مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره شانزدهم ، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲، صفحات ۸۲۱ تا ۸۴۰

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله مرور ساختار یافته

مرور ساختاریافته روش‌های استفاده شده برای نمونه برداری و آنالیز میکروپلاستیک‌ها در هوا و گرد و غبار ترسیب یافته محیط‌های داخل و بیرون در ایران

زهرا خدارحمی، سکینه شکوهیان، محسن حیدری*

گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۸
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵

واژگان کلیدی: میکروپلاستیک‌ها، گرد و غبار ترسیب یافته، هوا، ایران، مرور ساختاریافته

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به نگرانی در مورد حضور میکروپلاستیک‌ها در هوا و گرد و غبار ترسیب یافته و عدم وجود رویکردی استاندارد برای شناسایی آنها، لازم است روش‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده برای مطالعه این نوع آلودگی در ایران بررسی شوند. بنابراین هدف این مطالعه، مرور ساختاریافته روش‌ها و تکنیک‌های بکار رفته برای نمونه برداری، سنجش و تعیین ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها در هوا و گرد و غبار ترسیب یافته در محیط‌های داخل و بیرون در ایران بود.

روش بررسی: در این مرور ساختاریافته، کلیدواژه‌های انگلیسی Microplastic*، Air*، Atmospher*، Dust، Indoor، Outdoor، Iran و معادل‌های فارسی مربوطه در پایگاه‌های علمی Scopus، Pubmed، Web of Science، Google Scholar، Magiran و SID تا ۱ دسامبر سال ۲۰۲۳ جستجو شدند.

یافته‌ها: بطور کلی، تعداد ۱۷۵ مقاله در جستجوی اولیه یافت شد و بعد از حذف موارد تکراری و نامرتبط، تعداد ۱۳ مقاله واجد شرایط وارد مطالعه شدند. در اکثر مطالعات، نمونه‌ها با H_2O_2 هضم شدند و میکروپلاستیک‌ها عمدتاً با استفاده از انواع میکروسکوپ‌ها و طیف سنج μRaman آنالیز شدند. فراوانی میکروپلاستیک‌ها در محیط داخل بسیار بالاتر از محیط بیرون بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که تجهیزات مورد نیاز برای نمونه برداری و آنالیز میکروپلاستیک‌ها در هوا و گرد و غبار ترسیب یافته در ایران وجود دارد و این آلاینده‌ها در هر دو محیط داخل و بیرون شناسایی شده‌اند.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
moheidari@modares.ac.ir

Please cite this article as: Khodarahmi Z, Shekoohiyan S, Heidari M. A systematic review of the methods used for sampling and analysis of microplastics in air and settled dust of indoor and outdoor environments in Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2024;16(4):821-40.

Copyright © 2024 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

مقدمه

تجمع گلوله‌ها و گرانول‌های پلاستیکی کوچک در محیط زیست از اوایل دهه ۱۹۸۰ مورد توجه قرار گرفت، اما در سال ۲۰۰۴ بود که Thompson و همکاران اصطلاح میکروپلاستیک‌ها را برای ذرات ریز پلاستیک‌ها معرفی کردند (۱). Frias و همکار با مروری بر تعاریف مختلف مطرح شده توسط مراجع معتبر در مورد میکروپلاستیک‌ها، این مواد را به عنوان ذرات جامد مصنوعی یا ماتریکس پلیمری با شکل منظم یا نامنظم و اندازه بین ۱ µm تا ۵۰۰۰ µm با منبع اولیه یا ثانویه و نامحلول در آب معرفی کرده‌اند (۲). میکروپلاستیک‌های اولیه به ذرات بسیار ریز پلاستیکی تولیدی با هدف استفاده از آن در مواد و وسایل مختلف مانند لوازم آرایشی و لباس اشاره دارد. نوع ثانویه حاصل تجزیه و خرد شدن پلاستیک‌های بزرگتر به کوچکتر در اثر هوازدگی، فتولیز، سایش مکانیکی، اشعه ماوراء بنفش خورشید و عوامل فیزیکی و شیمیایی است (۳، ۴).

انسان از طرق مختلف مانند بلع، استنشاق و تماس پوستی در معرض مواجهه با میکروپلاستیک‌ها در محیط قرار می‌گیرد. با توجه به مسیرهای مختلف مواجهه با میکروپلاستیک‌ها، هوا مهمترین مسیری است که ممکن است باعث مواجهه انسان با این نوع آلاینده شود. میکروپلاستیک‌ها به دلیل داشتن نسبت سطح به حجم بالا، دانسیته و سرعت ته‌نشینی کم (به ویژه الیاف) به آسانی وارد اتمسفر شده، معلق می‌شوند و توسط هوا جابجا می‌گردند و می‌توانند قبل از رسوب، صدها یا هزاران کیلومتر از مبدا تشکیل خود دور شوند (۵، ۶). با این حال، آلودگی میکروپلاستیک در اتمسفر، نسبت به محیط‌های آبی و خشکی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بطور کلی، امروزه استنشاق میکروپلاستیک‌ها یکی از مسیرهای بالقوه مواجهه با میکروپلاستیک‌ها و ایجاد اثرات سوء سلامتی برای سلامت انسان محسوب می‌شود (۷، ۸).

گرچه امروزه مردم نگرانی زیادی نسبت به خطرات احتمالی میکروپلاستیک‌ها دارند، با این‌حال هنوز اطلاعات کمی در مورد اثرات میکروپلاستیک‌ها بر سلامت انسان به دست آمده است و تنها نتایج آزمایش‌های سمی بر روی حیوانات آبزی، پستانداران و سلول‌ها نشان داده‌اند که آنها احتمالاً پیامدهایی برای سلامت انسان نیز دارند (۹، ۱۰). میکروپلاستیک‌ها نه تنها ممکن است به صورت مستقیم ایجاد خطر کنند بلکه به عنوان جاذب مواد شیمیایی مانند بی‌فنیل‌های پلی کلرینه (PCBs)، فلزات سنگین، پیرن، فنانترن و همچنین ناقل میکروارگانیسم‌ها هم عمل می‌کنند (۱۱، ۱۲). اندازه و شکل میکروپلاستیک‌ها تعیین کننده توانایی آنها برای استنشاق و سرنوشت آنها در بدن است. به عنوان مثال ذرات کوچکتر و زاویه‌دار سریعتر از ذراتی که لبه‌های بلندتر یا سطوح نامنظم دارند از موانع غشایی عبور می‌کنند. ذرات درشت میکروپلاستیک در مجاری فوقانی تنفسی ترسیب می‌شوند. از سوی دیگر ذرات ریز به اعماق ریه می‌رسند و در آنجا رسوب می‌کنند و باعث التهاب ریوی می‌شوند. عوامل دیگری که تعیین‌کننده نوع خطر در رابطه با استنشاق میکروپلاستیک‌ها هستند عمدتاً شامل ماندگاری میکروپلاستیک‌ها در تنفس، خصوصیات شیمیایی، مورفولوژی، محیط و دوام ذرات است (۷، ۱۳). واضح است که انسان بی‌وقفه در حال تنفس است و چون منابع تولید این آلاینده به وفور در همه جا یافت می‌شوند، مواجهه با آن اجتناب ناپذیر است. از طرفی، افراد جامعه معمولاً حدود ۹۰ درصد از وقتشان را در محیط‌های بسته مانند خانه، کلاس درس، اتاق‌کار، مهدکودک و غیره می‌گذرانند و از طرق مختلف در معرض این آلاینده قرار دارند (۱۴). از آنجاییکه منابع بالقوه تولید میکروپلاستیک‌ها در محیط داخل (پوشاک، فرش، موکت، مبلمان، پرده و غیره) و محیط بیرون (فعالیت‌های صنعتی، ساخت و ساز، انتقال بادی، سرعت گیرها، سایش تایر وسایل نقلیه و غیره) بسیار زیاد هستند، لذا توجه بیشتری را به مقوله میکروپلاستیک‌های منتقله توسط هوا می‌طلبد (۱۵، ۱۶). نگرانی در مورد آلودگی میکروپلاستیک‌های اتمسفری و اثرات مضر بالقوه آنها بر سلامت انسان از جمله استرس اکسیداتیو، ضایعات التهابی، اختلالات متابولیک، افزایش ریسک سرطان ایجاب می‌کند که تحقیقات علمی قوی‌تر انجام شود (۱۷).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

با توجه به اهمیت بالای میکروپلاستیک‌ها در محیط زیست بخصوص در هوای آزاد و گرد و غبار ترسیب یافته، تاکنون این آلودگی در برخی مناطق ایران در محیط‌های داخل و بیرون مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجاییکه روش‌های مختلفی جهت نمونه‌برداری و سنجش فراوانی و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها مورد استفاده قرار گرفته است، لازم است با مرور ساختاریافته این مطالعات در ایران، روش‌ها و امکانات فنی نمونه‌برداری و آنالیز میکروپلاستیک‌ها بررسی شوند و همچنین تصویری کلی از سطح آلودگی هوای آزاد و گرد و غبار ترسیب یافته به میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های داخل و بیرون در مناطق مختلف کشور ارائه گردد. لذا هدف این مطالعه، مرور ساختاریافته مطالعات انجام گرفته در ایران بر روی آلودگی هوا و گرد و غبار ترسیب یافته در محیط‌های داخل و بیرون مناطق مختلف ایران بود.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه جستجوی متون علمی در بازه زمانی تا اول دسامبر سال ۲۰۲۳ (بدون محدودیت در شروع جستجو) از پایگاه‌های علـمی Web of Science، Pubmed، Scopus، Google Scholar، Magiran و SID با کلیدواژه‌های زیر انجام گرفت:

عبارت زیر در عنوان، چکیده و کلیدواژه‌های متون علمی پایگاه Scopus انجام گرفت:

Microplastic* AND (Air* OR Atmospher* OR Dust OR Indoor OR Outdoor) AND Iran

عبارت زیر در عنوان و چکیده متون علمی پایگاه Pubmed انجام گرفت:

Microplastic* AND (Air OR Airborne OR Atmospher* OR Dust OR Indoor OR Outdoor) AND Iran

لازم به ذکر است که در این پایگاه امکان استفاده از علامت ستاره (*) برای کلمات با بیش از ۳ حرف امکان پذیر است، لذا به جای Air* هر دو کلمه Air و Airborne مورد جستجو قرار گرفت. در بین کلمـات مورد جـستـجـو Microplastic، Air، Atmosphere، Dust و Iran جزو لیست Mesh پایگاه NCBI بودند.

عبارت زیر در عنوان، چکیده و کلیدواژه‌های متون علمی پایگاه Web of Science انجام گرفت:

Microplastic* AND (Air* OR Atmosphere* OR Dust OR Indoor OR Outdoor) AND Iran

موتور جستجوی Google Scholar هم متون فارسی و هم متون انگلیسی را پوشش می‌دهد. لذا جستجوی متون انگلیسی و فارسی بصورت جداگانه انجام گرفت. با توجه به اینکه در این موتور جستجو امکان محدود کردن جستجو به چکیده مقالات و همچنین ریشه یابی کلمات نیست، لذا به منظور به حداقل رساندن از دست رفتن مقالات، جستجو در عنوان متون با محدودیت کمتر با کلمات کلیدی Microplastic و Iran و همچنین Microplastics و Iran انجام گرفت. برای هر یک از موارد جستجو، لیست مقالات به بخش My library منتقل شد و بعد از حذف مقالات تکراری بین ۲ جستجو، فهرست اولیه بدست آمد. برای متون فارسی نیز عبارت‌های میکروپلاستیک (هوا OR گرد و غبار OR اتمسفر)، میکروپلاستیکها (هوا OR گرد و غبار OR اتمسفر) و "میکروپلاستیک ها" (هوا OR گرد و غبار OR اتمسفر) بصورت جداگانه جستجو شدند.

در پایگاه Magiran نیز کلمات میکروپلاستیک یا میکروپلاستیکها یا "میکروپلاستیک ها" با حداقل یکی از کلمات هوا، گرد و غبار و اتمسفر جستجو شدند.

در نهایت در پایگاه SID نیز یکی از کلمات میکروپلاستیک یا میکروپلاستیکها یا میکروپلاستیک‌ها بصورت جداگانه با یکی از کلمات هوا، گرد و غبار و اتمسفر جستجو شدند. بطور کلی در هر پایگاه علمی فارسی، جهت بدست آوردن فهرست اولیه مقالات، مقالات حاصل از جستجو با عبارات متفاوت مشابهت یابی و حذف شدند. مقالات توسط نویسندگان مطالعه بازبینی شد.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

معیارهای ورود و خروج مطالعات شامل موارد زیر می‌شدند: مطالعات پژوهشی باشند، میکروپلاستیک در هوا یا گرد و غبار ترسیب یافته باشد، مقالات به دو زبان فارسی یا انگلیسی باشند، مطالعات صرفاً در ایران انجام شده باشند، مطالعات بصورت سنجش محیطی باشند. بنابراین، مطالعاتی که بر روی آلودگی میکروپلاستیک در دیگر محیط‌ها (آب، فاضلاب، خاک و رسوبات) انجام گرفته بودند و مطالعاتی با هدف غیرسنجش محیطی (مطالعات بر روی تجزیه پذیری محیطی و مطالعات آزمایشگاهی دارای مداخله) حذف شدند.

یافته‌ها و بحث

در این بخش ابتدا یافته‌های مربوط به "روند جستجو و انتخاب مطالعات مرتبط" و "مشخصات مطالعات انتخاب شده" ارائه می‌شود. سپس، بر اساس اطلاعات استخراج شده از مقالات واجد شرایط، یافته‌های مربوطه در زیربخش‌های "روش‌های نمونه‌برداری میکروپلاستیک‌ها"، "روش‌های آماده‌سازی نمونه‌ها"، "روش‌ها و تجهیزات سنجش و تعیین ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها"، "فراوانی و توزیع میکروپلاستیک‌ها در نمونه‌های هوا و گرد و غبار ترسیب یافته"، "ویژگی‌های فیزیکی و نوع پلیمر میکروپلاستیک‌ها" و "منابع و روش‌های انتقال میکروپلاستیک‌ها" ارائه و مورد بحث قرار می‌گیرد.

_ روند جستجو و انتخاب مطالعات مرتبط

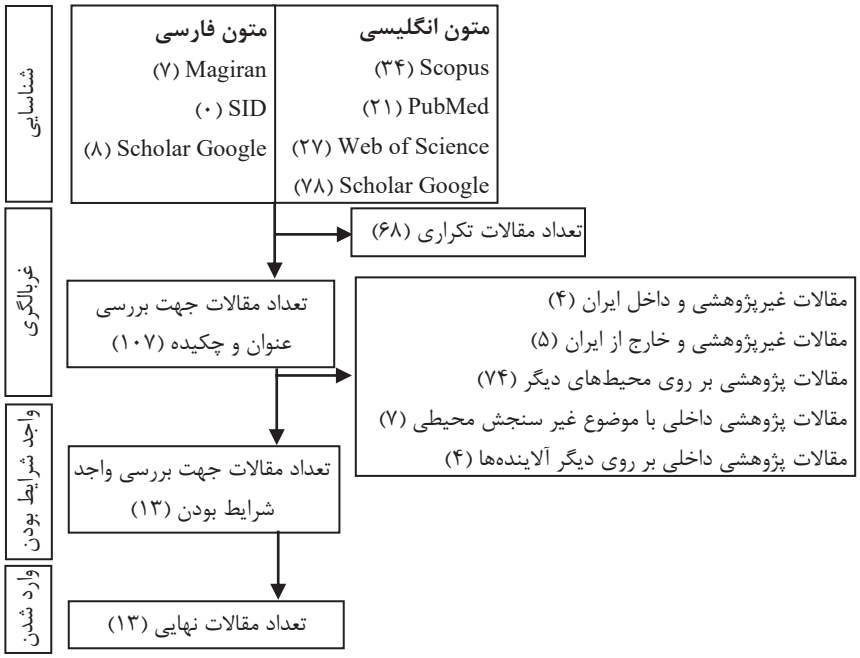
همانطور که قبلا ذکر شد، در این مطالعه مقالات انگلیسی و فارسی از ۴ پایگاه بین المللی و ۲ پایگاه ملی دریافت شد. روند جستجو و انتخاب مقالات بر اساس الگوی (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) بود (نمودار ۱). بطور کلی ۱۶۰ مقاله انگلیسی و ۱۵ مقاله فارسی در جستجوی اولیه دریافت شد. بعد از بررسی اولیه مشخص گردید که ۶۶ مقاله انگلیسی و ۲ مقاله فارسی تکراری هستند و حذف شدند. سپس مقالات بر اساس معیارهای ورودی مختلف مورد بررسی قرار گرفتند و از مجموع ۱۰۷ مقاله، ۹ مقاله غیرپژوهشی (مروری) شناسایی و حذف شد. همچنین تعداد قابل توجهی مقاله پژوهشی (۷۴ مقاله) مربوط به آلودگی محیط‌های دیگر بخصوص آب، رسوبات دریا و رودخانه به میکروپلاستیک‌ها بوده و حذف شدند. در مجموع، از ۱۰۷ مقاله مورد بررسی ۹۴ مقاله با موضوع این مطالعه (سنجش میکروپلاستیک‌ها در هوا و گرد و غبار در محیط داخل و بیرون در ایران) مرتبط نبوده و حذف شدند. بنابراین، ۱۳ مقاله تمام شرایط برای ورود به این مطالعه را دارا بودند و با بررسی متن کامل آنها مشخص شد تمامی مقالات شرایط کامل برای انتخاب نهایی را دارند. از مجموع ۱۳ مقاله نهایی، هیچ یک به زبان فارسی نبودند و تمامی مقالات در پایگاه‌های بین‌المللی منتشر شده بودند.

_ ویژگی‌های مطالعات انتخاب شده

همانطور که قبلاً ذکر شد، برای جستجوی مقالات محدودیت زمانی برای سال شروع جستجو نبود، اما بررسی مقالات نهایی بیانگر آن است که اولین مطالعه در مورد موضوع مورد نظر در ایران در سال ۲۰۱۷ انجام گرفته (۱۸) و پس از آن انتشار مقالات سرعت بیشتری گرفته است. اکثر مطالعات انجام گرفته بر روی میکروپلاستیک‌های منتقله توسط هوا، در مناطق جنوبی ایران و در استان‌های خوزستان، فارس، بوشهر و سیستان انجام شده است (۵، ۶، ۱۰، ۱۵، ۱۹-۲۵). در مطالعات مذکور یکی از دلایل تمرکز بر این مناطق وقوع طوفان‌های گرد و غبار متعدد ذکر شده است. مطابق نمودار ۲، از نقطه نظر محیط مورد مطالعه، از ۱۳ مطالعه معتبر مورد بررسی، تعداد ۱۰ مطالعه در محیط بیرون (۵، ۶، ۱۶، ۱۹-۲۱، ۲۳-۲۶) و ۳ مطالعه در محیط داخل (۱۰، ۱۵، ۲۲) انجام گرفته است. این آمار نشان‌دهنده مطالعات محدودی است که در محیط‌های داخل انجام شده است. با توجه به اینکه عموم جامعه معمولا بیشتر زمان خود را در محیط‌های داخل می‌گذرانند، لذا می‌بایست توجه بیشتری به محیط‌های داخل صورت گیرد. لازم به ذکر است که در مطالعه Abbasi و همکاران در سال ۲۰۱۹ در شهر عسلویه در استان بوشهر، از هر دو ماتریکس هوای آزاد و

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

گرد و غبار ترسیب یافته روی سطح جاده نمونه برداری انجام گرفت (۲۵)، لذا تعداد مقالات در نمودار ۲ برابر ۱۴ شده است. در جدول ۱ اطلاعات کامل‌تری از مطالعات مورد بررسی ارائه شده است. مطابق این جدول، از مجموع ۱۳ مطالعه مورد بررسی ۲ مطالعه در سال ۲۰۱۷، ۱ مطالعه در سال ۲۰۱۹، ۲ مطالعه در سال ۲۰۲۱، ۵ مطالعه در سال ۲۰۲۲ و ۳ مطالعه در سال ۲۰۲۳ انجام گرفته است. بنابراین، ردیابی و تعیین ویژگی های میکروپلاستیک ها در هوا و گرد و غبار، زمینه تحقیقاتی جدیدی است که در سال‌های اخیر مورد توجه محققین در ایران قرار گرفته است.



نمودار ۱- دیاگرام شناسایی مقالات بر اساس PRISMA

نمودار ۲- تعداد مطالعات در ایران در زمینه سنجش میکروپلاستیک‌ها در هوا و گرد و غبار ترسیب یافته

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

ـ روش‌های نمونه‌برداری میکروپلاستیک‌ها

یکی از ملزومات سنجش میکروپلاستیک‌ها در محیط، نمونه‌برداری آنها از محیط مورد نظر است. در مطالعات مبتنی بر نمونه برداری گرد و غبار ترسیب یافته معمولاً دو رویکرد مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ الف) قرار دادن ظروفی با سطح تمیز (مانند قیف، بطری، باران سنج و ظروف مسطح) در یک ارتفاع مشخص و برای دوره زمانی معین جهت نمونه‌برداری ذرات ترسیب شونده خشک و مرطوب (۱۴، ۲۷) و ب) جمع‌آوری گرد و غبارهای ترسیب یافته روی سطوح (۱۰، ۱۵). در مطالعات انجام گرفته بر روی آلودگی میکروپلاستیک‌های موجود در گرد و غبار ترسیب یافته و هوا در ایران، تنها ۴ مطالعه متمرکز بر نمونه‌برداری از هوای آزاد بود (نمونه‌برداری فعال) و در دیگر مطالعات، گرد و غبار ترسیب یافته از قبل بر روی سطوح یا گرد و غبار ترسیب یافته بر روی سطح ظروف نمونه برداری (جار) نمونه برداری شد (نمونه برداری غیرفعال میکروپلاستیک‌ها). بنابراین، در ایران عمدتاً، تمرکز بر روی روش نمونه برداری غیرفعال از طریق جمع آوری گرد و غبار ترسیب یافته بوده است. بطور کلی، روش نمونه‌برداری غیرفعال به دلیل سادگی، سهولت کاربردی، هزینه کم، مصرف انرژی کم و پوشش دادن دوره زمانی طولانی به عنوان یک روش مرسوم برای سنجش آلودگی میکروپلاستیک‌ها مورد توجه محققین قرار گرفته است (۲۸). البته، شرایط نامطلوب جوی به طور قابل توجهی بر کیفیت و خروجی نمونه‌برداری تاثیر می‌گذارد. بنابراین باید شرایط آب و هوایی بطور مرتب ثبت شود (۲۹). در مطالعات مورد بررسی، رایج‌ترین وسیله مورد استفاده در جمع‌آوری گرد و غبار سطوح، برس چوبی با موی دم اسب و خاک‌انداز استیل بوده و در هر دو محیط بیرون و داخل استفاده شده است (۶، ۱۰، ۱۵، ۱۶، ۲۰-۲۲، ۲۵).البته تعداد محدودی از محققان با استفاده از ظروف فلزی سفارشی، اقدام به جمع‌آوری گرد و غبار ترسیب شونده در محیط باز کردند. Shahraki و همکاران با استفاده از یک کانال فلزی به حجم ۲۴۵ L (۷۰×۷۰×۵۰ cm) با یک دریچه ورودی به ابعاد ۵۰ ×۵۰ cm، نمونه‌های گرد و غبار خشک را جمع آوری کردند (۱۹). در صورت جمع‌آوری نمونه خشک، تجهیزات از بارندگی (برف و باران) محافظت شده اند. این روش گرچه روش مناسبی برای جمع‌آوری و مطالعات میکروپلاستیک‌ها محسوب می‌شود ولی دارای معایبی شامل آلودگی توسط گیاهان یا حشرات و امکان از دست رفتن نمونه در طی دوره طولانی مدت نمونه‌برداری است (۳۰). Abbasi و همکاران در سال ۲۰۲۱ برای جمع‌آوری گرد و غبار مرطوب از یک قیف استیل ضدزنگ که به یک بطری وصل شده بود استفاده کردند. آب باران محتوی گرد و غبار از طریق قیف، وارد بطری شده و بعد از جمع‌آوری به یک ظرف شیشه‌ای تمیز منتقل شد (۵). لازم به ذکر است که در سطح دنیا، در مطالعات متعدد معتبری گرد و غبار ترسیب شده و ترسیب شونده را با استفاده از پلیت (پتری دیش) (۱۴)، جاروبرقی (۷) و فیلترهای تصفیه هوا (سیستم تهویه مطبوع) (۳۱) نیز جمع آوری کرده‌اند. تاکنون از این روش‌ها در مطالعات انجام گرفته در ایران استفاده نشده است.

در مطالعات مبتنی بر نمونه برداری فعال هوا با استفاده از پمپ، مقدار کنترل‌شده هوا در بازه زمانی معین مکش شده و ذرات روی فیلتر جمع‌آوری می‌شود. در نتیجه، کمیت یا غلظت ذرات معلق در هر حجم از هوا قابل محاسبه است. این روش به طور معمول برای مطالعه ذرات معلق (Particulate Matter (PM)) در هوا استفاده می‌شود، اما اکنون برای مطالعه میکروپلاستیک‌ها در هوا نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از مزیت‌های این روش، سرعت و دقت در جمع‌آوری میکروپلاستیک‌های منتقله توسط هوا از هوای بیرون یا داخل ساختمان است. یک سیستم نمونه‌بردار فعال شامل یک واحد پمپاژ یا خلاء، اندازه‌گیر چند مرحله‌ای ذرات و فیلتر است. میزان پمپاژ هوا معمولاً تنظیم می‌شود و محدوده اندازه ذرات معلق و فیلتر مناسب با ویژگی‌های مورد نیاز می‌تواند انتخاب شود (۲۸). همانطور که ذکر شد، در ایران تعداد محدودی از محققان (۴ مطالعه) از روش فعال استفاده کردند. با توجه به تراکم کم میکروپلاستیک‌ها در هوای آزاد،

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

معمولا لازم است حجم بالایی از هوا نمونه برداری شود. لذا در این مطالعات، زمان نمونه برداری ۲۴ h و دبی پمپ نمونه برداری در ۴ مطالعه در محدوده ۱/۶ - ۱ min/m^3 و در یک مطالعه (Akhbarizadeh و همکاران) ۱۶/۷ L/min بود و فیلترهای با جنس‌های کوارتز، فایبرگلس و کاغذی با اندازه منافذ ۱/۶ تا ۲/۵ µm مورد استفاده قرار گرفتند (۲۳-۲۶).

جدول ۱- ویژگی‌های مطالعات انجام گرفته بر روی گرد و غبار آلوده به میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های داخل و بیرون در ایران

سال	شهر/منطقه	تعداد نمونه	ماتریکس	محیط	ماده مورد استفاده برای		روش شمارش (تعیین فراوانی) و طبقه بندی	روش شناسایی پلیمر	مرجع
					هضم	جداسازی ثقلی			
۲۰۲۲	منطقه سیستان	۱۵	گرد و غبار ترسیب یافته در ظروف نمونه برداری	بیرون	H_2O_2	$ZnCl_2$	میکروسکوپ نوری	طیف‌سنج FTIR	(۱۹)
۲۰۲۱	شیراز	۳٤	گرد و غبار ترسیب یافته در ظروف نمونه برداری	بیرون	H_2O_2	$ZnCl_2$	میکروسکوپ نوری	طیف‌سنج µRaman	(۵)
۲۰۲۲	شیراز و بوشهر	۳۰	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح	داخل	H_2O_2	NaI	میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)	طیف‌سنج µRaman	(۱۰)
۲۰۲۲	شیراز	۲۸	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح	بیرون	H_2O_2	$ZnCl_2$	میکروسکوپ نوری، SEM	طیف‌سنج Raman	(٦)
۲۰۲۲	شیراز	۲۲	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح	داخل	H_2O_2	$ZnCl_2$	میکروسکوپ نوری، SEM	طیف‌سنج µRaman	(۱۵)
۲۰۱۹	عسلویه	۳۱	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح/هوای آزاد	بیرون	H_2O_2	NaI	میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ نور پلاریزه (PLM)، میکروسکوپ فلورسنس و SEM	-	(۲۵)
۲۰۲۳	شیراز	۷۲	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح	بیرون	H_2O_2	$ZnCl_2$	استریو میکروسکوپ	طیف‌سنج µRaman	(۲۱)
۲۰۲۳	اهواز	۳۲	هوای آزاد	بیرون	H_2O_2	$ZnCl_2$	میکروسکوپ نوری و SEM	طیف‌سنج µRaman	(۲۳)
۲۰۱۷	تهران	۱۰	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح	بیرون	H_2O_2	$ZnCl_2$	استریومیکروسکوپ، میکروسکوپ با نور فلورسنس، میکروسکوپ نوری، SEM	-	(۱٦)
۲۰۱۷	بوشهر	۱۰	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح	بیرون	H_2O_2	Na I	میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ با نور فلورسنس، میکروسکوپ نور پلاریزه، SEM	-	(۲۰)
۲۰۲۲	شیراز	۵۰	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح	داخل	H_2O_2	$ZnCl_2$	میکروسکوپ نوری و فلورسنس	طیف‌سنج µRaman	(۲۲)
۲۰۲۱	بوشهر	۱۲	هوای آزاد	بیرون	H_2O_2	KI	میکروسکوپ نوری و فلورسنس	طیف‌سنج µRaman	(۲٤)
۲۰۲۳	تهران	۲۸	هوای آزاد	بیرون	H_2O_2	$ZnCl_2$	میکروسکوپ نوری	طیف‌سنج µRaman	(۲٦)

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

ـ روش‌های آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه‌های ذرات ترسیبی و منتقله توسط هوا حاوی انواع گوناگونی از مواد آلی و معدنی با ترکیبات مختلف هستند که باید از میکروپلاستیک‌ها جدا شوند. در صورت عدم آماده سازی اولیه، اجزاء غیر پلاستیکی در طی آنالیز به وسیله برخی تکنیک‌های حساس به کربن، سیلیکا، بیوفیلم و غیره می‌توانند به اشتباه به عنوان میکروپلاستیک شناسایی شده و ایجاد خطا کنند (۳۲). در حال حاضر هیچ روش استاندارد شناخته شده‌ای برای آماده‌سازی نمونه‌ها وجود ندارد. با این حال، مطالعات نشان داده‌اند که بهترین روش جداسازی مواد آلی از میکروپلاستیک‌ها، هضم شیمیایی و جداسازی بر اساس اختلاف دانسیته است (۳۰). در مرحله هضم شیمیایی از انواع مواد هاضم مانند مواد اسیدی، قلیایی و آنزیم‌ها برای حذف مواد آلی استفاده می‌شود. در تمام مطالعات بررسی شده در ایران، محققان از پراکسید هیدروژن یا H_2O_2 (۳۰ یا ۳۵ درصد) استفاده کردند (جدول ۱). در این روش رادیکال هیدروکسیل آزادشده از تجزیه H_2O_2 اکثر مواد آلی طبیعی را به اسیدهای کربوکسیلیک، آلدهید، کربن دی اکسید و آب اکسید تبدیل می‌کند (۳۳). سپس نمونه‌ها با آب مقطر شسته و خشک شده و برای مرحله بعد آماده شدند. مرحله دیگر آماده‌سازی نمونه، جداسازی بر اساس اختلاف دانسیته است که با کمک یک محلول نمکی با دانسیته بالا، میکروپلاستیک‌ها شناور شده و از سایر مواد جدا شدند. همانطور که در جدول ۱ ذکر شده است، در مطالعات مورد بررسی از محلول‌های KI، NaI و $ZnCl_2$ (با دانسیته ۱/۸ - ۱/۶ g/cm^3) برای جداسازی ثقلی میکروپلاستیک‌ها استفاده شد. در این فرایند، تمام ماده نمونه برداری شده در محلول‌های نمکی قرار گرفت و مواد معدنی و رسوبات که دانسیته بیشتری دارند ته‌نشین شده و میکروپلاستیک‌ها بر سطح محلول شناور شدند. سپس مایع رویی که حاوی میکروپلاستیک‌ها است به ظرف دیگری منتقل شد. در مطالعات Abbasi و همکاران جهت جداسازی میکروپلاستیک‌ها از سوسپانسیون حاوی محلول نمکی استفاده شد و نمونه‌ها سانتریفیوژ شده است (۵، ۶، ۲۵). در اکثر مطالعات، فیلتر حاوی میکروپلاستیک‌ها برای آنالیز استفاده شد و البته در برخی مطالعات، مواد باقیمانده روی کاغذ صافی با کمک برس مویی (بدون پلاستیک) به پلیت منتقل شده و برای آنالیزهای بعدی مورد بررسی قرار گرفتند (۱۰، ۱۵).

ـ روش‌ها و تجهیزات سنجش و تعیین ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها

پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، میکروپلاستیک‌های جدا شده از نمونه‌های محیطی را می‌توان با استفاده از تجهیزات مختلف شمارش و ویژگی‌های آنها را تعیین کرد. بطور کلی، هیچ پروتکل استانداردی برای نمونه‌برداری و سنجش میکروپلاستیک‌ها در محیط وجود ندارد. مشاهده چشمی با استفاده از انواع میکروسکوپ، یک روش شناسایی اولیه و متداول جهت مشخص کردن ویژگی‌های آنها از جمله شکل، اندازه، رنگ و تعداد است (۳۴). اگرچه این روش سریع، ساده و ارزان است، اما محدودیت‌هایی از قبیل دشواری در افتراق میکروپلاستیک‌ها از سایر ذرات کوچک وجود دارد. علاوه بر آن، آنالیزی که صرفا متکی بر شناسایی چشمی است، میزان خطای بالایی دارد (۳۵، ۳۶). در مطالعات انجام گرفته در ایران از انواع میکروسکوپ شامل میکروسکوپ نوری (Optical microscope)، استریومیکروسکوپ (Stereomicroscope)، میکروسکوپ فلورسنس (Fluorescence microscope)، میکروسکوپ نور پلاریزه (Polarized light microscope (PLM)) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning electron microscope (SEM)) استفاده شده است (جدول ۱).

در PLM نور از میکروپلاستیک‌ها عبور کرده و نور پلاریزه می‌شود و رنگ‌های متفاوتی ایجاد می‌کند که منجر به شناسایی میکروپلاستیک‌ها می‌شود (۲۰). این روش برای

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

نمونه‌های میکروپلاستیک روی کاغذ صافی مات و کدر قابل اجرا نیست و میکروپلاستیک‌ها باید نازک باشند تا نور پلاریزه بتواند از آن عبور کند (۳۷). در بین محققان، Abbasi و همکاران (۲۰۱۷ و ۲۰۱۹) از PLM برای شناسایی میکروپلاستیک‌ها استفاده کردند (۲۰، ۲۵).

منبع نوری در استریومیکروسکوپ برخلاف میکروسکوپ‌های نوری در بالای نمونه قرار دارد و لذا، امکان تشخیص میکروپلاستیک‌های قرار گرفته بر روی فیلتر وجود دارد. البته به دلیل بزرگنمایی کم این نوع میکروسکوپ، امکان تشخیص ذرات بسیار ریز با آن وجود ندارد (۳۵). علی رغم استفاده وسیع از این نوع میکروسکوپ در مطالعات سنجش میکروپلاستیک‌ها در ماتریکس‌های مختلف، تنها دو مطالعه در بین مطالعات مورد بررسی قرار گرفته در ایران یعنی Khodabakhshloo و همکاران و Dehghani و همکاران از این تکنیک استفاده کردند (۱۶، ۲۱). در هردو میکروسکوپ‌های نوری و استریو امکان استفاده از منبع نوری فلورسنس وجود دارد. تکنیک فلورسنس مورد استفاده در میکروسکوپ فلورسنس متمایز از روش‌های نوری معمولی برای شناسایی و تعیین کمیت میکروپلاستیک‌ها است. این تکنیک نیاز به یک فرایند رنگ‌آمیزی در طی مراحل آماده سازی دارد. روش‌های رنگ‌آمیزی فلورسنس برای میکروپلاستیک‌ها را می‌توان به دو دسته رنگ‌آمیزی میکروپلاستیک‌ها روی کاغذ صافی و در محلول تقسیم‌بندی کرد. پس از عمل رنگ‌آمیزی، تعداد یا تراکم میکروپلاستیک‌های رنگ‌آمیزی شده توسط میکروسکوپ فلورسنس تعیین می‌شوند. این تکنیک، روشی ساده، سریع، ارزان و راحت برای تشخیص تراکم میکروپلاستیک‌ها و بررسی توزیع آنها در نمونه‌های محیطی است (۳۸). در بین محققان، Abbasi و همکاران (۲۰، ۲۵)، Akhbarizadeh و همکاران (۲۴) و Dehghani و همکاران (۱۶) از این روش جهت شناسایی میکروپلاستیک‌ها استفاده کردند. معمولاً از مطالعات مبتنی بر میکروسکوپ فلورسنس با کمک محلول رنگی نیل رد (Nile Red) می‌توان میکروپلاستیک‌هایی را که در آنالیز نوری قابل تشخیص نیستند شناسایی کرد. از بین مطالعات، تنها در مطالعه Akhbarizadeh و همکاران (۲۴) از رنگ‌آمیزی نیل رد برای تشخیص دقیق میکروپلاستیک‌ها با کمک نور فلورسنس استفاده شد.

در مقایسه با میکروسکوپ‌های نوری، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بزرگنمایی چندین برابر و قابلیت تفکیک بسیار بهتری دارند. با استفاده از این ابزار پیشرفته همراه با طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX))، شکل (فیبر، کروی، شش ضلعی و چند ضلعی نامنظم) و ترکیب عنصری را می‌توان به طور همزمان ارزیابی کرد (۱۶، ۳۹). میکروسکوپ الکترونی تصاویر بسیار واضح و روشنی از ذرات میکروپلاستیک فراهم می‌آورد و افتراق میکروپلاستیک‌ها از ذرات آلی را تسهیل می‌نماید (۳۵). میکروسکوپ‌های الکترونی به دلیل محدودیت میکروسکوپ نوری توسعه پیدا کرده‌اند، اما ایراداتی نیز دارند. این تکنیک به دلیل پرهزینه بودن، فرآیند سخت و زمان بر آماده سازی نمونه، تنها برای آنالیز تعداد محدودی از ذرات میکروپلاستیک مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۷). با این حال، این فناوری در کشور وجود دارد و در مطالعات مورد بررسی (جدول ۱)، محققان از SEM استفاده کرده‌اند.

طیف‌سنج میکرورامان (μRaman) و مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) رایج‌ترین تکنیک‌ها برای تعیین نوع و ساختار شیمیایی میکروپلاستیک‌ها هستند (۳۵). هر ترکیب شیمیایی، طیف مادون قرمز مخصوص به خود را دارد. با اندازه‌گیری طیف مادون قرمز جذب شده توسط نمونه میکروپلاستیک، امکان بررسی ساختار مولکولی میکروپلاستیک‌ها فراهم و به این طریق نوع پلیمر مشخص می‌شود. طیف‌سنج مادون قرمز نه فقط به درستی نوع

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

پلیمر میکروپلاستیک‌ها را شناسایی می‌کند، بلکه هرگونه تغییرات فیزیکی و شیمیایی مانند هوازدگی و اکسیداسیون را هم تشخیص می‌دهد (۳۰، ۴۰). FTIR می‌تواند میکروپلاستیک‌های بزرگتر از µm ۱۰ تا µm ۲۰ طیف‌سنجی کند و غالبا برای آنالیز کیفی میکروپلاستیک‌های بزرگتر از µm ۱۰ به کار می‌رود. با طیف‌سنج FTIR گروه‌های عاملی موجود در پلیمر میکروپلاستیک‌ها شناسایی شده و نوع پلیمر بطور مستقیم تعیین می‌شود (۴۱). در بین مطالعات انجام شده، فقط در مطالعه Shahraki و همکاران از تکنیک FTIR جهت شناسایی نوع پلیمرها استفاده شد (۱۹).

طیف‌سنج µRaman با استفاده از پرتو تک فام لیزر قادر به طیف‌سنجی ذرات میکروپلاستیک تا µm ۱ است. در مقایسه با FTIR، طیف‌سنج µRaman دارای محدوده طیفی وسیع‌تر، حساسیت کمتر به تداخل آب و وضوح بالاتر است و همچنین دارای قابلیت اطمینان بالا با تعداد کمی از نمونه‌ها است. لازم به ذکر است که برخی تداخلات فلورسنس و تخریب پلیمر ممکن است در طیف‌سنج µRaman رخ دهد. با این حال، این روش با توجه به اینکه قادر به شناسایی میکروپلاستیک‌های کوچکتر از µm ۲/۵ است، به عنوان بهترین گزینه برای شناسایی در نظر گرفته می‌شود (۲۴، ۴۲). طبق جدول ۱، در مطالعات مورد بررسی، به جز Shahraki و همکاران، دیگر محققان از µRaman برای تعیین ساختار شیمیایی میکروپلاستیک‌ها استفاده کردند.

علاوه بر تجهیزات فوق الذکر، در برخی مطالعات در ایران برای تایید ماهیت پلاستیکی ذرات از تست سوزن داغ نیز استفاده شده است (۵، ۶، ۲۱-۲۳). این روش معمولاً برای ذرات درشت کاربرد دارد. در این روش، یک سوزن داغ با ذرات تماس داده می‌شود و هر کدام که ذوب شدند به عنوان میکروپلاستیک در نظر گرفته می‌شوند (۳۵، ۴۳).

_ فراوانی و توزیع میکروپلاستیک‌ها در نمونه‌های هوا و گرد و غبار ترسیب یافته

فراوانی و توزیع میکروپلاستیک‌ها متاثر از عوامل محیطی متعددی است که باعث ایجاد انواع، غلظت‌ها و توزیع متنوعی در مکان‌های مختلف جغرافیایی و زمان‌های متفاوتی در روز، سال یا فصل می‌شود (۴۴، ۴۵). نتایج مطالعات مورد بررسی نشان داد که میکروپلاستیک‌ها در فراوانی‌های مختلف در هر دو محیط داخل و بیرون و در هردو ماتریکس گرد و غبار ترسیب یافته و هوا شناسایی شده‌اند. مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۲، در گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح محیط‌های داخلی میانگین فراوانی میکروپلاستیک‌ها در گرد و غبار در محدوده MP/g ۱۹۵/۱ تا MP/g ۱۳۹۰۰۰ بود. فراوانی میکروپلاستیک‌ها در گرد و غبار ترسیب یافته روی سطح جاده در محدوده MP/g ۸/۸ تا MP/g ۱۸۱، در گرد و غبار ترسیب یافته در ظروف نمونه برداری در محیط بیرون در محدوده MP/g ۰/۱۱ تا MP/g ۳۷، در گرد و غبار ترسیب یافته روی دیگر سطوح در محیط بیرون در محدوده MP/g ۱/۰۶ تا MP/g ۱۳۴ و در هوای آزاد در محدوده ۰ تا MP/m^3 ۱۴/۲ بود. این نتایج به وضوح نشان می‌دهد که میزان آلودگی گرد و غبار ترسیب یافته در محیط داخل بسیار بیشتر از محیط بیرون است. این وضعیت همراه با این واقعیت که افراد جامعه بیش از ۹۰ درصد زمان خود را در محیط داخل می‌گذرانند، بیانگر اهمیت بسیار بالای آلودگی محیط داخل به میکروپلاستیک‌ها است. علاوه بر این، در مطالعه Abbasi و همکاران در شیراز مشخص گردید که میکروپلاستیک‌ها در محیط خارج شهر حتی در مناطق کوهستانی وجود دارد (۵). بنابراین، این نوع آلاینده قادر است به مناطق دوردست انتقال یابد. در همین راستا، Akhbarizadeh و همکاران به این نتیجه رسیدند که ریزگردهای انتقال یافته از مناطق دوردست غرب و جنوب غرب کشور به شهر بوشهر حاوی میکروپلاستیک است (۲۴).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

جدول ۲- خلاصه آماری فراوانی میکروپلاستیک‌ها در گرد و غبار ترسیب یافته و هوا در محیط‌های داخل و بیرون در ایران

شهر/منطقه	محیط	ماتریکس	محل	حداقل تعداد میکروپلاستیک‌ها	حداکثر تعداد میکروپلاستیک‌ها	میانگین تعداد میکروپلاستیک‌ها	مرجع
منطقه سیستان	بیرون	گرد و غبار ترسیب یافته در ظروف نمونه برداری	سطح شهر	۰/۰۶ MP/g	۰/۱۱ MP/g	۰/۱ MP/g	(۱۹)
شیراز	بیرون	گرد و غبار ترسیب یافته در ظروف نمونه برداری	سطح شهر	۱۷/۲ MP/g	۳۷ MP/g	۲۶/۴ MP/g	(۵)
			کوهستان	۳۱/۹ MP/g	۶۵ MP/g	۴۳/۲ MP/g	
شیراز	داخل	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح	مسجد	۱۱۸۰۰۰ MP/g	۱۵۷۰۰۰ MP/g	۱۳۹۰۰۰ MP/g	(۱۰)
			مهد کودک	۹۶۰۰۰ MP/g	۱۶۰۰۰۰ MP/g	۱۲۱۶۰۰ MP/g	
			منزل مسکونی	۴۳۰۰۰ MP/g	۱۱۲۰۰۰ MP/g	۷۴۰۰۰ MP/g	
			دانشگاه	۴۴۰۰۰ MP/g	۹۴۰۰۰ MP/g	۶۳۶۰۰ MP/g	
			بیمارستان	۳۲۰۰۰ MP/g	۷۸۰۰۰ MP/g	۵۵۶۰۰ MP/g	
بوشهر	داخل	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح	مسجد	۶۴۰۰۰ MP/g	۱۰۳۰۰۰ MP/g	۸۷۳۰۰ MP/g	
			مهد کودک	۹۳۰۰۰ MP/g	۱۹۶۰۰۰ MP/g	۱۳۴۳۰۰ MP/g	
			منزل مسکونی	۲۷۰۰۰ MP/g	۹۲۰۰۰ MP/g	۶۸۶۰۰ MP/g	
			دانشگاه	۴۱۰۰۰ MP/g	۵۸۰۰۰ MP/g	۴۸۶۰۰ MP/g	
			بیمارستان	۵۸۰۰۰ MP/g	۷۵۰۰۰ MP/g	۶۵۰۰۰ MP/g	
شیراز	بیرون	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح	سطح اتومبیل بعد از طوفان گرد و غبار	۰/۰۴ MP/g	۱/۰۶ MP/g	۰/۴۴ MP/g	(۶)
شیراز	داخل	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح	مدرسه	۱۰ MP/g	۶۳۵ MP/g	۱۹۵/۱ MP/g	(۱۵)
عسلویه	بیرون	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح هوای آزاد	سطح جاده	۳/۵ MP/g	۵۱۵ MP/g	۶۰ MP/g	(۲۵)
			سطح شهر	۰/۳ MP/m^3	۱/۱ MP/m^3	۰/۶ MP/m^3	
شیراز	بیرون	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح	سطح تیر برق بتنی در شهر	۴ MP/g	MP/g۳۳۴۰	MP/g۱۳۴	(۲۱)
		گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح	سطح جاده	۳/۲ MP/g	۱۸۱ MP/g	۷۰/۲ MP/g	
اهواز	بیرون	هوای آزاد	سطح شهر	عدم تشخیص	۰/۰۱۷ MP/m^3	۰/۰۰۵ MP/m^3	(۲۳)
تهران	بیرون	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح	سطح جاده	۲/۹ MP/g	۲۰/۲ MP/g	۸/۸۳ MP/g	(۱۶)
بوشهر	بیرون	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح	سطح جاده	۲۱ MP/g	۱۶۶ MP/g	۷۴ MP/g	(۲۰)
شیراز	داخل	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح	مدرسه	۸۱ MP/g	۵۵۸۳۰ MP/g	۳۷۷۱ MP/g	(۲۲)
بوشهر	بیرون	هوای آزاد	منطقه شهری	۰ MP/m^3	۱۴/۲ MP/m^3	۵/۲ MP/m^3	(۲۴)
تهران	بیرون	هوای آزاد	منطقه شهری	۰/۷۴ MP/m^3	۰/۸ MP/m^3	۱ MP/m^3	(۲۶)

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

ـ ویژگی‌های فیزیکی و نوع پلیمر میکروپلاستیک‌ها

میکروپلاستیک‌ها با استفاده از تکنیک‌های اشاره شده در جدول ۱ به گروه‌های مختلفی از نظر رنگ، شکل و اندازه (بر اساس بزرگترین بعد) قابل تقسیم‌بندی هستند. مطالعات نشان داده است که اندازه میکروپلاستیک‌ها، نقش مهمی در انتقال و جابجایی آنها توسط گرد و غبار ایفا می‌کند، بطوریکه اندازه میکروپلاستیک‌ها عامل اصلی تعیین‌کننده سرنوشت آنها در محیط و ورود به بدن موجودات زنده است (۴۶). میکروپلاستیک‌های درشت معمولا در نزدیکی محل انتشار ترسیب می‌یابند، درحالیکه میکروپلاستیک‌های ریز به فواصل دور منتقل می‌شوند (۱۹، ۴۷). با توجه به جدول ۳، در مطالعات مورد بررسی، اندازه میکروپلاستیک‌ها در محیط داخل بزرگتر از میکروپلاستیک‌های محیط بیرون بودند، بطوریکه اندازه غالب میکروپلاستیک‌ها در محیط داخل در تمام مطالعات بیش از ۵۰۰ µm و در محیط بیرون به جز در مطالعه Shahraki و همکاران کوچکتر از ۵۰۰ µm بود (جدول ۳). در مطالعه Shahraki و همکاران بر روی ذرات گرد و غبار در شهرهای منطقه سیستان واقع در استان سیستان و بلوچستان نیز میکروپلاستیک‌های با اندازه ۱۰۰۰ µm تا ۲۰۰۰ µm بیشترین فراوانی را داشت (۱۹).

میکروپلاستیک‌ها بر اساس شکل به ۵ گروه الیاف، کروی/پلیت، قطعه، فیلم و فوم تقسیم‌بندی می‌شوند (۱۶). میکروپلاستیک‌های به شکل قطعه، معمولا از کیسه‌های پلاستیکی پرکاربرد منتشر می‌شوند. الیاف معمولاً از پوشاک و صنایع نساجی نشات می‌گیرند و می‌توانند به آسانی در هوا منتشر شوند (۱۹، ۴۸). معمولاً بخش قابل توجهی از میکروپلاستیک‌های منتقله توسط هوا بخصوص در محیط داخل از نوع الیاف منتشر شده از پارچه‌ها و محصولات نساجی هستند (۴۹، ۵۰).

میکروپلاستیک‌ها می‌توانند رنگ‌های متفاوتی داشته باشند و در مطالعات مورد بررسی انواع رنگ‌ها برای میکروپلاستیک‌ها گزارش شده است (۲۰، ۵۱). گرچه رنگ میکروپلاستیک‌ها می‌تواند نشان‌دهنده منبع احتمالی آنها باشد، با این‌حال رنگ دائمی نیست؛ بنابراین شناسایی منشاء میکروپلاستیک‌ها بر اساس رنگ ممکن است تا حدی بر مبنای حدس و گمان باشد. در مناطق با تراکم جمعیت بالا، تنوع رنگ‌ها دیده می‌شود. این تنوع رنگی همچنین ممکن است مربوط به ماهیت صنعتی برخی از مناطق باشد (۱۵، ۱۹، ۵۲). لازم به ذکر است که برخی از میکروپلاستیک‌ها با رنگ‌های مشابه، از پلیمرهای متفاوتی تشکیل شده‌اند که نشان‌دهنده این است که میکروپلاستیک‌ها با ظاهر مشابه، می‌توانند از منابع مختلفی منشاء گرفته باشند (۱۵). وجود میکروپلاستیک‌های رنگارنگ در محیط داخل ممکن است نشان‌دهنده آن باشد که این ذرات نسبتا جدید هستند و تحت تاثیر بی‌رنگ شدن در اثر نور یا فتوبلیچینگ (Photobleaching) قرار نگرفته‌اند. البته در محیط داخل غالب میکروپلاستیک‌ها شفاف و در محیط بیرون شفاف و سیاه بودند (جدول ۳). محققان، رنگ روشن میکروپلاستیک‌ها در نمونه‌های گرد و غبار داخلی را ناشی از استفاده از پلاستیک‌های یکبار مصرف گوناگونی مانند کیسه‌های پلاستیکی در مناطق مسکونی و تجاری و یا اثر فتوبلیچینگ طولانی مدت عنوان کرده اند (۱۰، ۱۵).

یکی از مهمترین راه‌های تقسیم بندی میکروپلاستیک ها، شناسایی آنها بر اساس نوع پلیمر در ساختار آنها است. در واقع با شناسایی پلیمر، امکان شناسایی منبع میکروپلاستیک تا حدودی فراهم می‌شود (۱۵). پلیمرهای اصلی شناخته شده پلاستیک‌ها شامل پلی اتیلن ترفتالات (PET)، پلی اورتان (PUR)، پلی وینیل کلراید (PVC)، پلی پروپیلن (PP)، پلی اتیلن (PE)، پلی استایرن (PS) و پلی کربنات (PC) می‌شوند (۵۳). مطابق جدول ۳، پلیمرهای غالب در محیط داخل PE، PP و PET و در محیط بیرون PE، PP، PET، PS و نایلون بودند. البته در برخی مطالعات ترکیب شیمیایی میکروپلاستیک‌ها مورد بررسی قرار نگرفته است (۱۶، ۲۰، ۲۵).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و نوع پلیمر میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در گرد و غبار ترسیب یافته و هوای آزاد

شهر/منطقه	ماتریکس	اندازه غالب (µm)	نوع پلیمر غالب	شکل غالب	رنگ غالب	مرجع
منطقه سیستان	گرد و غبار ترسیب یافته در ظروف نمونه برداری (بیرون)	۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰	PE و PS	Fragment	شفاف	(۱۹)
شیراز	گرد و غبار ترسیب یافته در ظروف نمونه برداری (بیرون)	کوچکتر از ۱۰۰	PP و PS	Fiber	-	(۵)
شیراز/بوشهر	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح داخل	بزرگتر از ۱۰۰۰	PE و PC	Fiber	شفاف	(۱۰)
شیراز	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح بیرون	کوچکتر از ۱۰۰	نایلون و PP	Fiber	شفاف	(٦)
شیراز	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح داخل	۵۰۰ تا ۱۰۰۰	PET و PP	Fiber	سفید-شفاف	(۱۵)
عسلویه	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطح جاده هوای آزاد	کوچکتر از ۱۰۰ کوچکتر از ۱۰۰	-	Spherule Fiber	سفید-شفاف شفاف	(۲۵)
شیراز	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح بیرون گرد و غبار ترسیب یافته روی سطح جاده	بزرگتر از ۱۰۰۰ در نزدیک سطح زمین و کوچکتر از ۱۰۰ در ارتفاع بالا	PET و نایلون PP	Fiber Fragment	-	(۲۱)
اهواز	هوای آزاد	کوچکتر از ۲۵۰	PET و PP	Fiber	سیاه/خاکستری	(۲۳)
تهران	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطح جاده	۲۵۰ تا ۵۰۰	-	Granule	سیاه/خاکستری	(۱٦)
بوشهر	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطح جاده	کوچکتر از ۲۵۰	-	Fiber	قرمز/صورتی	(۲۰)
شیراز	گرد و غبار ترسیب یافته روی سطوح داخل	۵۰۰ تا ۱۰۰۰	PET و PP	Fiber	سیاه/خاکستری	(۲۲)
بوشهر	هوای آزاد	-	PET و PP	Fragment	سیاه و شفاف	(۲٤)
تهران	هوای آزاد	-	PP و PS	Fiber	سیاه	(۲٦)

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

_ *منابع و روش‌های انتقال میکروپلاستیک‌ها*

در محیط داخل تعداد ساکنین و فعالیت‌های افراد در فراوانی و اندازه میکروپلاستیک‌ها در گرد و غبار محیط داخل اثر دارد. علاوه بر این عوامل، عادات رفتاری و موقعیت ساختمان، بار ترافیکی بالا و مجاورت با واحدهای صنعتی و کارگاهی نیز بر تعداد میکروپلاستیک‌ها در محیط داخل اثرگذار است (۱۵). بسیاری از تجهیزات مانند لباس، فرش، اسباب‌بازی، کف‌پوش، لوازم آرایشی و بهداشتی، تمیزکاری، مبلمان ساخته شده از منسوجات مصنوعی، می‌توانند میکروپلاستیک‌ها را در محیط داخل آزاد کنند و نیز سیستم تهویه هوا ممکن است منجر به تجمع میکروپلاستیک‌ها در محیط داخل شود (۱۰، ۴۸). علاوه بر این، میکروپلاستیک‌ها ممکن است از طریق درب یا پنجره‌ها و یا همراه کفش و لباس از محیط خارج وارد محیط داخل شوند. این مسیرها احتمالاً مربوط به تهویه ساختمان، نزدیکی به صنایع خاص، ترافیک جاده و موارد دیگر است (۲۲). در بین مطالعات مورد بررسی، Nematollahi و همکاران، فراوانی PET و PP در گرد و غبار داخل مدارس شیراز را ناشی از منسوجات مصنوعی به عنوان منبع اصلی میکروپلاستیک‌ها دانستند (۱۵). بطور کلی، در مطالعات متمرکز بر گرد و غبار ترسیب شونده داخل مدارس، مواردی مانند تراکم جمعیت، مجاورت با واحدهای صنعتی و کارگاهی فعال و ترافیک و پوشاک به خصوص لباس دانش آموزان به عنوان عوامل موثر بر آلودگی میکروپلاستیکی معرفی شدند (۱۵، ۲۲).

با تجزیه و تحلیل ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میکروپلاستیک ها، محققان پی برده‌اند که منابع این آلاینده‌ها در محیط بیرون می‌تواند مصالح ساختمانی، انتشارات صنعتی، پسماندهای پلاستیکی، تعلیق مجدد ذرات، دفن پسماند، ذرات حاصل از ترافیک، سوزاندن پسماند و خط‌کشی جاده‌ها باشد. Dehhaghi و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقات خود بر روی میکروپلاستیک‌های یافت شده در هوای آزاد تهران ذکر کردند که تعداد بالای میکروپلاستیک‌ها در جنوب شهر تهران احتمالاً مربوط به لندفیل کهریزک، کوره زباله سوز و عملیات مربوط به دفن پسماند در جنوب تهران بوده است (۲۶). در مطالعات Abbasi و همکاران و Akhbarizadeh و همکاران در بوشهر، محققین گزارش کردند که شهر بوشهر یک مرکز مهم ماهیگیری است و استفاده از انواع طناب‌ها و توری‌ها در ماهیگیری ممکن است باعث انتشار الیاف در هوای شهر شده باشد (۲۰، ۲۴). همچنین توپوگرافی زمین، جغرافیای محیط و جهت باد غالب از عواملی هستند که می‌توانند بر توزیع میکروپلاستیک‌های منتقله توسط هوا اثرگذار باشند (۱۵). میکروپلاستیک‌ها به دلیل اندازه کوچک و دانسیته کمی که دارند به آسانی توسط باد پراکنده می‌شوند و بخوبی مشخص شده است که انتقال اتمسفری میکروپلاستیک‌ها بستگی به شرایط آب و هوایی مانند شاخص تنش گرمایی، دمای گوی تر، سرعت باد، فشار هوا، جهت باد و رطوبت دارد (۵۴). در مطالعه انجام گرفته توسط Akhbarizadeh و همکاران، میزان میکروپلاستیک‌ها در هوای آزاد در روزهای غبارآلود در شهر بوشهر به طور چشمگیری نسبت به روزهای معمولی بالاتر بود و انتقال اتمسفری میکروپلاستیک‌ها همراه با ریزگردهای منتقل شده از فواصل بسیار دور به شهر بوشهر نیز به عنوان یک منبع احتمالی میکروپلاستیک‌ها معرفی شد (۲۴). Shahraki و همکاران در مطالعه خود اشاره کردند که در مناطقی مانند سیستان، به خصوص در مناطق کم جمعیت، جهت و سرعت باد می‌تواند نقش مهمی در تراکم میکروپلاستیک‌ها در هوا داشته باشد (۱۹). تصاویر ماهواره‌ای و گزارشات محققین تایید می‌کند که مهمترین منبع گرد و غبار در غرب و جنوب غربی ایران، شبه جزیره عربستان، به ویژه بیابان‌های عربستان سعودی است. میکروپلاستیک‌ها در پی طوفان گرد و غبار توسط بادهای قوی همراه با موادی مانند سیلیکات‌ها، کربنات‌ها و غیره از مناطق خشک دور افتاده و شبه جزیره عربستان به ایران منتقل می‌شوند (۶، ۵۵). همچنین تحقیقات سایر محققین نشان داده است که میکروپلاستیک‌ها می‌توانند کیلومترها در اتمسفر جا به جا شوند. میکروپلاستیک‌های یافت شده در برف و یخچال‌های طبیعی در اروپا، قطب شمال و جنوب و فلات

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

تبت در چین، اثبات می‌کند که میکروپلاستیک‌ها می‌توانند مسافت‌های طولانی جابجا شوند، چرا که این مناطق دور افتاده، به ندرت تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار دارند و این نتایج، اهمیت انتقال ذرات پلاستیکی خیلی ریز را به مناطق دوردست توسط باد نشان می‌دهد (۲۴، ۵۶، ۵۷). در ایران نیز این مقوله مورد بررسی قرار گرفته است و در مطالعه Abbasi و همکاران حضور میکروپلاستیک ترسیب شونده در مناطق کوهستانی در غلظتی بالا گزارش شد (۵). لازم به ذکر است که تحقیقاتی که روی میکروپلاستیک‌های منتقله توسط هوا انجام شده است عمدتاً متمرکز بر اتمسفر بیرون از ساختمان‌هاست، در حالیکه مردم اکثر وقتشان را در محیط بسته مانند خانه، اداره، مهد کودک، کلاس درس و غیره می‌گذرانند و بیشتر در معرض آلودگی میکروپلاستیک‌های محیط داخل قرار دارند (۱۴)، بنابراین به تحقیقات بیشتری در محیط‌های داخلی نیاز است.

با توجه به اینکه در این مطالعه لازم بود مقالات انگلیسی و فارسی جستجو شوند لذا مهمترین محدودیت، عدم امکان استفاده از کلمات یکسان در پایگاه‌های علمی بین المللی و داخلی بود. تلاش گردید در پایگاه‌های داخلی با عدم اعمال محدودیت‌ها در استفاده از تمام کلیدواژه‌ها این عدم انطباق تاحدودی رفع شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه تاکنون روش استانداردی برای نمونه برداری و آنالیز میکروپلاستیک‌ها وجود ندارد و تنوع روش‌ها و ابزارهای مختلف بخصوص در نمونه‌های هوا و گرد و غبار زیاد است، این مطالعه با هدف گردآوری مجموعه روش‌ها و ابزارهای بکار رفته در ایران برای سنجش میکروپلاستیک‌ها در هوا و ذرات گرد و غبار ترسیب یافته بر روی سطوح انجام گرفت. علاوه براین، سطح آلودگی گرد و غبار و هوا در ایران به میکروپلاستیک‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه مشخص گردید تعداد محدودی مطالعه در ایران روی سنجش میکروپلاستیک‌ها در هوا و گرد و غبار ترسیب یافته در محیط بیرون و داخل انجام گرفته است و اکثر تحقیقات انجام شده مربوط به مناطق جنوبی ایران و محیط بیرون بود. در این مطالعات، محققان عمدتاً از روش غیرفعال اقدام به جمع‌آوری نمونه‌ها کرده‌اند و عمدتاً از H_2O_2 و $ZnCl_2$ برای آماده سازی نمونه استفاده کرده اند. همچنین برای شمارش میکروپلاستیک‌ها عمدتاً از میکروسکوپ نوری و استریومیکروسکوپ و برای شناسایی پلیمرها عمدتاً از μRaman استفاده شده است. نتایج مطالعات نشان داد که در تمامی مناطق مورد مطالعه در ایران آلودگی به میکروپلاستیک در هوای آزاد و گرد و غبار ترسیب یافته در محیط بیرون و داخل وجود داشته است و فراوانی میکروپلاستیک‌ها در محیط داخل به طور چشمگیری بیشتر از محیط بیرون بود. همچنین میکروپلاستیک‌ها از نظر اندازه در محیط داخل، بزرگتر از میکروپلاستیک‌های محیط بیرون یافت شدند. شکل غالب میکروپلاستیک‌ها در هر دو محیط داخل و بیرون الیاف بود. در هر دو محیط PP و PE غالب‌ترین نوع پلیمر شناسایی شدند. بطور کلی، بررسی متون علمی نشان داد که تجهیزات لازم برای نمونه برداری، سنجش و تعیین ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها در هوا و گرد و غبار ترسیب یافته در ایران وجود دارد. البته تعداد محدود مطالعات انجام گرفته در ایران بیانگر آن است که اطلاعات در مورد سطح آلودگی به میکروپلاستیک‌ها در گرد و غبار محیط‌های داخلی در ایران محدود است. بنابراین مطالعات بیشتری بخصوص در محیط‌های داخل به منظور تعیین سطح آلودگی این محیط‌ها به میکروپلاستیک ها، تعیین عوامل تاثیرگذار و همچنین انجام مطالعات مداخله‌ای به منظور کاهش سطح آلودگی باید انجام گیرد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. کد اخلاق این پژوهش IR.MODARES.REC.1402.021 است.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

تشکر و قدردانی

این مطالعه حاصل بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان "بررسی سطح آلودگی میکروپلاستیک ها در محیط داخل و بیرون برخی ساختمان‌های مسکونی شهر تهران و ارزیابی میزان مواجهه ساکنین" در دانشگاه تربیت مدرس است و نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از حمایت پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس تشکر نمایند.

References

1. Salthammer T. Microplastics and their Additives in the Indoor Environment. Angewandte Chemie International Edition. 2022;61(32):e202205713.
2. Frias JP, Nash R. Microplastics: Finding a consensus on the definition. Marine Pollution Bulletin. 2019;138:145-7.
3. 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.(in Persian)
4. 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.(in Persian)
5. Abbasi S, Turner A. Dry and wet deposition of microplastics in a semi-arid region (Shiraz, Iran). Science of The Total Environment. 2021;786:147358.
6. Abbasi S, Rezaei M, Ahmadi F, Turner A. Atmospheric transport of microplastics during a dust storm. Chemosphere. 2022;292:133456.
7. Bahrina I, Syafei AD, Satoto R, Jiang J-J, Nurasrin NR, Assomadi AF, et al. An occupant-based overview of microplastics in indoor environments in the City of Surabaya, Indonesia. Journal of Ecological Engineering. 2020;21(8).
8. Yuan Z, Li H-X, Lin L, Pan Y-F, Liu S, Hou R, et al. Occurrence and human exposure risks of atmospheric microplastics: A review. Gondwana Research. 2022.
9. Liao Z, Ji X, Ma Y, Lv B, Huang W, Zhu X, et al. Airborne microplastics in indoor and outdoor environments of a coastal city in Eastern China. Journal of Hazardous Materials. 2021;417:126007.
10. Kashfi FS, Ramavandi B, Arfaeinia H, Mohammadi A, Saeedi R, De-la-Torre GE, et al. Occurrence and exposure assessment of microplastics in indoor dusts of buildings with different applications in Bushehr and Shiraz cities, Iran. Science of The Total Environment. 2022;829:154651.
11. Lim E, Tanaka H, Ni Y, Bai Y, Ito K. Microplastics/microfibers in settled indoor house dust—exploratory case study for 10 residential houses in the Kanto area of Japan. Japan Architectural Review. 2022;5(4):682-90.
12. Zhou G, Wu Q, Tang P, Chen C, Cheng X, Wei X-F, et al. How many microplastics do we ingest when using disposable drink cups? Journal of Hazardous Materials. 2023;441:129982.
13. Mehmood T, Hassan MA, Faheem M, Shakoor A. Why is inhalation the most discriminative route

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

of microplastics exposure? Environmental Science and Pollution Research. 2022;29(33):49479-82.
14. Soltani NS, Taylor MP, Wilson SP. Quantification and exposure assessment of microplastics in Australian indoor house dust. Environmental Pollution. 2021;283:117064.
15. Nematollahi MJ, Zarei F, Keshavarzi B, Zarei M, Moore F, Busquets R, et al. Microplastic occurrence in settled indoor dust in schools. Science of The Total Environment. 2022;807:150984.
16. Dehghani S, Moore F, Akhbarizadeh R. Microplastic pollution in deposited urban dust, Tehran metropolis, Iran. Environmental Science and Pollution Research. 2017;24:20360-71.
17. Wang Z, Dong H, Wang Y, Ren R, Qin X, Wang S. Effects of microplastics and their adsorption of cadmium as vectors on the cladoceran Moina monogolica Daday: Implications for plastic-ingesting organisms. Journal of Hazardous Material. 2020;400:123239.
18. Abbasi S, Keshavarzi B, Moore F, Delshab H, Soltani N, Sorooshian A. Investigation of microrubbers, microplastics and heavy metals in street dust: a study in Bushehr city, Iran. Environmental Earth Sciences. 2017;76(23):798.
19. Shahraki M, Rezaei Kahkha MR, Piri J, Sharafi A, Kaykhaii M. Microplastics in atmospheric dust samples of Sistan: sources and distribution. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 2022:1-6.
20. Abbasi S, Keshavarzi B, Moore F, Delshab H, Soltani N, Sorooshian A. Investigation of microrubbers, microplastics and heavy metals in street dust: a study in Bushehr city, Iran. Environmental Earth Sciences. 2017;76:1-19.
21. Khodabakhshloo N, Abbasi S, Turner A. Resuspension of microplastics and microrubbers in a semi-arid urban environment (Shiraz, Iran). Environmental Pollution. 2023;316:120575.
22. Abbasi S, Turner A, Sharifi R, Nematollahi MJ, Keshavarzifard M, Moghtaderi T. Microplastics in the school classrooms of Shiraz, Iran. Building and Environment. 2022;207:108562.
23. Abbasi S, Jaafarzadeh N, Zahedi A, Ravanbakhsh M, Abbaszadeh S, Turner A. Microplastics in the atmosphere of Ahvaz City, Iran. Journal of Environmental Sciences. 2023;126:95-102.
24. Akhbarizadeh R, Dobaradaran S, Torkmahalleh MA, Saeedi R, Aibaghi R, Ghasemi FF. Suspended fine particulate matter (PM2. 5), microplastics (MPs), and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in air: their possible relationships and health implications. Environmental Research. 2021;192:110339.
25. Abbasi S, Keshavarzi B, Moore F, Turner A, Kelly FJ, Dominguez AO, et al. Distribution and potential health impacts of microplastics and microrubbers in air and street dusts from Asaluyeh County, Iran. Environmental Pollution. 2019;244:153-64.
26. Dehhaghi S, Pardakhti A. Characterization of microplastics in the atmosphere of megacity Tehran (Iran). Environmental Science and Pollution Research. 2023:1-12.
27. Habibi N, Uddin S, Fowler SW, Behbehani M. Microplastics in the atmosphere: A review. Journal of Environmental Exposure Assessment. 2022;1(6):10.20517.
28. Chen G, Fu Z, Yang H, Wang J. An overview of analytical methods for detecting microplastics

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

in the atmosphere. TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2020;130:115981.

29. Dris R, Gasperi J, Saad M, Mirande C, Tassin B. Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment? Marine Pollution Bulletin. 2016;104(1-2):290-3.

30. Shao L, Li Y, Jones T, Santosh M, Liu P, Zhang M, et al. Airborne microplastics: A review of current perspectives and environmental implications. Journal of Cleaner Production. 2022:131048.

31. Fang C, Awoyemi OS, Saianand G, Xu L, Niu J, Naidu R. Characterising Microplastics in Indoor Air: Insights from Raman Imaging Analysis of Air Filter Samples. Journal of Hazardous Materials. 2023:132969.

32. dos Santos Galvão L, Fernandes EMS, Ferreira RR, dos Santos Rosa D, Wiebeck H. Critical steps for microplastics characterization from the atmosphere. Journal of Hazardous Materials. 2022;424:127668.

33. Dyachenko A, Mitchell J, Arsem N. Extraction and identification of microplastic particles from secondary wastewater treatment plant (WWTP) effluent. Analytical Methods. 2017;9(9):1412-8.

34. Rocha-Santos T, Duarte AC. A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2015;65:47-53.

35. Silva AB, Bastos AS, Justino CI, da Costa JP, Duarte AC, Rocha-Santos TA. Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry-A review. Analytica Chimica Acta. 2018;1017:1-19.

36. Luo X, Wang Z, Yang L, Gao T, Zhang Y. A review of analytical methods and models used in atmospheric microplastic research. Science of The Total Environment. 2022:154487.

37. Shim WJ, Hong SH, Eo SE. Identification methods in microplastic analysis: a review. Analytical Methods. 2017;9(9):1384-91.

38. Karakolis EG, Nguyen B, You JB, Rochman CM, Sinton D. Fluorescent dyes for visualizing microplastic particles and fibers in laboratory-based studies. Environmental Science & Technology Letters. 2019;6(6):334-40.

39. Goldstein JI, Newbury DE, Michael JR, Ritchie NW, Scott JHJ, Joy DC. Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis: Springer; 2017.

40. Veerasingam S, Ranjani M, Venkatachalapathy R, Bagaev A, Mukhanov V, Litvinyuk D, et al. Contributions of Fourier transform infrared spectroscopy in microplastic pollution research: A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 2021;51(22):2681-743.

41. Qiu Q, Tan Z, Wang J, Peng J, Li M, Zhan Z. Extraction, enumeration and identification methods for monitoring microplastics in the environment. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2016;176:102-9.

42. Araujo CF, Nolasco MM, Ribeiro AM, Ribeiro-Claro PJ. Identification of microplastics using Raman spectroscopy: Latest developments and future prospects. Water Research. 2018;142:426-40.

43. Naji A, Azadkhah S, Farahani H, Uddin S, Khan FR. Microplastics in wastewater outlets of Bandar Abbas city (Iran): A potential point source of microplastics into the Persian Gulf. Chemosphere. 2021;262:128039.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

44. Liu C, Li J, Zhang Y, Wang L, Deng J, Gao Y, et al. Widespread distribution of PET and PC microplastics in dust in urban China and their estimated human exposure. Environment International. 2019;128:116-24.
45. Dris R, Gasperi J, Mirande C, Mandin C, Guerrouache M, Langlois V, et al. A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. Environmental Pollution. 2017;221:453-8.
46. Besseling E, Quik JT, Sun M, Koelmans AA. Fate of nano-and microplastic in freshwater systems: A modeling study. Environmental Pollution. 2017;220:540-8.
47. Klein M, Fischer EK. Microplastic abundance in atmospheric deposition within the Metropolitan area of Hamburg, Germany. Science of The Total Environment. 2019;685:96-103.
48. Prata JC. Airborne microplastics: consequences to human health? Environmental Pollution. 2018;234:115-26.
49. Li Y, Shao L, Wang W, Zhang M, Feng X, Li W, et al. Airborne fiber particles: types, size and concentration observed in Beijing. Science of The Total Environment. 2020;705:135967.
50. Materić Da, Kasper-Giebl A, Kau D, Anten M, Greilinger M, Ludewig E, et al. Micro-and nanoplastics in alpine snow: a new method for chemical identification and (semi) quantification in the nanogram range. Environmental Science & Technology. 2020;54(4):2353-9.
51. Dobaradaran S, Schmidt TC, Nabipour I, Khajeahmadi N, Tajbakhsh S, Saeedi R, et al. Characterization of plastic debris and association of metals with microplastics in coastline sediment along the Persian Gulf. Waste Management. 2018;78:649-58.
52. Mbachu O, Jenkins G, Pratt C, Kaparaju P. A new contaminant superhighway? A review of sources, measurement techniques and fate of atmospheric microplastics. Water, Air, & Soil Pollution. 2020;231:1-27.
53. Ageel HK, Harrad S, Abdallah MA-E. Occurrence, human exposure, and risk of microplastics in the indoor environment. Environmental Science: Processes & Impacts. 2022;24(1):17-31.
54. Liu K, Wang X, Fang T, Xu P, Zhu L, Li D. Source and potential risk assessment of suspended atmospheric microplastics in Shanghai. Science of The Total Environment. 2019;675:462-71.
55. Abbasi S, Turner A, Hoseini M, Amiri H. Microplastics in the Lut and Kavir deserts, Iran. Environmental Science & Technology. 2021;55(9):5993-6000.
56. Bergmann M, Mützel S, Primpke S, Tekman MB, Trachsel J, Gerdts G. White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic. Science Advances. 2019;5(8):eaax1157.
57. Zhang Y, Gao T, Kang S, Allen S, Luo X, Allen D. Microplastics in glaciers of the Tibetan Plateau: evidence for the long-range transport of microplastics. Science of The Total Environment. 2021;758:143634.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Systematic Review Article

A systematic review of the methods used for sampling and analysis of microplastics in air and settled dust of indoor and outdoor environments in Iran

Zahra Khodarahmi, Sakine Shekoohiyan, Mohsen Heidari*

Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 10 October 2023
Revised: 19 December 2024
Accepted: 24 December 2024
Published: 05 March 2024

Keywords: Microplastics, Settled dust, Air, Iran, Systematic review

***Corresponding Author:**
moheidari@modares.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Given the concern about the presence of microplastics in the air and settled dust, and the lack of a standard approach for their detection, it is necessary to investigate the methods and techniques used to study this type of pollution in Iran. Therefore, this study aimed to systematically review the methods and techniques used for sampling, quantification, and characterization of microplastics in the air and settled dust in indoor and outdoor environments in Iran.

Materials and Methods: In this systematic review, the keywords Microplastic*, Air*, Atmosphere*, Dust, Indoor, Outdoor, Iran, and their corresponding Persian equivalents were searched until Dec 1, 2023, in Scopus, PubMed, Web of Science, Google Scholar, Magiran, and SID databases. Obtained articles from the databases were analyzed in order to find the eligible ones.

Results: Overall, 175 articles were found in the initial search, and after removing the duplicates and nonrelevant, 13 eligible articles were included in the study. In most of the studies, the samples were digested with H_2O_2, and the microplastics were mainly analyzed using a variety of microscopes and μRaman spectroscopy. The abundance of microplastics in the indoor environment was much higher than in the outdoor environment.

Conclusion: The results of this study showed that there is the required equipment for the sampling and analysis of microplastics in air and settled dust in Iran, and these pollutants have been detected in both indoor and outdoor environments.

Please cite this article as: Khodarahmi Z, Shekoohiyan S, Heidari M. A systematic review of the methods used for sampling and analysis of microplastics in air and settled dust of indoor and outdoor environments in Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2024;16(4):821-40.

Copyright © 2024 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-07-03]