

روش‌های شناسایی میکروپلاستیک در بطری‌های آب معدنی

حسنا عباسی گراوند

۱- دانشجوی کارشناسی علوم و مهندسی محیط‌زیست، گروه محیط‌زیست طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

* رایانامه نویسنده مسئول: hosnaabbasi@ut.ac.ir

چکیده

میکروپلاستیک‌ها، ذرات پلاستیکی کوچک با اندازه‌ای کمتر از ۵ میلی‌متر، به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان آلاینده‌های محیطی و بهداشتی مورد توجه قرار گرفته‌اند. با توجه به رشد تصاعدی تولید پلاستیک‌ها از اواسط قرن بیستم، نگرانی‌ها درخصوص تأثیرات محیط‌زیستی و بهداشتی این مواد افزایش یافته‌است. آب معدنی بطری‌شده، به‌عنوان یکی از محصولات مصرفی رایج، به‌دلیل استفاده گسترده و تماس مداوم با پلاستیک، می‌تواند منبع قابل‌توجهی از میکروپلاستیک‌ها باشند. مطالعات نشان می‌دهند که میکروپلاستیک‌ها در آب بطری‌شده ممکن است از طریق فرآیند تولید، بسته‌بندی و ذخیره‌سازی وارد آب شوند. این ذرات در اندازه‌های مختلف به‌راحتی وارد دستگاه گوارش انسان شده و ممکن است به سلامت افراد آسیب برسانند. بررسی‌های اخیر روی نمونه‌های آب معدنی از برندهای مختلف جهانی نشان داده‌است که درصد قابل‌توجهی از آن‌ها آلوده به میکروپلاستیک‌ها هستند. در این تحقیق، روش‌های تحلیلی متنوعی برای شناسایی و کمی‌سازی میکروپلاستیک‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌است؛ از جمله طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) و میکروسکوپ الکترونی. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که میزان آلودگی میکروپلاستیک‌ها در بطری‌های آب معدنی به‌طور قابل‌توجهی متفاوت است و این مسئله نیازمند توجه و اقدام فوری برای کاهش تأثیرات منفی آن بر سلامت عمومی است.

کلیدواژه‌ها: میکروپلاستیک، بطری آب معدنی، پلیمر، تصفیه آب

مقدمه

پلاستیک‌ها به‌عنوان پلیمرهای مصنوعی یا نیمه‌مصنوعی تعریف می‌شوند که خواص ترموپلاستیک یا ترموست دارند و ممکن است از مواد خام هیدروکربن یا زیست‌توده فراوری شوند. تولید پلاستیک از زمان ورود به صحنه مصرف‌کننده به‌طور تصاعدی افزایش یافته‌است و از یک میلیون تن در سال ۱۹۴۵ به بیش از ۳۰۰ میلیون تن در سال ۲۰۱۴ رسیده‌است. این مواد به‌دلیل وزن سبک، مقاومت در برابر شکستگی و تجزیه‌ناپذیری، در محیط-زیست ماندگار هستند و به میکروپلاستیک‌ها و نانوپلاستیک‌ها تبدیل می‌شوند که می‌توانند وارد زنجیره غذایی شوند. میکروپلاستیک‌ها به‌دلیل وزن کم می‌توانند از طریق باد و آب به محیط‌های مختلف منتقل شوند و در اکوسیستم‌های آبی و زمینی یافت شده‌اند (Praveena & Laohaprapanon, 2021).

مسیر اصلی قرار گرفتن در معرض میکروپلاستیک‌ها برای انسان، از طریق غذاهای آلوده و آب آشامیدنی است. این ذرات عمدتاً دفع می‌شوند اما پیامدهای باقی‌مانده در بدن هنوز نامشخص است. شواهد اصلی در مورد سمیت میکروپلاستیک‌ها از مطالعات روی مدل‌های حیوانی و آزمایش‌های آزمایشگاهی روی سلول‌های انسانی به‌دست آمده‌است. اثرات میکروپلاستیک‌ها به دو دسته فیزیکی و شیمیایی تقسیم می‌شوند؛ اثرات فیزیکی به حضور ذرات در بدن و تجمع آن‌ها بستگی دارد، درحالی که اثرات شیمیایی مربوط به ترکیبات پلیمری و افزودنی‌های شیمیایی است که ممکن است به سطح میکروپلاستیک‌ها جذب شوند (Toussaint et al., 2019).

محبوبیت روزافزون آب‌های بطری‌شده و نگرانی عمومی درباره میکروپلاستیک‌ها در این محصولات، نیاز به بررسی دقیق جنبه‌های روش‌شناختی مطالعات مربوط به میکروپلاستیک‌ها را افزایش داده‌است. پلاستیک‌ها تحت تأثیر عوامل محیطی به قطعات کوچکتری به نام میکروپلاستیک‌ها تجزیه می‌شوند که می‌توانند وارد زنجیره

پلاستیک‌ها به‌دلیل ترکیب منحصربه‌فردی از ویژگی‌ها مانند وزن سبک، استحکام بالا، مقاومت در برابر خوردگی و ویژگی‌های عایق حرارتی و الکتریکی به یکی از مواد پر استفاده در صنعت و زندگی روزمره تبدیل شده‌اند. تولید جهانی پلاستیک به‌طور پیوسته در حال افزایش است و این امر منجر به چالش‌های بزرگ مدیریت زباله‌های پلاستیکی و آلودگی‌های محیط‌زیستی شده‌است. با توجه به مصرف گسترده پلاستیک و تولید زباله‌های پلاستیکی، میکروپلاستیک‌ها، که به ذرات پلاستیکی با اندازه ۱ میکرومتر تا ۵ میلی‌متر اطلاق می‌شود، به یکی از آلاینده‌های پایدار و فراگیر در محیط‌زیست تبدیل شده‌اند. این ذرات در اکوسیستم‌های مختلف از جمله اقیانوس‌ها، آب‌های شیرین و خاک کشاورزی یافت می‌شوند و حضور آن‌ها در زنجیره غذایی نگرانی‌های جدی درباره سلامت انسان ایجاد کرده‌است (Geyer et al., 2017).

از دهه ۱۹۷۰، زمانی که اولین شواهد از وجود قطعات پلاستیکی کوچک در آب دریا توسط کارپنتر^۱ و اسمیت^۲ مشاهده شد، علاقه به میکروپلاستیک‌ها همواره در حال افزایش بوده‌است. تکنیک‌های شناسایی این ذرات بهبود یافته‌اند و میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های مختلف از جمله آب شیرین، رسوبات، جو و حتی خون و مدفوع انسان شناسایی شده‌اند. میکروپلاستیک‌ها می‌توانند از طریق بلع مستقیم، استنشاق هوا و تماس پوستی وارد بدن انسان شوند. چندین مطالعه میکروپلاستیک‌ها را در آب معدنی و سایر نوشیدنی‌ها شناسایی و ظروف بسته‌بندی را به‌عنوان منبع اصلی معرفی کرده‌اند. این یافته‌ها سوالاتی را در مورد ایمنی استفاده از ظروف پلاستیکی برای ذخیره مواد آشامیدنی مطرح کرده‌است (Mason et al., 2018).

¹ Carpenter
² Smith

قرار گرفتن در معرض روزانه انسان‌ها از طریق مصرف این آب‌ها می‌پردازد.

هدف این تحقیق شناسایی خواص فیزیکی و انواع مواد میکروپلاستیک‌ها در آب‌های بطری‌شده است. آلودگی میکروپلاستیک در آب آشامیدنی و مواد غذایی به‌عنوان یک تهدید بالقوه برای سلامت انسان شناخته شده‌است. مطالعات متعددی وجود میکروپلاستیک‌ها را در آب‌های بطری‌شده گزارش کرده‌اند. در این مقاله مطالعاتی که در زمینه ارزیابی آزادسازی ذرات میکروپلاستیک از بطری‌های یک‌بار مصرف آب‌معدنی^۲ PET پس از قرار گرفتن در معرض تنش مکانیکی بوده را مورد بررسی قرار داده است.



Sialkot, Pakistan, May 2024, Photographer: Noman Khan

غذایی شده و اثرات محیط‌زیستی و بهداشتی قابل‌توجهی داشته باشند. میکروپلاستیک‌ها آلاینده‌های انسانی هستند که در محیط‌های آبی مانند اقیانوس‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها یافت می‌شوند. اخیراً، تحقیقات محدودی در زمینه آب آشامیدنی صورت گرفته‌است که عمدتاً از طیف-سنجی فروسرخ تبدیل فوری^۱ (FTIR) استفاده کرده‌اند که توانایی تشخیص ذرات کوچکتر از ۲۰ میلی‌متر را ندارد. اما طیف‌سنجی میکرورومان، قادر به شناسایی ذرات بسیار کوچکتر است (Wong et al., 2021).

توجه به اهمیت و گستردگی استفاده از پلاستیک‌ها در زندگی روزمره و صنعت، به بررسی تأثیرات محیط‌زیستی و بهداشتی میکروپلاستیک‌ها با افزایش روزافزون تولید و مصرف پلاستیک‌ها، توجه به مدیریت صحیح زباله‌های پلاستیکی و کاهش ورود میکروپلاستیک‌ها به محیط-زیست ضروری است. مطالعات بیشتر و بهبود روش‌های تحلیلی برای شناسایی و کمیت‌سنجی میکروپلاستیک‌ها می‌تواند به کاهش خطرات احتمالی آن‌ها برای سلامت انسان و محیط‌زیست کمک کند.

آلودگی میکروپلاستیک‌ها به دلیل اثرات منفی آن‌ها بر محیط‌زیست و سلامت انسان به‌طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته‌است. این ذرات پلاستیکی با اندازه کمتر از ۵ میلی‌متر، در محیط‌های مختلفی از جمله آب، خاک و هوا وجود دارند. با توجه به استفاده گسترده از آب بطری‌شده و نگرانی‌های موجود درباره آلودگی میکروپلاستیک‌ها، این مقاله مطالعاتی که در زمینه حضور این ذرات در آب بطری‌شده صورت گرفته است را مورد بررسی قرار داده است. میکروپلاستیک‌ها ذرات پلاستیکی کوچکی هستند که تهدیدی جدی برای محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها محسوب می‌شوند. این مطالعه به‌طور خاص به بررسی مقدار میکروپلاستیک‌ها در آب معدنی بطری‌شده و ارزیابی

^۲ Polyethylene terephthalate

^۱ Fourier-transform infrared spectroscopy

۱. میکروپلاستیک‌ها

ذرات پلاستیکی که کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر هستند، جزء میکروپلاستیک‌ها محسوب می‌شوند و به‌عنوان میکروپلاستیک‌های اولیه و ثانویه طبقه‌بندی می‌شوند. میکروپلاستیک‌های اولیه عمدتاً در اندازه‌های میکروسکوپی مانند دانه‌های میکروسکوپی در محصولات مراقبت شخصی، گلوله‌های مورد استفاده در مواد اولیه یا تولید پلاستیک، اسکرابر مورد استفاده در مواد تمیزکننده ساینده و پودر پلاستیک مورد استفاده برای قالب‌گیری تولید می‌شوند. میکروپلاستیک‌های ثانویه از تخریب قطعات پلاستیکی بزرگ‌تر مانند تخریب مکانیکی در طول استفاده از موادی مانند پارچه، رنگ و تایر تولید می‌شوند و ممکن است به فعالیت‌های انسانی مرتبط باشند. میکروپلاستیک‌ها به‌دلیل وزن سبک و نامحلول بودنشان در محیط‌های آبی بسیار متحرک و همه‌جا حاضر هستند (گل‌بابائی کوتنائی و مهردادی، ۱۴۰۰).

۱،۱ تقسیم‌بندی میکروپلاستیک‌ها

میکروپلاستیک‌ها به دو قسمت اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند. میکروپلاستیک‌های اولیه توسط میکروگرانول‌های پلاستیکی نمایش داده می‌شوند که به‌طور هدفمند تولید و به محصولات مختلف اضافه می‌شوند و در آن‌ها استفاده می‌شوند. میکروپلاستیک‌های اولیه، پلاستیک‌هایی هستند که مستقیماً به شکل ذرات ریز در محیط آزاد می‌شوند. آن‌ها می‌توانند داوطلبانه به محصولاتی مانند مواد پاک‌کننده در لوازم آرایشی و بهداشتی اضافه شوند. آن‌ها همچنین می‌توانند از ساییدگی اجسام پلاستیکی بزرگ در طول ساخت، استفاده یا نگهداری، فرسایش پلاستیک‌ها در هنگام رانندگی یا ساییدگی منسوجات مصنوعی در حین شستشو منشأ بگیرند. درحالی‌که میکروپلاستیک‌های ثانویه، میکروپلاستیک‌هایی هستند که از تخریب اقلام پلاستیکی بزرگ‌تر به قطعات پلاستیکی کوچک‌تر پس از قرار گرفتن در معرض محیط‌های دریایی منشأ می‌گیرند. این امر از

طریق تخریب نوری و سایر فرآیندهای هوازدگی در زباله‌های مدیریت نشده مانند کیسه‌های پلاستیکی دور ریخته شده یا از دست دادن ناخواسته تورهای ماهیگیری اتفاق می‌افتد (پیران ینگجه و همکاران، ۱۴۰۲).

۲،۱ انواع پلیمر میکروپلاستیک‌ها

میکروپلاستیک‌ها از نظر نوع، ترکیب، اندازه و شکل بسیار متنوع هستند. فراوان‌ترین میکروپلاستیک‌ها عبارتند از پلی‌اتیلن^۱، PE، پلی‌پروپیلن^۲، PP، پلی‌آمید^۳، PA، پلی‌وینیل-کلراید^۴، PVC، پلی‌استایرن^۵، PS، پلی‌اتیلن ترفتالات^۶، PET و پلی‌اورتان^۷، PUR. مواد پلیمری میکروپلاستیک‌های اولیه عمدتاً شامل پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌استایرن هستند که بستگی به نوع محصولات تولید شده توسط کارخانه دارد. درحالی‌که میکروپلاستیک‌های ثانویه عمدتاً از پلی‌استر، اکریلیک و پلی‌آمید ساخته می‌شوند و الیاف را در محیط تشکیل می‌دهند (پیران ینگجه و همکاران، ۱۴۰۲).

۲. روش‌های شناسایی

روش‌های شناسایی میکروپلاستیک‌ها در بطری‌های آب‌معدنی شامل مجموعه‌ای از تکنیک‌های پیشرفته و پیچیده است که هدف آن‌ها شناسایی و تحلیل دقیق این ذرات در نمونه‌های آب است. برخی از مهم‌ترین این روش‌ها عبارتند از فیلتراسیون، میکروسکوپی نوری و الکترونی، طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) و ... هر یک از این روش‌ها دارای مزایا و محدودیت‌های خاص خود هستند و انتخاب روش مناسب به هدف مطالعه و ویژگی‌های نمونه‌های مورد بررسی بستگی دارد.

¹ Polyethylene

² Polypropylene

³ Polyamide

⁴ Polyvinyl chloride

⁵ Polystyrene

⁶ Polyethylene terephthalate

⁷ Polyurethane

۲-۱ فیلتراسیون

در مطالعه‌ای نمونه‌ها از هفت شرکت آب در انگلستان، اسکاتلند و ولز گرفته شد. نمونه‌برداری شامل جمع‌آوری ۵ مترمکعب آب در مدت ۲۴ ساعت با استفاده از دستگاه نمونه‌برداری تخصصی بود. برای کاهش آلودگی میکروپلاستیک، تمام مراحل نمونه‌برداری و پردازش در محیط کنترل‌شده انجام شد. فیلترهای فولادی ضد زنگ ۵ میکرومتری برای جمع‌آوری ذرات استفاده شد و سپس در آزمایشگاه مورد تحلیل قرار گرفتند. مقادیر میانگین قسمت‌های خالی از شمارش خام نمونه‌ها کسر شد و حد تشخیص براساس انحراف استاندارد محاسبه شد.

نتایج نشان داد که ۲۱ نوع مختلف از ذرات پلیمری مصنوعی شناسایی شد که پلی‌آمید (PA)، پلی‌اتن ترفتالات (PET)، پلی‌پروپیلن (PP) و پلی‌استایرن (PS) رایج‌ترین بودند. غلظت میکروپلاستیک‌ها در خروجی کارهای تصفیه آب، مخازن خدمات و شیرهای مشتری متفاوت بود. بیشترین غلظت مربوط به پلی‌پروپیلن در شیرهای مشتری با مقدار 0.1513 MP/L بود. تغییرات در مقدار و نوع میکروپلاستیک‌ها نشان داد که این ذرات ممکن است به‌عنوان یک سری الگو تکانه‌ای در شبکه توزیع وجود داشته باشند.

این مطالعه نشان داد که حضور میکروپلاستیک‌ها در شبکه توزیع آب پراکنده و متغیر است. وجود و انواع مختلف پلیمرها احتمالاً از مواد مورد استفاده در شبکه آب و سیستم‌های لوله‌کشی خانگی نشأت می‌گیرد. اگرچه مقدار مطلق میکروپلاستیک‌ها در شبکه توزیع آب کم بود، اما تنوع بالایی در انواع پلیمرها مشاهده شد که نیازمند بررسی‌های بیشتر برای مدیریت و کاهش آلودگی میکروپلاستیک در منابع آب شرب است (Adediran et al., 2024).

۲-۲ میکروسکوپ فلورسانس

در یک مطالعه، یک روش جدید برای تجزیه و تحلیل میکروپلاستیک‌ها^۱ در آب بطری با استفاده از هوش مصنوعی ارائه شده است. این روش شامل رنگ‌آمیزی نیل قرمز و میکروسکوپ فلورسانس است و از یک طبقه‌بندی کننده جنگل تصادفی برای پردازش تصاویر فلورسانس استفاده می‌کند. پروتکل رنگ‌آمیزی روی پلیمرهای مختلف آزمایش شد و سه سورفکتانت برای پراکندگی همگن MPs در ماتریس آب مورد بررسی قرار گرفتند. جمع‌آوری داده‌های تصویری با استفاده از میکروسکوپ Olympus انجام شد و تصاویر به دست آمده توسط نرم‌افزار cellSens پردازش شدند.

تجزیه و تحلیل تصویر تعداد ذرات، اندازه و توزیع اندازه MPs را ارائه داد. این داده‌ها امکان تخمین تقریبی جرم MPs منفرد و در نتیجه غلظت جرم MP در نمونه را فراهم کردند. این روش در اندازه‌گیری MPs تا ۱۰ میکرومتر حساس بود، با محدودیت تعداد ذرات تشخیص و تعیین کمیت به ترتیب ۲۸ و ۸۵ مورد در ۵۰۰ میلی‌لیتر. خطی بودن غلظت جرمی تعیین شده بین ۱۰ ppb و ۱/۵ ppm ضریب رگرسیون 0.99 (R^2) را نشان داد. دقت روش با تکرارپذیری $9-16\%$ ($n = 7$) RSD^3 و در آزمایشگاه تکرارپذیری $15-27\%$ (RSD ($n = 21$)) نشان داده شد. بازیابی در سطح 0.1 و 1.0 ppm به ترتیب ± 15 درصد و 23 ± 98 درصد بود. این روش با موفقیت در تجزیه و تحلیل ۲۰ نمونه تجاری آب بطری اعمال شد و نتایجی از مقادیر کمتر از حد تشخیص تا 7237 (95%) فاصله اطمینان ($[6456, 8088]$ CI^4) آیتم در ۵۰۰ میلی‌لیتر به دست می‌آورد.

این مطالعه یک روش جدید برای تجزیه و تحلیل MPs در آب بطری با استفاده از هوش مصنوعی ارائه داد که

¹ Microplastics² R-Squared (R^2 or the coefficient of determination)³ Relative standard deviation⁴ Confidence Interval

می‌تواند به صورت خودکار تصاویر فلورسانس را پردازش کرده و داده‌های کمی دقیق ارائه دهد. این روش در اندازه‌گیری MPs تا ۱۰ میکرومتر بسیار حساس است و با موفقیت در نمونه‌های تجاری آب بطری آزمایش شده‌است. نتایج نشان‌دهنده قابلیت اطمینان و دقت این روش در تحلیل میکروپلاستیک‌ها در آب بطری است (Vitali et al., 2024).

۲-۳ تصویربرداری لیزری مستقیم مادون قرمز (LDIR)^۱

در مطالعه‌ای، نمونه‌برداری از شش خانوار و دو آزمایشگاه در هلند انجام شد. ظروف پتری شیشه‌ای به مدت ۱۰ ساعت در محیط داخلی قرار گرفتند و سپس با اتانول ۹۶ درصد شسته و به لام‌های شیشه‌ای منتقل شدند. نمونه‌برداری از سه برند مختلف بطری آب معدنی انجام شد. هر بطری ۱۵ بار باز و بسته شد تا اثر اصطکاک درپوش بررسی شود. آب بطری‌ها از طریق فیلترهای غشایی نقره‌ای فیلتر و سپس ذرات روی سطح فیلتر با اتانول ۹۶ درصد شسته شدند. برای به حداقل رساندن آلودگی، اقدامات دقیق QA/QC^۲ انجام شد و بازیابی ذرات با استفاده از میکروسفرهای پلی‌اتیلن فلورسنت سنجیده شد.

در نتیجه میانگین غلظت MPs در بطری‌های آب ۹۶ ذره در لیتر با محدوده ۷ تا ۳۶۴ ذره در لیتر بود. پلیمرهای غالب، پلی‌اتیلن ترفتالات و پلی‌اورتان بودند. نرخ رسوب هوا MPs از ۰ تا ۵۷۳ ذره در مترمربع در ساعت متغیر بود. برای محیط خانگی، این مقدار به ۷ MPs در یک وعده غذایی متوسط تخمین زده می‌شود. ارتباط معناداری بین سطح کل پارچه (فیلتر) در واحد حجم اتاق و رسوب MPs یافت شد. توزیع قانون توان برای عرض، ارتفاع، مساحت، حجم و جرم ذرات ساخته شد.

این مطالعه نشان داد که تصویربرداری لیزری مستقیم مادون قرمز (LDIR) می‌تواند به عنوان روشی سریع و مؤثر برای تحلیل میکروپلاستیک‌ها در نمونه‌های مرتبط با انسان استفاده شود. همچنین، نتایج نشان داد که آب بطری شده و هوای داخلی منابع مهمی برای مواجهه انسانی با میکروپلاستیک‌ها هستند (Nizamali et al., 2023).

۲-۴ طیف‌سنجی FTIR^۳

در یک مطالعه سه نوع ظروف SODIS^۴ (یکی از روش‌های ضد عفونی آب) بطری‌های ۲ لیتری PET و دو نوع گالن بنزین شفاف (TJC) ۱۰ لیتری PP مورد آزمایش قرار گرفتند. ظروف با آب فوق خالص پر شده و به مدت ۱۲ هفته در معرض نور طبیعی خورشید قرار گرفتند. کل محتویات ظروف در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری شد و از طریق فیلترهای میکرو فیلتر شیشه‌ای فیلتر شد. آلودگی احتمالی میکروپلاستیک‌ها از محیط آزمایشگاهی نیز کنترل شد. بررسی بصری ذرات مشکوک با استفاده از میکروسکوپ و طیف‌سنجی FTIR انجام شد.

در نتیجه هوازدگی طولانی مدت باعث رهاسازی میکروپلاستیک‌ها از سطوح پلاستیکی به داخل آب شد. بطری‌های PET و ظروف PP هر دو به درجات مختلف دچار تخریب شدند و میکروپلاستیک‌هایی را آزاد کردند. ظروف PP TJC^۵ میکروپلاستیک‌های بیشتری نسبت به بطری‌های PET آزاد کردند. افزودنی‌های شفاف‌کننده در فرمولاسیون PP تأثیری بر رهاسازی میکروپلاستیک‌ها نداشت. اندازه‌های میکروپلاستیک‌ها برای تعیین سرنوشت آن‌ها هنگام مصرف اندازه‌گیری شد.

این مطالعه نشان داد که ظروف PP TJC میکروپلاستیک‌های بیشتری نسبت به بطری‌های PET آزاد می‌کنند و افزودنی‌های شفاف‌کننده تأثیری بر

^۳ Fourier-transform infrared spectroscopy

^۴ Solar water disinfection

^۵ Polypropylene transparent jerry can containers

^۱ Laser Direct Infrared Imaging

^۲ Quality Assurance/Quality Control

محیط‌زیست و سلامت انسان ضروری است (Mason et al., 2018).

۲-۵ فلوروفور PBN^۲

در مطالعه‌ای برای غربالگری میکروپلاستیک‌ها، از غشاهای (PCTE^۳) و فلوروفور PBN استفاده شد. پلیمرهای مختلف شامل PE، PET، PVC، PA-6^۴، PP، PS، PC^۵، PVDC^۶ و PU^۷ برای آزمایش انتخاب شدند. روش پیشنهادی شامل جمع‌آوری نمونه، انکوباسیون کوتاه‌مدت با محلول PBN و مشاهده با میکروسکوپ فلورسانس است. ذرات میکروپلاستیک پس از فیلتر شدن، با PBN انکوبه شده و در زیر میکروسکوپ فلورسانس مشاهده می‌شوند. نمونه‌های پلیمر با محلول PBN به مدت ۵ دقیقه در تاریکی انکوبه شدند و برچسب‌گذاری فلورسنت آن‌ها با میکروسکوپ فلورسانس بررسی شد. ذرات میکروپلاستیک PA-6 در آب لوله‌کشی انکوبه و فیلتر شدند. نمونه‌های آب بطری شده تجاری و آب محیطی نیز با روش مذکور بررسی شدند. نمونه‌های آب محیطی از جریان Oncheon در کره جنوبی جمع‌آوری و مورد آزمایش قرار گرفتند.

روش غربالگری توانست ذرات میکروپلاستیک با ابعاد ۱۵ میکرومتر تا ۳ میلی‌متر را شناسایی کند. همه ۹ نوع پلیمر با فلوروفور PBN به‌خوبی برچسب‌گذاری شدند.

روش پیشنهادی با استفاده از فلوروفور PBN امکان شناسایی سریع و ساده میکروپلاستیک‌ها در آب‌های بطری شده و آب‌های محیطی را فراهم می‌کند. این روش کارآمد، کم‌هزینه و قابل‌اجرا در شرایط مختلف محیطی است (Lee et al, 2021).

رهاسازی میکروپلاستیک‌ها ندارند. همچنین، نیاز به مطالعات بیشتر برای درک ایمنی ظروف پلاستیکی برای SODIS برجسته شده‌است (Álvarez-Fernández et al., 2024).

در مطالعه‌ای دیگر نمونه‌ها که در مجموع ۲۵۹ بطری آب از ۱۱ برند مختلف در ۲۷ لات^۱ از ۱۹ مکان در ۹ کشور خریداری شده بود، فرآوری شد. بطری‌ها باز شده و محلول نیل قرمز تزریق شد. پس از انکوباسیون، آب بطری‌شده از طریق فیلتر یاف شیشه‌ای فیلتر شد. ذرات بزرگتر از ۱۰۰ میکرومتر با استفاده از میکروسکوپ نوری شمارش و عکس‌برداری شدند. ذرات کوچکتر با استفاده از نرم‌افزار Galaxy Count تجزیه و تحلیل شدند. ذرات توسط طیف سنجی FTIR برای تأیید ماهیت پلیمری آن‌ها واکاوی شدند.

میکروپلاستیک‌های بزرگتر از ۱۰۰ میکرومتر: به‌طور متوسط ۱۰/۴ ذره در هر لیتر آب بطری یافت شد.

میکروپلاستیک‌های کوچکتر از ۱۰۰ میکرومتر: به‌طور متوسط ۳۲۵ ذره در هر لیتر آب بطری شناسایی شد.

رایج‌ترین نوع پلیمر، پلی‌پروپیلن بود که معمولاً برای ساخت در بطری استفاده می‌شود. آلودگی میکروپلاستیک‌ها در تمامی نمونه‌ها مشاهده شد.

نتایج نشان می‌دهد که آلودگی میکروپلاستیک‌ها به احتمال زیاد از بسته‌بندی و فرآیند بسته‌بندی ناشی می‌شود. این امر نشان‌دهنده نیاز به بررسی‌های بیشتر در مورد اثرات میکرو و نانوپلاستیک‌ها بر سلامت انسان است. با توجه به شیوع مصرف آب بطری در سراسر جهان، تحقیقات بیشتری برای فهم بهتر این آلودگی و تأثیرات آن بر

² 1-pyrenebutyric acid N-hydroxysuccinimidyl ester

³ Polycarbonate track-etched

⁴ Polyamide 6

⁵ Polycarbonate

⁶ Polyvinylidene chloride

⁷ Polyurethane

^۱ 'Lot': یک شماره شناسایی اختصاص داده شده توسط

یک سازنده به یک واحد تولیدی خاص

۲-۶ طیف‌سنجی میکرورامان

در مطالعه‌ای با استفاده از کاوشگر تک ذرات (^{1}SPE)، طیف‌سنجی m-Raman با اهداف $\times 10$ ، $\times 20$ و $\times 50$ ، فیلتر پلی‌رینات با روکش طلا و نمونه‌های آب از بطری‌های پلاستیکی قابل‌برگشت و یکبار مصرف^۲، کارتن‌های نوشیدنی و بطری‌های شیشه‌ای از فروشگاه‌های مواد غذایی در آلمان تهیه شد و نمونه‌ها براساس محتوای اسیدکربنیک طبقه‌بندی شدند و با استفاده از میز کار با جریان آرام (cleanroom class ISO 3, Envair eco air H, Envair Deutschland GmbH, Emmendingen) با پوشیدن کت آزمایشگاهی ۱۰۰٪ پنبه، دستکش نیتریل و آستین بازو در آزمایشگاه و استفاده از آب فوق خالص (Milli-Q) با فیلتر ۰/۲۲ میلی‌متری و تمیز کردن قیف و ظروف شیشه‌ای با آب دیونیزه، مواد شوینده و آب Milli-Q و با استفاده از میکروسکوپ تصویربرداری برای بررسی تمیزی ظروف و فیلتر کردن کل حجم آب هر بطری یا کارتن نوشیدنی از طریق فیلتر از پیش شمارش شده و اسکن کامل فیلترها در حالت میدان تاریک با بزرگنمایی ۲۰ برابر نشان داد که میکروپلاستیک‌های کوچک (۵۰-۵۰۰ میکرومتر) و بسیار کوچک (۱-۵۰ میکرومتر) در همه نوع آب یافت شدند. تقریباً ۸۰ درصد از تمام ذرات میکروپلاستیک اندازه‌ای بین ۵ تا ۲۰ میکرومتر داشتند که با تکنیک‌های تحلیلی مورد استفاده در مطالعات قبلی قابل تشخیص نبودند. میانگین محتوای میکروپلاستیک در بطری‌های پلاستیکی قابل‌برگشت 88 ± 118 ذره در لیتر و در بطری‌های پلاستیکی یکبار مصرف 14 ± 14 ذره در لیتر بود. محتوای میکروپلاستیک در کارتن‌های نوشیدنی 8 ± 11 ذره در لیتر بود. برخلاف انتظار، مقادیر بالایی از ذرات پلاستیکی در برخی از آب‌های بطری شیشه‌ای یافت شد (میانگین 50 ± 52 ذره در لیتر).

نتایج نشان می‌دهد که بسته‌بندی‌های مختلف می‌توانند میکروپلاستیک‌هایی را به آب آشامیدنی آزاد کنند. ذرات میکروپلاستیک یافت شده عمدتاً از جنس پلی‌استر، پلی‌اتیلن ترفتالات و پلی‌پروپیلن بودند که با مواد سازنده بطری‌ها و درپوش‌ها مطابقت دارد. در آب کارتن‌های نوشیدنی و بطری‌های شیشه‌ای، ذرات میکروپلاستیک دیگری مانند پلی‌اتیلن و پلی‌اولفین‌ها یافت شد که می‌تواند به دلیل پوشش فویل‌های پلی‌اتیلن و روان‌کننده‌های درپوش‌ها باشد.

این مطالعه نشان داد که طیف‌سنجی میکرورامان تکنیک موثری برای شناسایی میکروپلاستیک‌های بسیار کوچک در آب آشامیدنی است. یافته‌ها حاکی از آن است که بسته‌بندی‌های مختلف می‌توانند منبع آلودگی میکروپلاستیک‌ها باشند و نیاز به بررسی دقیق‌تر در این زمینه وجود دارد (Schymanski et al., 2018).

۲-۷ طیف‌سنجی ATR-FTIR^۳

در مطالعه‌ای نمونه‌ها از سوپرمارکت‌های استان کرمانشاه خریداری شده‌اند. هر برند شامل سه بطری پلاستیکی PET حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر آب معدنی بود. در آنالیزها از هود و دستکش نیتریل برای کاهش آلودگی متقاطع استفاده شد. بطری‌ها با محلول رنگ بیولوژیکی رز بنگال حاوی غلظت ۲۰ میکروگرم در میلی‌لیتر، رنگ‌آمیزی و سپس فیلتر شدند. غشاهای فیلتر در ظروف پتری ذخیره شدند. تجزیه و تحلیل استریو میکروسکوپ برای تشخیص کمی و کیفی MPs انجام شد. تست سوزن داغ برای تمایز بین MPs و سایر ساختارهای کریستالی استفاده شد. حضور MPs با استفاده از آنالیزهای ATR-FTIR و میکروسکوپ رامان تأیید شد. میزان مصرف روزانه (EDI^4) و سالانه (EAI^5) برای

³ Attenuated total reflectance-Fourier transform infrared

⁴ Estimated Daily Intake

⁵ Estimated Annual Intake

¹ Single Particle Explorer

² returnable and single-use plastic bottles

۲-۸ طیف‌سنجی پراش انرژی (EDS^۱)

در مطالعه‌ای سه برند بطری آب معدنی مختلف براساس وزن و ضخامت پلاستیک انتخاب شدند. بطری‌ها و درپوش‌ها پس از باز و بسته شدن به ترتیب یک بار، ۱۰ بار و ۱۰۰ بار تحت تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نمونه‌ها تحت SEM^۲ و EDS برای تحلیل سطح و ترکیب عنصری قرار گرفتند. تنش مکانیکی با فشرده‌سازی بطری‌ها به مدت ۱ و ۱۰ دقیقه شبیه‌سازی شد. غلظت میکروپلاستیک‌ها در آب بطری‌شده پس از تنش مکانیکی با فیلتر کردن و شمارش ذرات بررسی شد.

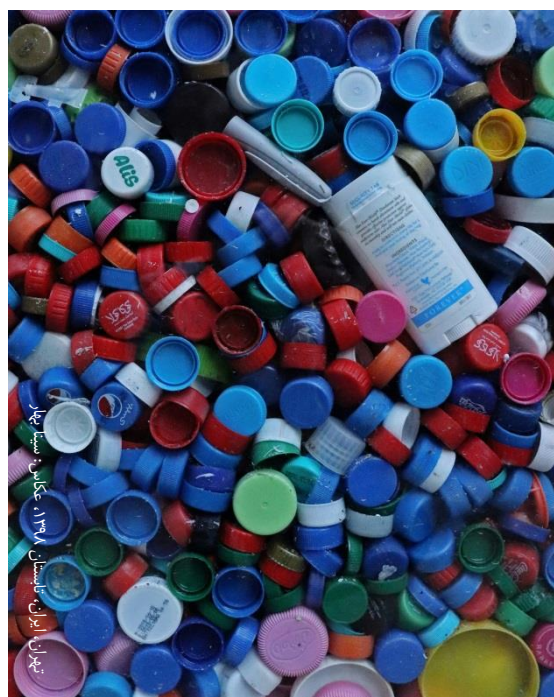
نتایج نشان داد که پس از بازوبسته شدن بطری‌ها، غلظت میکروپلاستیک‌ها در سطح مواد PET و HDPE^۳ افزایش یافت، به‌خصوص پس از ۱۰۰ بار باز و بسته شدن. تفاوت‌های قابل توجهی در سایش کلاhek بین برندها مشاهده شد که نشان دهنده اختلاف در رفتار پلاستیکی برندها است. غلظت ذرات میکروپلاستیک در آب بطری‌شده پس از تنش مکانیکی به‌طور قابل توجهی افزایش نیافت.

این مطالعه نشان داد که استفاده مکرر از بطری‌های پلاستیکی یک‌بار مصرف منجر به افزایش آزادسازی میکروپلاستیک‌ها از سیستم درپوش و گلوگاه می‌شود. تنش مکانیکی منجر به افزایش غلظت ذرات میکروپلاستیک در آب بطری‌شده نمی‌شود. بررسی مورفولوژیکی سطح دیواره داخلی بطری‌ها نشان داد که ترک‌های تنشی قابل مشاهده نیست، بنابراین بطری‌ها منبع ثابت میکروپلاستیک‌ها پس از این میزان تنش مکانیکی نیستند (Winkler et al., 2019).

بزرگسالان و کودکان محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهند که مصرف MPs از آب معدنی بطری به‌طور کلی ناچیز است.

MPs در ۹ برند از ۱۱ برند شناسایی شدند. غلظت MPs بین ۰ تا ۳۶ ذره در لیتر با میانگین $10/2 \pm 8/5$ ذره در لیتر متغیر بود. شکل و رنگ MPs متنوع بود، اما بیشترین MPs شناسایی‌شده به‌شکل قطعه (۹۳٪) و فیبر (۷٪) بودند.

این مطالعه نشان داد که آلودگی توسط میکروپلاستیک‌ها در برندهای محبوب آب معدنی بطری ایرانی وجود دارد. با این حال، مقدار مصرف روزانه و سالانه این ذرات برای انسان‌ها نسبتاً کم است. این نتایج نشان می‌دهد که نیاز به مطالعات بیشتری برای بررسی تأثیرات بلندمدت میکروپلاستیک‌ها بر سلامتی انسان وجود دارد (Makhdoumi et al., 2021).



¹ Energy Dispersive Spectroscopy

² Scanning Electron Microscope

³ High Density Poly Ethylene

۲-۹ طیف‌سنجی Micro-FTIR^۱

در مطالعه‌ای ۲۳ برند مختلف آب بطری شده از بازار چین تهیه و در آزمایشگاه تجزیه و تحلیل شدند. این نمونه‌ها در بطری‌های پلاستیکی پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) با حجم ۴۷۰-۶۰۰ میلی‌لیتر جمع‌آوری شدند. هر برند در سه بسته مختلف مورد بررسی قرار گرفت و سه معرف خالی به عنوان شاهد استفاده شد. با استفاده از روش‌های ساده فیلتراسیون، ذرات میکروپلاستیک از نمونه‌های آب استخراج شدند. برای جلوگیری از آلودگی در آزمایشگاه، از لباس‌های آزمایشگاهی نخی و دستکش‌های نیتریل استفاده شد. غشای پلی‌کربنات با روکش طلا با قطر ۲۵ میلی‌متر و اندازه منافذ ۰/۴ میکرومتر برای فیلتراسیون نمونه‌ها استفاده شد. برای شناسایی ترکیب شیمیایی ذرات، از طیف‌سنجی Micro-FTIR استفاده شد. محدوده طیفی $4000-700\text{ cm}^{-1}$ و وضوح طیفی 8 cm^{-1} تنظیم شد. چهار ناحیه مختلف هر فیلتر با وضوح فضایی ۲۵ میکرومتر $25 \times$ میکرومتر اسکن شد و طیف به دست آمده با پایگاه داده Thermo Scientific مقایسه شد.

نتایج نشان داد که در مجموع ۶۹ بطری از ۲۳ برند مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و ۲۱۵ ذره میکروپلاستیک شناسایی شد. تعداد ذرات در هر بطری بین ۲ تا ۲۳ ذره متغیر بود. ۱۱ نوع پلیمر مختلف شامل پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌استایرن (PS)، پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)، پلی‌اورتان (PU)، پلی‌وینیل کلرید (PVC)، پلی‌آمید (PA)، پلی‌اکریلیک اسید، پلی‌آکریل‌آمید، پلی‌اتیلن-وینیل استات (PEVA^۲) و سلولز شناسایی شدند. میکروپلاستیک‌ها براساس اندازه به شش دسته و براساس شکل به دو دسته (الیاف و قطعات^۳) تقسیم شدند. حدود ۹۰٪ از ذرات اندازه‌ای کمتر از ۱ میلی‌متر داشتند. الیاف

۳۳/۳٪ تا ۱۰۰٪ از کل میکروپلاستیک‌ها را تشکیل می‌دادند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان دادند که پلیمرهای مختلف میکروپلاستیک‌ها ویژگی‌های ناهمگنی دارند. اشکال مختلف شامل فیلم‌ها، گل‌ها، فوم‌ها، میله‌ها و اشکال نامنظم مشاهده شدند. آلودگی میکروپلاستیک‌ها ممکن است از منبع آب خام و بسته‌بندی پلاستیکی ناشی شده باشد. مواد بسته‌بندی PET و PE نیز می‌توانند منابع این آلودگی باشند. مصرف روزانه تخمینی میکروپلاستیک‌ها برای بزرگسالان و کودکان به ترتیب $0.274\text{ MP}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ و $0.600\text{ MP}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ محاسبه شد.

این مطالعه نشان داد که آب بطری شده در چین حاوی میکروپلاستیک‌ها با انواع و اندازه‌های مختلف است. نتایج به دست آمده می‌تواند به ارزیابی کامل و مناسب از میکروپلاستیک‌ها در آب آشامیدنی در چین کمک کند و نیاز به نظارت و کنترل بیشتر بر آلودگی میکروپلاستیک‌ها را برجسته کند (Zhou et al., 2021).

در مطالعه‌ای دیگر پنج برند محلی آب آشامیدنی بطری شده با حجم ۱۲۰ میلی‌لیتر از بازار سنتی تانگرانگ جنوبی جمع‌آوری شد. نمونه‌ها برای حضور میکروپلاستیک‌ها، اندازه و شکل آن‌ها با استفاده از میکروسکوپ دیجیتالی مورد بررسی قرار گرفتند. علاوه بر این، شناسایی مواد با استفاده از میکروسکوپ - تبدیل فوریه مادون قرمز (μ -FTIR) برای تجزیه و تحلیل انواع مواد موجود در نمونه‌ها انجام شد.

پنج بطری آب از هر برند تهیه شد. هر نمونه با استفاده از میکروفیلتر فیبر شیشه‌ای و پمپ خلاء فیلتر شد. فیلترها برای چند ساعت در دمای اتاق خشک شدند و سپس در یک خشک‌کن نگهداری شدند. فیلترها با استفاده از میکروسکوپ دیجیتالی برای تعیین شکل و اندازه میکروپلاستیک‌ها مشاهده شدند. میکروپلاستیک‌های مشکوک با استفاده از میکروسکوپ FTIR شناسایی شدند.

^۱ Micro-Fourier Transform Infrared Spectroscopy (μ -FTIR)

^۲ Polyethylene vinyl acetate

^۳ Fibers and Fragments

پارامترهای pH و چگالی پلاستیک بطری‌ها تأثیر مستقیمی بر میزان میکروپلاستیک‌ها داشتند. روش‌های به‌کار گرفته‌شده در مطالعه برای شمارش و شناسایی میکروپلاستیک‌ها معتبر و دقیق بودند.

این مطالعه نشان داد که مصرف آب معدنی بطری‌شده منجر به ورود مقادیر قابل‌توجهی از میکروپلاستیک‌ها به بدن انسان می‌شود. این نتایج نیازمند توجه بیشتر به کیفیت آب معدنی بطری‌شده و توسعه روش‌های استاندارد برای کنترل و کاهش آلودگی میکروپلاستیک‌ها در این محصولات است (Zuccarello et al., 2019).

روش SEM-EDX برای تحلیل میکروپلاستیک‌ها معتبر نیست و نتایج غلظت میکروپلاستیک‌ها بیش از حد بالا هستند (Oßmann et al., 2019).

نتیجه‌گیری

پلاستیک‌ها به‌دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی منحصربه‌فردشان، به‌طور گسترده‌ای در تولید و بسته‌بندی محصولات استفاده می‌شوند. با این حال، این ویژگی‌ها همچنین به بقای آن‌ها در محیط و تبدیل آن‌ها به میکروپلاستیک‌ها منجر می‌شود که به‌طور فزاینده‌ای به مشکلات محیط‌زیستی و بهداشتی تبدیل شده‌اند. تحقیقات نشان داده‌اند آب معدنی بطری‌شده، که به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان جایگزینی برای آب لوله‌کشی در نظر گرفته می‌شود، نیز از این آلودگی مستثنی نیست.

یافته‌ها نشان می‌دهند که میکروپلاستیک‌ها به‌ویژه از طریق فرآیند تولید و بسته‌بندی بطری‌های پلاستیکی وارد آب‌های معدنی می‌شوند. مطالعات نشان داده‌اند که ۹۳ درصد از نمونه‌های آب معدنی بطری‌شده، آلوده به میکروپلاستیک هستند، با غالب بودن ذرات پلاستیکی به شکل قطعات و الیاف. این آلودگی ناشی از

نتایج نشان داد که تمامی نمونه‌های بررسی‌شده به ریزباله‌هایی آلوده بودند که به‌عنوان میکروپلاستیک مشکوک شناسایی شدند. آلاینده‌های اصلی الیاف با طول‌های بین ۰/۰۴۲ تا ۳/۶۶۸ میلی‌متر بودند. بیشتر این الیاف از پلیمرهای مبتنی بر سلولز بودند که برای منسوجات طبیعی و مصنوعی استفاده می‌شوند. در هیچ یک از نمونه‌ها، پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن که معمولاً برای بسته‌بندی و در بطری‌ها استفاده می‌شوند، شناسایی نشد.

این مطالعه نشان می‌دهد که آب آشامیدنی بطری‌شده مورد بررسی به‌وسیله میکروپلاستیک‌ها آلوده نشده بلکه توسط ریزباله‌های پلیمرهای طبیعی مبتنی بر سلولز آلوده شده است. برای بهبود کیفیت آب آشامیدنی بطری‌شده، بررسی‌های بیشتری با استفاده از تکنیک‌های دقیق‌تر و نمونه‌های بیشتر توصیه می‌شود (Syuhada et al., 2023).

۱۰-۲ SEM-EDX^۱

در مطالعه‌ای ۱۰ برند مختلف آب معدنی بطری‌شده از بازار انتخاب و هر برند در سه لات مختلف بررسی شد. استفاده از تکنیک‌های مختلف از جمله SEM-EDX برای شناسایی و شمارش میکروپلاستیک‌ها مورد استفاده قرار گرفت. تمامی مراحل با دقت برای جلوگیری از آلودگی‌های متقاطع انجام و بلانک‌های معرف پردازش شدند و از تحلیل مؤلفه اصلی (PCA^۲) برای بررسی ارتباط بین پارامترهای مختلف استفاده شد.

نتایج نشان داد که میانگین غلظت میکروپلاستیک‌ها در آب‌های معدنی بطری‌شده بین ۱/۲۸ تا ۴/۲ میلی‌متر متغیر بود. EDI تخمین زده شد که مصرف روزانه میکروپلاستیک‌ها برای افراد بالغ و کودکان از طریق مصرف آب معدنی بطری‌شده به‌طور قابل‌توجهی بالاست.

^۱ Scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy

^۲ Principal Component Analysis

and behaviour of Microplastics ($> 25 \mu\text{m}$) within the water distribution network, from water treatment works to service reservoirs and customer taps. *Water Research*, 255, 121508.

Álvarez-Fernández, C., Matikainen, E., McGuigan, K. G., Andrade, J. M., & Marugán, J. (2024). Evaluation of microplastics release from solar water disinfection poly(ethylene terephthalate) and polypropylene containers. *Journal of Hazardous Materials*, 465, 133179

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Lavender Law, K. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782.

Lee, E., Lee, S., Chang, Y., & Lee, S. (2021). Simple screening of microplastics in bottled waters and environmental freshwaters using a novel fluorophore. *Chemosphere*, 285, 131406.

Makhdoumi, P., Amin, A. A., Karimi, H., Pirsaeheb, M., Kim, H., & Hossini, H. (2021). Occurrence of microplastic particles in the most popular Iranian bottled mineral water brands and an assessment of human exposure. *Journal of Water Process Engineering*, 39, 101708.

Mason, S. A., Welch, V. G., & Neratko, J. (2018). Synthetic polymer contamination in bottled water. *Frontiers in Chemistry*, 6.

Nizamali, J., Mintenig, S. M., & Koelmans, A. A. (2023). Assessing microplastic characteristics in bottled drinking water and air deposition samples using laser direct infrared imaging. *Journal of Hazardous Materials*, 441, 129942.

Oßmann, B., Schymanski, D., Ivleva, N. P., Fischer, D., Fischer, F., Dallmann, G., & Welle, F. (2019). Comment on “exposure to microplastics ($<10 \mu\text{m}$) associated to plastic bottles mineral water consumption: The first quantitative study by Zuccarello et al. [Water

میکروپلاستیک‌ها، به‌ویژه پلی‌پروپیلن، می‌تواند به‌دلیل استفاده طولانی مدت از پلاستیک‌ها و نیز به‌دلیل شستشو و تخریب در فرآیندهای تصفیه آب باشد.

روش‌های تحلیلی مانند رنگ‌آمیزی فلورسانت و طیف‌سنجی، شناسایی و سنجش میکروپلاستیک‌ها در آب بطری‌شده را ممکن ساخته‌اند. این تکنیک‌ها در تشخیص ذرات ریزتر و انواع پلیمرها مؤثرند، اما همچنان با محدودیت‌هایی روبه‌رو هستند. به‌کارگیری فناوری‌های نوینی مانند فلوروفور PBN و طیف‌سنجی میکرورامان، دقت این فرآیندها را بهبود بخشیده‌است.

به‌طور کلی، نتایج این مطالعه تأکید می‌کند که مصرف آب بطری‌شده می‌تواند منجر به ورود مقادیر قابل‌توجهی از میکروپلاستیک‌ها به بدن انسان شود. این مسئله نشان‌دهنده نیاز به اقدامات بیشتر برای بهبود فرآیندهای تولید و بسته‌بندی بطری‌های پلاستیکی و همچنین بهبود روش‌های تصفیه آب برای کاهش آلودگی میکروپلاستیک‌ها است. همچنین، نیاز به تحقیقات بیشتر برای بررسی اثرات بهداشتی میکروپلاستیک‌ها بر سلامت انسان و محیط‌زیست وجود دارد.

منابع

پیران ینگجه، پ.، رضاقلی، س. و گنجی دوست، ح. (۱۴۰۲). میکروپلاستیک و روش‌های حذف آن از آب. ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر، ۹-۱.

گلبابائی کوتنائی، ف. و مهرداد، ن. (۹ آذر ۱۴۰۰). نقش فرآیندهای تصفیه در میزان میکروپلاستیک‌ها در خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب. اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب، تهران.

Adediran, G. A., Cox, R., Jürgens, M. D., Morel, E., Cross, R., Carter, H., Pereira, M. G., Read, D. S., & Johnson, A. C. (2024). Fate

Zuccarello, P., Ferrante, M., Cristaldi, A., Copat, C., Grasso, A., Sangregorio, D., Fiore, M., & Conti, G. O. (2019). Reply for comment on “Exposure to microplastics (<10 μm) associated to plastic bottles mineral water consumption: The first quantitative study by Zuccarello et al. [Water Research 157 (2019) 365–371].” Water Research, 166, 115077.

Research 157 (2019) 365–371].” Water Research, 162, 516–517.

Praveena, S. M., & Laohaprapanon, S. (2021). Quality assessment for methodological aspects of microplastics analysis in bottled water – A critical review. Food Control, 130, 108285.

Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H., & Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. Water Research, 129, 154–162.

Syuhada, N., Radini, F. A., Rusmana, D., Liza, C., Nur, M. Z., I., & Rifathin, A. (2023). Preliminary study of microplastic in bottled drinking water. IOP Conference Series. Earth and Environmental Science, 1201(1), 012102.

Toussaint, B., Raffael, B., Angers-Loustau, A., Gilliland, D., Kestens, V., Petrillo, M., ... & Van den Eede, G. (2019). Review of micro- and nanoplastic contamination in the food chain. Food Additives & Contaminants: Part A, 36(5), 639–673.

Vitali, C., Peters, R. J., Janssen, H., Undas, A. K., Munniks, S., Ruggeri, F. S., & Nielen, M. W. (2024). Quantitative image analysis of microplastics in bottled water using artificial intelligence. Talanta, 266, 124965.

Winkler, A., Santo, N., Ortenzi, M. A., Bolzoni, E., Bacchetta, R., & Tremolada, P. (2019). Does mechanical stress cause microplastic release from plastic water bottles? Water Research, 166, 115082.

Wong, N., Chai, C., Bamgbade, J., Ma, G., & Hii, G. (2021). Detection of microplastics in bottled water. Materials Science Forum, 1030, 169–176.

Zhou, X., Wang, J., Li, H., Zhang, H., Hua-Jiang, N., & Zhang, D. L. (2021). Microplastic pollution of bottled water in China. Journal of Water Process Engineering, 40, 101884.



Long Island, New York, USA, November 2019, Photographer: Brian Yurasits



China, January 2025, Photographer: Kenny Zhang

Methods for Identifying Microplastics in Mineral Water Bottles

Hosna Abbasi Geravand

1- Bachelor student of Environmental Science and Engineering, Department of Natural Environment, Faculty of Natural Resources, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

*Corresponding Author's E-mail: hosnaabbasi@ut.ac.ir

Abstract

Microplastics, tiny plastic particles less than 5 millimeters in size, have increasingly attracted attention as environmental and health-related pollutants. Given the exponential rise in production of plastics since the mid-20th century, concerns regarding their environmental and health impacts have grown significantly. Bottled Mineral Water, as one of the commonly consumed products, due to their widespread use and constant contact with plastic, can be a significant source of microplastics. Studies indicate that microplastics in bottled water may be introduced the water during production, packaging, and storage processes. These particles, varying in size, can easily enter the human digestive system and potentially pose risks to human health. Recent investigations on bottled water samples from various global brands have shown that a significant percentage of them are contaminated with microplastics. In this study, various analytical techniques were used to identify and quantify microplastics, including Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) and electron microscopy. The results indicate that the level of microplastic pollution in mineral water bottles varies considerably, highlighting the urgent need for attention and action to reduce its negative effects on public health.

Keywords: Microplastic, Mineral Water Bottles, Polymer, Water Purification