‌ها بر اساس اندازه به تفکیک در ماه‌های مختلف تابستان و میانگین درصد فراوانی کل میکروپلاستیک‌ها و میانگین درصد فراوانی کل میکروپلاستیک‌ها در ماه‌های مختلف در کمپوست آماده مصرف در اصفهان را نشان می‌دهد.

شکل ۳ کروماتوگرام حاصل از طیف‌سنجی FTIR بر اساس طول موج گرفته شده از نمونه‌های میکروپلاستیک کمپوست آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشاورزی اصفهان و جدول ۲ درصد پلیمرهای میکروپلاستیکی شناسایی شده را نشان می‌دهد.

جدول ۳ تعداد میکروپلاستیک‌های موجود و شکل ۴ درصد فراوانی میکروپلاستیک‌ها در ماه‌های مختلف تابستان و میانگین درصد فراوانی کل میکروپلاستیک‌ها در کمپوست آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشاورزی اصفهان را بر اساس شکل آن‌ها نشان می‌دهد.

### بحث

آلودگی محیط زیست با میکروپلاستیک‌ها به عنوان یک چالش جهانی مطرح شده است؛ چرا که ممکن است خطراتی برای جانداران و سلامت عمومی ایجاد کند. بیشتر پژوهش‌ها انتقال میکروپلاستیک‌ها از زمین را به دفع نامناسب

زباله‌های پلاستیکی، توزیع توسط باد، فاضلاب شهری و همچنین، فاضلاب صنعتی و لجن فاضلاب نسبت می‌دهند. بازیافت ضایعات آلی از طریق کمپوست یا تخمیر و کاربرد متعاقب آن در زمین‌های کشاورزی، اصولاً روش مناسبی برای بازگرداندن مواد مغذی، عناصر کمیاب و هوموس به خاک است.

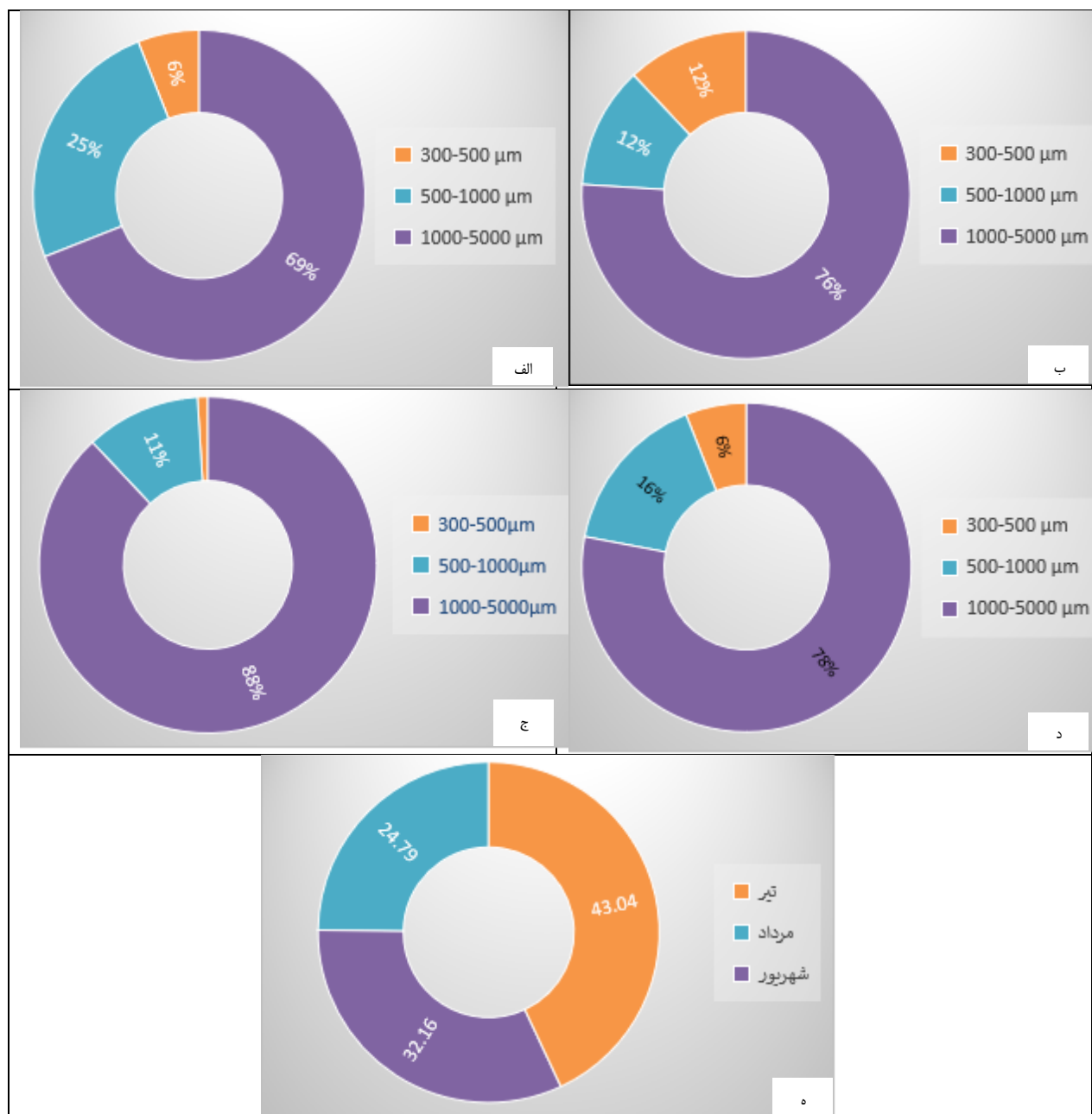
نتایج مطالعه حاضر نشان داد که به طور میانگین  $1/3395 \pm 8/36145$  ذره میکروپلاستیک در هر کیلوگرم کمپوست آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشاورزی اصفهان وجود داشت. با توجه به جدول ۱، فراوانی میکروپلاستیک‌ها در بازه ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر،  $7/1388 \pm 0/1875$  ذره بر کیلوگرم؛ در بازه ۱۰۰۰-۵۰۰ میکرومتر،  $8/3340 \pm 0/5000$  ذره بر کیلوگرم و در بازه ۵۰۰۰-۱۰۰۰ میکرومتر،  $6/7511 \pm 5/24562$  ذره بر کیلوگرم وزن خشک کمپوست شمارش شد. بر اساس شکل ۲، حدود ۷۸ درصد ذرات میکروپلاستیک شمارش شده در بازه ۵۰۰۰-۱۰۰۰ میکرومتر و ۶ درصد در بازه ۵۰۰-۳۰۰ میکرومتر می‌باشد که به ترتیب بیشترین و کمترین میزان را به خود اختصاص می‌دهند. این امر نشان می‌دهد که احتمال انتقال میکروپلاستیک‌های کوچک‌تر به شیرابه و آب‌های زیرزمینی بیشتر است (۲۳).

نتایج تحقیق Edo و همکاران که روی کمپوست بخش آلی زباله‌های شهری اسپانیا انجام شد، نشان داد که ۷۰ درصد میکروپلاستیک‌های شمارش شده در بازه ۵۰۰۰-۱۰۰۰ میکرومتر بوده است (۱۴) که با یافته‌های پژوهش حاضر مشابهت داشت. همچنین، در مطالعه Gui و همکاران که میکروپلاستیک‌های کمپوست زباله‌های روستایی را بررسی کرده بود، تعداد میکروپلاستیک را  $4/2$  ذره در گرم و بیشترین فراوانی را در بازه ۵۰۰-۱۰۰ میکرومتر گزارش کرد و علت آن را تمایل بیشتر ماکروپلاستیک‌ها به آزادسازی میکروپلاستیک‌ها کوچک‌تر دانست و اعلام نمود که بیش از ۷۰ درصد میکروپلاستیک‌ها با اندازه کمتر از  $5/0$  میلی‌متر بودند (۸) که با نتایج تحقیق حاضر متفاوت بود.

در پژوهش Braun و همکاران که در آلمان به بررسی انواع پلاستیک‌ها پرداخت، تعداد میکروپلاستیک‌های بزرگ (۵-۱ میلی‌متر) را بیشتر 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 $\pm$ انحراف معیار | $26250 \pm 883/8$                        | $101250 \pm 2298/1$                       | $286250 \pm 176/7$                         | $413750 \pm 2308/7$      |
| مرداد  | نمونه ۱                    | ۲۷۵۰                                     | ۴۷۵۰                                      | ۱۵۰۰۰                                      | ۲۰۲۵۰                    |
| ۱۴۰۲   | نمونه ۲                    | ۲۲۵۰                                     | ۲۷۵۰                                      | ۱۷۵۰۰                                      | ۲۰۲۵۰                    |
|        | نمونه ۳                    | ۳۷۵۰                                     | ۱۷۵۰                                      | ۲۵۵۰۰                                      | ۳۱۰۰۰                    |
|        | میانگین $\pm$ انحراف معیار | $2916/6 \pm 763/7$                       | $3083/3 \pm 1027/5$                       | $19333/3 \pm 548/8$                        | $23833/3 \pm 620/5$      |
| شهریور | نمونه ۱                    | ۲۵۰                                      | ۲۵۰۰                                      | ۱۵۷۵۰                                      | ۱۸۵۰۰                    |
| ۱۴۰۲   | نمونه ۲                    | ۲۵۰                                      | ۴۷۴۵۰                                     | ۳۴۷۵۰                                      | ۳۹۷۵۰                    |
|        | نمونه ۳                    | ۵۰۰                                      | ۳۲۵۰                                      | ۳۰۷۵۰                                      | ۳۴۵۰۰                    |
|        | میانگین $\pm$ انحراف معیار | $333/3 \pm 144/3$                        | $11450/0 \pm 3500/6$                      | $27083/3 \pm 10016/6$                      | $30916/6 \pm 11068/9$    |
| کل     | میانگین $\pm$ انحراف معیار | $18750/0 \pm 1388/7$                     | $5000/0 \pm 3440/8$                       | $24562/5 \pm 7511/6$                       | $36145/8 \pm 7395/1$     |



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

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).

غلظت‌های محاسبه شده میکروپلاستیک از  $0.9 \pm 2.4$  میلی‌گرم بر کیلوگرم تا  $9.6 \pm 18.8$  میلی‌گرم بر کیلوگرم برای میکروپلاستیک‌های بزرگ و از  $0.1 \pm 0.1$  تا  $0.8 \pm 2.2$  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.

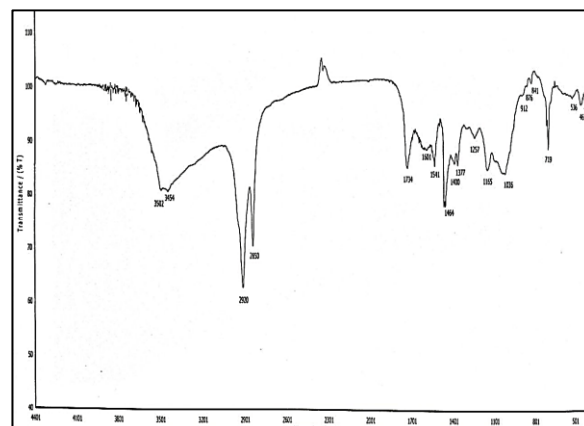
که اغلب از جنس PET می‌باشند که به خصوص در تابستان مورد مصرف بالتری دارند. در تحقیق انجام شده در اسپانیا، PE فراوانی بیشتری را به خود اختصاص داده بود که به علت استفاده در مواد بسته‌بندی مانند کیسه‌ها یا ظروف غذا اعلام شد (۱۴). با توجه به شکل ۴، میکروپلاستیک‌ها در پژوهش حاضر به اشکال الیاف، فوم، قطعه‌ای 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 هوازدهی باشد.

جدول ۲. درصد پلیمرهای میکروپلاستیکی موجود در کمپوست

| نوع  | اعداد موجی منتخب (cm <sup>-1</sup> ) | 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: Polystyrene; PVC: Polyvinyle 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.



شکل ۳. کروماتوگرام طیف‌سنجی

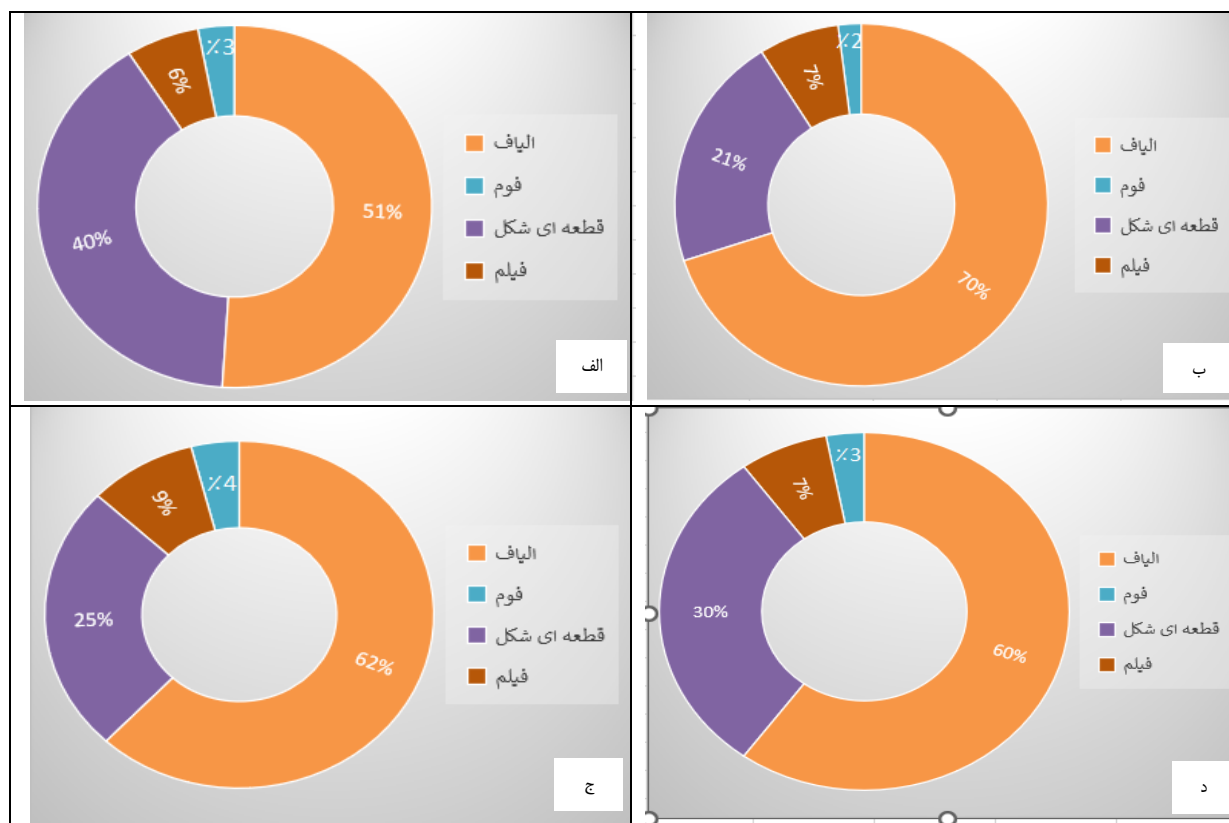
Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) بر اساس

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

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 $\pm$ انحراف معیار | $2332/23 \pm 2020/7$ | $14833/3 \pm 3180/2$ | $916/7 \pm 381/9$ | $18700/0 \pm 10347/1$ | $37200/0 \pm 9188/9$  |
| مرداد  | نمونه ۱                    | ۱۰۰۰                 | ۴۲۵۰                 | -                 | ۱۵۰۰۰                 | ۲۰۲۵۰                 |
| ۱۴۰۲   | نمونه ۲                    | -                    | ۵۲۵۰                 | ۲۵۰               | ۱۴۷۵۰                 | ۲۰۲۵۰                 |
|        | نمونه ۳                    | ۲۵۰۰                 | ۶۰۰۰                 | ۵۰۰               | ۲۲۰۰۰                 | ۳۱۰۰۰                 |
|        | میانگین $\pm$ انحراف معیار | $1750/0 \pm 1060/7$  | $5166/7 \pm 877/9$   | $370/0 \pm 176/8$ | $17200/0 \pm 4110/5$  | $23833/3 \pm 6206/5$  |
| شهریور | نمونه ۱                    | ۷۵۰                  | ۲۷۵۰                 | -                 | ۱۵۰۰۰                 | ۱۸۵۰۰                 |
| ۱۴۰۲   | نمونه ۲                    | ۴۵۰۰                 | ۱۰۲۵۰                | -                 | ۲۵۰۰۰                 | ۳۹۷۵۰                 |
|        | نمونه ۳                    | ۳۰۰۰                 | ۱۱۰۰۰                | ۱۲۵۰              | ۱۹۲۵۰                 | ۳۴۵۰۰                 |
|        | میانگین $\pm$ انحراف معیار | $2750/0 \pm 1887/5$  | $8000/0 \pm 4562/1$  | ۱۲۵۰              | $19700/0 \pm 5018/7$  | $30916/3 \pm 11068/9$ |
| کل     | میانگین $\pm$ انحراف معیار | $2343/8 \pm 1086/4$  | $9333/3 \pm 5142/3$  | $791/7 \pm 430/6$ | $18083/3 \pm 6202/6$  | $30333/3 \pm 9011/5$  |



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: میانه‌گین درصد فراوانی کل میکروپلاستیک‌ها

آماده مصرف در فضای سبز شهری و کشاورزی اصفهان در فصل تابستان به طور میانگین ۳۶ ذره میکروپلاستیک در هر گرم (با بازه ۱۸-۴۴ ذره بر گرم) کمپوست بود. حدود ۷۸ درصد ذرات میکروپلاستیک شمارش شده در بازه ۵۰۰-۵۰۰۰ 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، PE، PP، 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. میکروپلاستیک‌ها با 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 بازیافت‌شدنی، 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).

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، PET، PC 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

## تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر برگرفته از پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد با شماره ۳۴۰۰۵۸۶.

مصوب دانشگاه علوم پزشکی اصفهان می باشد. بدین وسیله از کلیه کسانی که در انجام این مطالعه همکاری نمودند، تشکر و قدردانی به عمل می آید.

## 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.