پژوهش و فناوری محیط زیست، ۱۴۰۱ ۷(۱۱)، ۱۳-۲۶

پژوهش و فناوری محیط زیست

وبگاه نشریه: www.journal.eri.acecr.ir

پژوهشکده محیط زیست

شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۳۰۶۰

بررسی میکروپلاستیک‌ها به عنوان آلاینده نوظهور در منابع و اثرات بهداشتی برروی انسان، مطالعه مروری

محمدباقر خراسانی[*1]، مرجان سالاری درگی[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه عمران محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، کرمان.

۲- استادیار گروه عمران محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، کرمان.

چکیده

در سال‌های اخیر، آلودگی محیط زیست با پلاستیک‌ها به یکی از بزرگترین نگرانی‌های جوامع مختلف تبدیل شده است. میکروپلاستیک‌ها به مواد پلاستیکی با اندازه کمتراز ۵ میلی‌متر گفته می‌شود. میکروپلاستیک برای هزاران سال بدون اینکه تجزیه شوند در محیط زیست باقی می‌مانند. با این‌حال، روش‌های تحلیلی دقیق برای تشخیص و توصیف پلاستیک‌های ریز (میکروپلاستیک‌ها) کمیاب هستند. در این پژوهش توصیفی- مروری براساس مطالعات محققین مختلف و مقالات سال‌های اخیر به معرفی این آلاینده و به برخی اثرات آن در محیط‌های مختلف و اثرات سوء این آلاینده بر روی سلامتی انسان پرداخته شده است. نتایج مطالعات نشان داده است که آلودگی میکروپلاستیک نمک به‌طور قابل توجهی بین چهار منبع متفاوت، نمک دریا ۱۶۷۴-۰، نمک دریاچه ۸-۴۶۲ و سنگ نمک چاه ۲۰۴-۰ میکروپلاستیک بر کیلوگرم گزارش شده است. تعداد میکروپلاستیک‌ها در آب تصفیه نشده ۳۴± ۱۴۳۷ تا ۴۹۷± ۳۶۰۵ ذره در هر لیتر است و به‌طور کلی مقدار میکروپلاستیک‌ها در شرایط تصفیه آب حدود ۸۳٪ به‌طور میانگین کمتر از آب تصفیه نشده است. طول و قطر باید در هنگام گزارش در مورد حضور میکروپلاستیک لحاظ شوند، زیرا قطر برای تنفس بسیار مهم است، در حالی که طول نقش مهمی در ماندگاری و سمیت دارد. اگرچه اثرات سوء بهداشتی توسط میکروپلاستیک‌ها به‌طور کامل آشکار نشده، اما انتقال مواد شیمیایی از میکروپلاستیک‌ها به موجودات زنده یک نگرانی قابل ملاحظه است و درک بهتر خطرات بالقوه میکروپلاستیک‌ها برای سلامت انسان ضروری است.

کلید واژه‌ها: میکروپلاستیک، منابع محبطی، اثرات بهداشتی، محیط زیست.

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.salari@sirjantech.ac.ir

Journal of Environmental Research and Technology, 7(11)2022. 13-26

Journal of Environmental Research and Technology

journal homepage: www.journal.eri.acecr.ir

Environmental Research institute

Online ISSN: 3060-2676

Investigation of microplastics as emerging contaminants in sources and health effects on humans, review study

Mohammad Bagher Khorasani[1*], Marjan Salari Dargi[2]

1. M.Sc. Student, Department of Environmental Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Kerman.
2. Assistant Professor, Department of Environmental Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Kerman.

Abstract

In recent years, environmental contamination with plastics has become one of the biggest concerns of various communities. Microplastics (MPs) are plastics less than 5 mm in size. MPs remain in the environment for thousands of years without decomposing. However, accurate analytical methods for the detection and characterization of MPs are scarce. In this descriptive-review study, based on the studies of various researchers and the papers of recent years, this contamination has been introduced and its adverse effects on human health and different environments have been discussed. The results of the studies have shown that microplastic contamination of salt has been reported significantly between four different sources: sea salt 0-1674, lake salt 8-468 and well rock salt 0-204 microplastic per kg (MPs/kg). The number of MPs in untreated water is 1437±34 to 3605±497 particles per liter and in general, the amount of microplastics in treated water is about 83% less than untreated water generally. The length and diameter should be considered when reporting the presence of MPs because the diameter is significant for respiration, while length plays a vital in durability and toxicity. Although the adverse health effects of microplastics have not been fully revealed, but the transfer of chemicals from microplastics to living organisms is a significant concern, and a better understanding of the potential dangers of microplastics is essential to human health.

Keywords: Microplastics (MPs), Environmental resources, Health effects, Environment

* Corresponding author E-mail address: m.salari@sirjantech.ac.ir

مقدمه

در سال‌های اخیر، آلودگی محیط زیست با پلاستیک‌ها به یکی از بزرگترین نگرانی‌های جوامع مختلف تبدیل شده است. میکروپلاستیک‌ها به مواد پلاستیکی با اندازه کمتر از ۵ میلی‌متر گفته می‌شود. میکروپلاستیک‌ها از راه‌های مختلفی از جمله دورریزی ضایعات پلاستیکی به وجود می‌آیند و برای هزاران سال بدون اینکه تجزیه شوند در محیط زیست باقی می‌مانند. از بزرگترین منابعی که در معرض خطر آلودگی با میکروپلاستیک‌ها قرار دارند، منابع آبی و دریایی هستند. مسئله آلودگی منابع آبی در سال‌های اخیر توجه بسیاری از محققین و پژوهشگران و فعالان محیط زیست را به خود جلب کرده است (Hidayaturrahman et al., 2019; Thompson, 2015).

نتایج اخیر پیش‌بینی کرده است که زباله‌های پلاستیکی در جهان از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۶۰ سه برابر شده و به ۲۷۰ میلیون تن خواهند رسید (Lebreton and Andrady, 2019). پسماندهای پلاستیکی بدون شک آلودگی محیط زیست را تشدید کرده‌اند (Rochman et al., 2013; Wilcox et al., 2019). پس از ورود به محیط، مواد زائد پلاستیکی به طور مداوم به قطعات و ذرات کوچک تجزیه می‌شوند (Chen et al., 2018). دانش فعلی در مورد رفتار محیطی و اثرات اکولوژیکی قطعات و ذرات پلاستیکی کوچک محدود می‌باشد، که مسئله آلودگی پلاستیک را پیچیده‌تر می‌کند. به عنوان مثال، از بین بردن پلاستیک‌های اندازه میکرو و نانو از محیط چالش بیشتری نسبت به بقایای پلاستیکی بزرگتر دارد.

اخیراً، تهدیدات احتمالی میکروپلاستیک برای سلامتی انسان توجه گسترده‌ای را به خود جلب کرده است و به دلیل حضور گسترده میکروپلاستیک در مواد غذایی مورد استفاده انسان از قبیل عسل (Liebezeit and Liebezeit., 2013)، شیر (Kutralam-Muniasamy et al., 2020)، مشروب (Kosuth et al., 2018)، غذاهای دریایی (Santillo et al., 2017)، نمک خوراکی (Yang et al., 2015; Peixoto et al., 2015)، آب آشامیدنی (Mason et al., 2018) و هوا (Dris et al., 2015) مورد توجه بسیاری از محققان بوده است. مصرف برخی از محصولات غذایی مانند غذاهای دریایی، عسل و موارد دیگر می‌تواند به حداقل برسد یا از آن اجتناب شود، اما قرار گرفتن در معرض نمک، آب آشامیدنی و هوا آلوده به میکروپلاستیک اجتناب ناپذیر است (Barboza et al., 2018). علیرغم مصرف روزانه کم نمک در مقایسه با سایر مسیرهای مواجهه ارائه شده، در برخی مناطق، آلودگی میکروپلاستیک نمک قابل توجه می‌باشد. میکروپلاستیک موجود در نمک خوراکی و آب آشامیدنی می‌تواند از طریق دستگاه گوارش به بدن انسان وارد شوند، در حالی که میکروپلاستیک در هوا می‌توانند در معرض سیستم‌های گوارشی و تنفسی انسان قرار بگیرند. به طوریکه میکروپلاستیک‌های معلق را می‌توان استنشاق کرد و میکروپلاستیک‌های رسوب کرده می‌توانند از طریق تماس دست با دهان، به ویژه برای کودکان، بلعیده شوند (Dris et al., 2015; Gasperi et al., 2018). ارزیابی خطر میکروپلاستیک برای سلامت انسان باتوجه به اطلاعات محدود در مورد مسیرهای در معرض قرارگیری، سرنوشت‌های بیولوژیکی و اثرات سلامتی همچنان در مراحل ابتدایی خود باقی‌مانده است. این تحقیق با هدف بررسی شناخت مسیرهای در معرض قرارگیری مستقیم انسان با میکروپلاستیک از طریق سه مسیر اصلی: نمک خوراکی، آب آشامیدنی و هوا و همچنین مروری بر اثرات احتمالی بر روی سلامتی با مسیرهای مختلف مواجهه را فراهم می‌کند.

روش تحقیق

این مطالعه مروری با جستجو در پایگاه‌های معتبر ایرانی و بین المللی شامل Science Direct، Elsevier، Spring Link CIVILICA ، Magiran، Google Scholar هستند. در مجموع، نشریات متمرکز بر وقوع میکروپلاستیک در نمک خوراکی، آب آشامیدنی، هوا و همچنین مقالات مربوط به خطرات زیست محیطی، خطر سلامتی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. داده‌های مقاله‌ها، کتاب‌ها و گزارش‌های بررسی شده مربوط به میکروپلاستیک در مورد نمک خوراکی، آب آشامیدنی و هوا که اخیرا منتشر شده جمع‌آوری و جمع‌بندی شد.

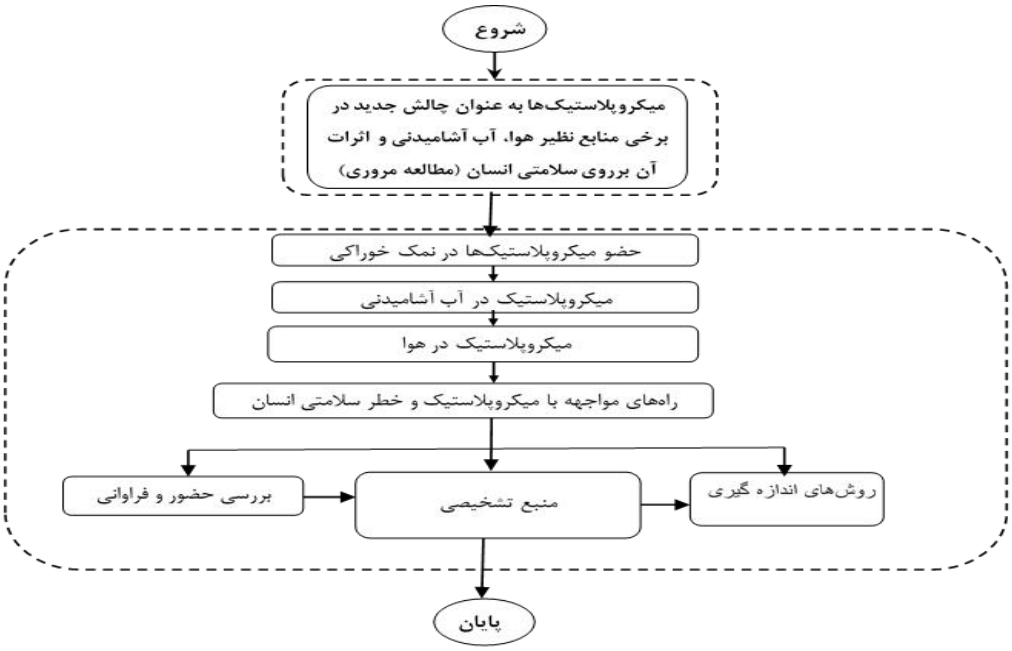
- **منابع میکرو پلاستیک‌ها**

هر ساله انسان حدود ۴۰۰ میلیون تن زباله‌های پلاستیکی خود را به محیط زیست وارد می‌کند. صدها سال طول می‌کشد تا به طور کامل این مواد از بین بروند. هر دو ذرات نانو و میکرو پلاستیک‌ها از بقایای تبدیل پلاستیک‌های بزرگتر به کوچکتر تشکیل می‌شوند. به طور کلی، میکروپلاستیک‌ها به دو دسته‌ی اولیه و ثانویه تقسیم بندی می‌شوند.

اولیه: نوع اولیه ی این مواد را می‌توان در محصولاتی مانند لوازم مراقبت شخصی، گلوله‌های پلاستیکی مورد استفاده در صنعت، الیاف پلاستیکی مورد استفاده در لباس‌ها (مانند نایلون) مشاهده کرد. دسته‌ی اولیه‌ی این مواد به طور مستقیم از طریق راه‌های گوناگونی وارد محیط زیست می‌شود . به عنوان مثال، میکروپلاستیک‌های موجود در محصولات مراقبت شخصی در اثر شست و شو و از طریق کانال‌های

آب و فاضلاب وارد محیط زیست می‌گردد. همچنین با ایجاد خراش و یا سایش در هنگام شست و شوی لباس‌هایی با الیاف مصنوعی منجر به آزاد سازی میکروپلاستیک‌ها می‌گردد (Zhang et al., 2020).

ثانویه: نوع ثانویه‌ی این مواد از تجزیه‌ی پلاستیک‌های بزرگتر به کوچکتر به وجود می‌آیند. این رویداد معمولا زمانی رخ می‌دهد که پلاستیک‌های بزرگتر تحت شرایطی مانند هوا، اشعه ی ماوابنفش خورشید، سایش باد و غیره قرار بگیرند. به طور کلی از جمله عمده ترین منابع تولیدی این مواد می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: بقایای صنعت کشاورزی، پرورش آبزیان، صنعت ماهیگیری و کشتی‌رانی، مدیریت زباله‌ها، پساب‌های شهری و غیره (Zhang et al., 2020). شکل (۱) مراحل انجام تحقیق را بصورت خلاصه نشان می‌دهد.



شکل ۱: فلوچارتی از مراحل انجام تحقیق حاضر (Foley et al., 2018; Zhang et al., 2020)

- **حضور میکروپلاستیک‌ها در نمک خوراکی**

- حضور و فراوانی

میکروپلاستیک به طور گسترده‌ای در نمک خوراکی بیش از ۱۰۰ برند در سراسر جهان شناسایی شده است (جدول ۱) (Seth and Shriwastav, 2018; Renzi et al., 2019; Lee et al., 2019; Tahir et al., 2019). فراوانی میکروپلاستیک در نمک به طور گسترده‌ای متفاوت است. بیشترین فراوانی در کرواسی گزارش شده است ($۱/۴\times۱۰^{۴}$-$۲/۰\times۱۰^{۴}$ ذره در هر کیلوگرم) (Renzi and Blaskovic, 2018)، پس از آن اندونزی ($۱/۴\times۱۰^{۴}$ ذره در هر کیلوگرم) (Kim et al., 2018)، ایتالیا ($۸/۲\times۱۰^{۳}$-$۱/۶\times۱۰^{۳}$ ذره در هر کیلوگرم) (Renzi and Blaskovic, 2018)، و چین ($۶/۸\times۱۰^{۲}$-$۵/۵\times۱۰^{۲}$ ذره در هر کیلوگرم) (Yang et al., 2015) دارای بیشترین میکروپلاستیک در نمک بوده‌اند. جدول (۱) میزان میکروپلاستیک را در نمک در مطالعات مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۱: میزان میکروپلاستیک در نمک

کشور	استخراج	جداساز	اندازه تخلخل(µm)	فراوانی ($item \cdot kg^{-1}$)			اندازه(µm)	مراجع
				نمک دریا	نمک دریاچه	سنگ نمکی		
برزیل	17% H_2O_2	-	2.7	2.0×10^{2}	-	-	100-5000	Kim et al., 2018
بلغاری	17% H_2O_2	-	2.7	12	-	-	100-4000	Kim et al., 2018
چین	UW	-	5	9.8	-	-	1-1500	Lee et al., 2019

فرانسه	Karami et al., 2017	160-980	-	-	0-2	149	NaI	UW
	Kim et al., 2018	-	-	-	0	2.7	-	17% H_2O_2
هند	Seth and Shriwastav, 2018	500-2000	-	-	$(0.6\text{-}1.0)\times10^2$	0.45	-	30% H_2O_2
	Kim et al., 2018	1000-5000	-	-	$(0.3\text{-}3.7)\times10^2$	2.7	-	17%H_2O_2
اندونزی	Kim et al., 2018	-	-	1.4×10^4	2.7	-	-	17% H_2O_2
	Tahir et al., 2019	390-9360	-	-	6.7-53.5	0.45	-	UW
ایران	Karami et al., 2017	160-980	-	1	-	149	NaI	UW
ایتالیا	Renzi and Blaskovic, 2018	4-2100	-	-	$(1.6\text{-}8.2)\times10^3$	0.45	-	UW
	Kim et al., 2018	100-5000	80	-	4-30	2.7	-	17% H_2O_2
	Renzi et al., 2019	10-150	-	-	$(1.7\text{-}3.2)\times10^2$	0.2	-	UW
ژاپن	Karami et al., 2017	-	-	-	0	149	NaI	UW
کره جنوبی	Kim et al., 2018	100-3000	-	-	$(1.0\text{-}2.3)\times10^2$	2.7	-	17% H_2O_2

مطابق جدول (۱)، نمک در مجموعه وسیعی از مواد غذایی گنجانده شده است، و موضوع انتقال میکروپلاستیک به غذاهای مختلف و عامل توزیع را مطرح می‌کند، بنابراین، احتمالاً آن را به یک مسئله مهم ایمنی غذایی تبدیل می‌کند. با توجه به جهانی بودن مصرف مواد غذایی و صادرات نمک در سراسر جهان، این امر نیاز به بررسی دارد. تعیین کمیت و ارزیابی قرار گرفتن در معرض از همه مسیرهای موجود (بلع، استنشاق) و منابع و سپس استفاده از آن به عنوان یک چارچوب ارزیابی خطر برای گرد هم آوردن دانش علمی فعلی از مطالعات حیوانی و مطالعات انسانی ضروری می‌باشد (Danopoulos et al., 2020).

- منبع تشخیصی

نمک‌های خوراکی را می‌توان از دریاها، سنگ‌ها یا دریاچه‌های نمک تهیه کرد. چندین مطالعه نشان داد که فراوانی میکروپلاستیک در نمک دریا بیشتر از نمک سنگی یا نمک دریاچه است (Yang et al., 2015)، که می‌تواند با سطح بالاتر آلودگی میکروپلاستیک در مناطق ساحلی توضیح داده شود. حضور میکروپلاستیک در نمک‌ها نشان می‌دهد که ممکن است میکروپلاستیک در طی فرآیند جمع آوری، حمل و نقل، خشک کردن یا بسته‌بندی وارد نمک شوند (Yang et al., 2015). بنابراین، عموم مردم باید توجه ویژه‌ای به تولید غذا داشته باشند، زیرا سایر غذاهای تجاری نیز ممکن است به همان شکل نمک خوراکی تولید و بسته‌بندی شوند (Hernandez et al., 2019; Zhang et al., 2020).

- میکروپلاستیک در آب آشامیدنی

- حضور و فراوانی

تنها ۱۰ مطالعه به بررسی حضور میکروپلاستیک در آب آشامیدنی پرداخته‌اند (جدول ۲)، که آب خام و تصفیه شده از تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی (Mintenig et al., 2019; Pivokonsky et al., 2018; Uhl, 2018; Wang et al., 2019)، آب لوله کشی (Kosuth and Mason, 2018; Paredes et al., 2019; Strand et al., 2018) و آب بطری (Ossmann et al., 2018; Zhang et al., 2020) از ۲۲ کشور را پوشش می‌دهد.

جدول ۲: میزان میکروپلاستیک در آب آشامیدنی

موقعیت مکان نمونه برداری	اندازه تخلخل (µm)	فراوانی ($item \cdot L^{-1}$)	اندازه(µm)	مراجع
تصفیه خانه آب				
چک	0.2	(آب خام) $(1.5\text{-}3.6)\times10^3$	1-10	Pivokonsky et al., 2018
	0.2	(آب نوشیدنی) $(3.4\text{-}6.3)\times10^2$	1-10	
نروژ	1.2	0	-	Uhl et al., 2018
چین	0.22	(آب خام) 6.7×10^3	1-100	Wang et al., 2019
	0.22	(آب نوشیدنی) 9.3×10^2	1-100	
Tap water				
دانمارک	0.2	0	-	Strand et al., 2018
هند	2.5	6.2 (0-20)	100-5000	Kosuth et al., 2018 Zhang et al., 2020
اندونزی	2.5	3.2 (0-10.8)	100-5000	
لبنان	2.5	6.6 (0-23.3)	100-5000	
اوگاندا	2.5	3.9 (0-12.7)	100-5000	
کوبا	2.5	7.2	100-5000	
اکوادور	2.5	4.0 (0-9.0)	100-5000	
اکوادرو	2.5	-	-	Paredes et al., 2019
Bottled water				
Germany	0.4	2.6×10^3 (PETa bottle)	0-5	Ossmann et al., 2018 Zhang et al., 2020
	0.4	4.9×10^3 (reusable PET bottle)	0-5	
	0.4	6.3×103 (glass bottle)	0-10	
	3	118 (returnable plastic bottle)	5-100	
	3	14 (single-use plastic bottle)	5-100	

داده‌های جدول (۲) نشان می‌دهد که ذرات بزرگتر از ۵۰ میکرومتر با استفاده از تصفیه‌های مرسوم آب آشامیدنی با نرخ حذف در محدوده ۹۰٪ بسته به فناوری‌های تصفیه محلی می‌توانند از آب خام خارج شوند (Pivokonsky et al., 2018). بررسی این مطالعات حاکی از آن است که کمترین فراوانی میکروپلاستیک در آب لوله‌کشی ایتالیا و دانمارک (۰ ذره در هر لیتر) مشاهده شد، درحالی‌که بیشترین فراوانی در ایالات متحده (۹/۲ ذره در هر لیتر) وجود دارد (Yang et al., 2015). فراوانی میکروپلاستیک در آب بطری از ۰ تا $۵/۴\times۱۰^۷$ ذره در هر لیتر متفاوت بود (Mason et al., 2018; Strand et al., 2018; Ossmann et al., 2018; Schymanski et al., 2018). مشابه نمک خوراکی، مقایسه مستقیم فراوانی میکروپلاستیک در نمونه‌های آب آشامیدنی از مطالعات مختلف به دلیل استفاده از فیلترها با اندازه‌های مختلف منافذ و روش‌های مختلف شناسایی دشوار است.

- منبع تشخیصی

ممکن است میکروپلاستیک در آب آشامیدنی از زنجیره تامین آب یا بسته‌بندی‌های محصول مانند درب و دیواره بطری نشات گرفته باشد (Ossmann et al., 2018). به طور غیرمنتظره، مقادیر زیادی میکروپلاستیک نیز در آب بطری‌های شیشه‌ای یافت شده است $۶/۳\times۱۰^۳$ - $۱/۱\times۱۰^۴$ ذره در هر لیتر) و منبع بالقوه آن سایش درب پلاستیکی بطری در برابر بدنه بطری شیشه‌ای است (Uhl, 2018). بنابراین،

محققان فرآیند بسته‌بندی را به عنوان منبع مهم میکروپلاستیک برای آب بطری در نظر می‌گیرند. جدول (۳) میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در آب شرب را نشان می‌دهد.

جدول ۳: میکروپلاستیک‌های شناسایی شده در آب شرب

نوع آب	نوع پلیمر	ذره در لیتر نمونه	منبع مطالعه
منبع آب زیرزمینی	انواع PET, PP, PE, PUR	۲۰	Kishipour et al., (2020)
آب بطری شده	PET در بطری‌های پلاستیکی وPE و استایرن در بطری شیشه‌ای	> ۱۰۰	
بطری شیشه ای	PET در بطری‌های پلاستیکی وPE و استایرن در بطری شیشه‌ای		
PET بطری	PET در بطری‌های پلاستیکی وPE و استایرن در بطری شیشه‌ای	۳۰۷۴-۶۲۹۲	
PET بطری بازیافتی	PET در بطری‌های پلاستیکی وPE و استایرن در بطری شیشه‌ای		

محدوده دقیقی برای کوچکترین ابعاد میکروپلاستیک تاکنون گزارش نشده است اما با توجه به مطالعات انجام شده ذرات کمتر از ۱ میلی متر عموما به عنوان نانوپلاستیک‌ها شناخته شده است (Koelmans et al., 2019).

- روش‌های اندازه گیری

علاوه بر اندازه منافذ غشای فیلتر، تفاوت در روش‌های شناسایی، یکی دیگر از عوامل مهم موثر بر دامنه اندازه و فراوانی میکروپلاستیک شناسایی شده است. به عنوان مثال، میکروپلاستیک در آب لوله‌کشی اغلب توسط μ-FTIR با اندازه بزرگتر از ۲۰ میکرومتر گرفته شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت، درحالی‌که میکروپلاستیک در آب بطری به طور معمول توسطμ-Raman یا سایر فن‌آوری‌ها (به عنوان مثال ، رنگرزی و SEM-EDX) قابل تشخیص است. میکروپلاستیک کوچکتر از۱۰ میکرومتر قابل تشخیص است. بنابراین نتایج میکروپلاستیک در آب آشامیدنی را می‌توان بر اساس روش‌های شناسایی، به عنوان مثال، روش μ-FTIR وμ-Raman یا سایر فناوری‌ها به دو گروه طبقه‌بندی کرد.

میکروسکوپ الکترونی روبشی[3] (SEM) نیز ابزار رایجی است که در شناسایی میکروپلاستیک‌ها استفاده می‌شود. یک پرتو الکترونی با شدت بالا تولید می‌شود و سطح نمونه را اسکن می‌کند. تصاویر با وضوح بالا (رزولوشن کمتر از ۰.۵ نانومتر) از جزئیات سطح به دلیل برهمکنش بین پرتو الکترونی و نمونه اطلاعات بدست می‌آید. به عنوان مثال، گودال‌ها و شیارهای روی سطح میکروپلاستیک‌های موجود در هوا ممکن است به برخورد و اصطکاک ناشی ازدینامیک اتمسفر، و شکستگی‌ها ممکن است در اثر عمل باد ایجاد شوند. علاوه بر این، ترکیب SEM و طیف‌سنجی پرتو ایکس پراکنده انرژی (SEM-EDS) می‌تواند اطلاعاتی در مورد ترکیب عنصری ذرات ارائه دهد به عنوان مثال، ترکیب عنصری میکروپلاستیک‌ها از گرد و غبار معلق از طریق SEM-EDS تعیین می‌شود (Chen et al., 2020).

طیف سنجی رامان (μ-Raman) یک تکنیک رایج برای تشخیص میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های مختلف است. پس از اینکه لیزری با طول موج تک به نمونه هدف هدایت شد، انواع مختلفی از تحریک تولید و به دلیل بازتاب تشخیص داده می‌شود، تغییر فرکانس مربوط به ساختار مولکولی و اجزای شیمیایی نمونه‌ها است که می‌تواند برای شناسایی پلیمرهای میکروپلاستیک استفاده شود. مشابه با تکنیک‌های FTIR، طیف سنجی رامان تنها به مقادیر کمی میکروپلاستیک از محیط‌های مختلف نیاز دارد و نتایج بسیار قابل اعتمادی را تولید می‌کند. علاوه بر این، فناوری‌های بهینه طیف سنجی رامان را می‌توان برای شناسایی میکروپلاستیک‌ها به کار برد. میکرو رامان (ترکیبی از

[3] Scanning electron microscopy (SEM)

تجهیزات تصویربرداری طیفی رامان و میکروسکوپ) می‌تواند میکروپلاستیک‌های کوچک‌تر را تا ۱ میکرومتر شناسایی کند و این وضوح با روش‌های دیگر قابل دستیابی نیست. قبل از استفاده از طیف سنجی میکرو رامان، نمونه‌ها باید در معرض حذف مواد آلی قرار گیرند تا از فلورسانس پس زمینه بالا جلوگیری شود (Chen et al., 2020).

روش‌های کیفی تفسیر ارتعاشی مولکولی (μ-FTIR, μ-Raman)

مقایسه طیف ساده‌ترین روش تفسیر طیف‌های ارتعاشی است. در صورتی که طیف نمونه از نظر موقعیت‌های نواری و شدت‌ها در کل محدوده شماره موج با طیف مرجع منطبق باشد، آن نمونه را می‌توان شناسایی کرد. در مقایسه طیف‌ها، هیچ نیازی به تعیین نوارهای ارتعاشی وجود ندارد. مقایسه نمونه و طیف‌های مرجع باید شرایط زیر را تأمین کند، در غیر این صورت طیف‌ها قابل مقایسه نیستند. برای انجام فرآیند آنالیز با دستگاه تبدیل فوریه یا دستگاه FTIR نمونه پس از آماده سازی با حساسیت و سرعت بالایی توسط دستگاه طیف سنج مادون قرمز FTIR مورد آنالیز قرار می‌گیرد و طیف جذبی آن بدست می‌آید. سپس نتایج حاصل از آنالیز دستگاه FTIR به طور دقیقی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

مطابق شکل (۲)، ذکر این نکته حیاتی است که گزارش شده فراوانی میکروپلاستیک بالاتر در آب بطری نسبت به آب لوله‌کشی به دلیل استفاده از روش شناسایی با حد تشخیص اندازه کمتر است. به عبارت دیگر، فراوانی میکروپلاستیک گزارش شده در آب لوله کشی یا نوع دیگری از نمونه‌هایی که فقط از μ-FTIR استفاده شده است، به دلیل عدم توانایی ابزاری در تشخیص میکروپلاستیک‌های کوچکتر از ۱۰ میکرومتر، می‌تواند دست کم گرفته شود.

- میکروپلاستیک در هوا

- حضور و فراوانی

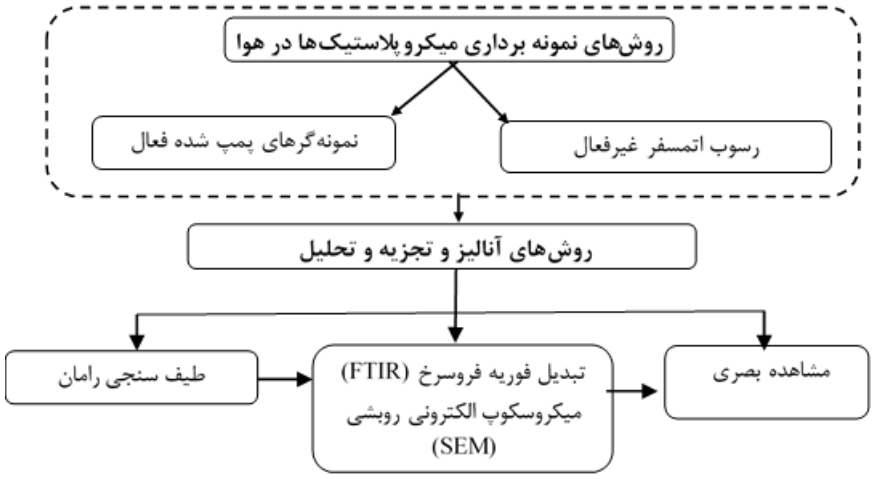
حضور میکروپلاستیک در هوا از سال ۲۰۱۵ توجه بیشتری را به خود جلب کرده است. سه روش نمونه‌گیری مختلف برای جمع‌آوری میکروپلاستیک جو استفاده شده است، که عبارتند از ته‌نشینی خشک و مرطوب (Cai et al., 2017; Dris et al., 2016; Klein et al., 2015; Zhou et al., 2017; Wright et al., 2020)، نمونه‌برداری از جو (Dris et al., 2017; Abbasi et al., 2019; Vianello et al., 2019; Liu et al., 2019; Liu et al., 2019; Asrin and Dipareza, 2019; Wang et al., 2019) و جمع‌آوری گرد و غبار (Liu et al., 2019; Zhang et al., 2020; Ambrosini et al., 2019; Yukioka et al., 2020; Kaya et al., 2018)، به طوری‌که مقایسه مستقیم مطالعات انجام شده با استفاده از رویکردهای مختلف نمونه‌برداری را غیرممکن می‌سازد.

- منبع تشخیصی

منسوجات مصنوعی (به عنوان مثال، الیاف پلاستیکی یا قطعات حاصل از لباس)، فرسایش لاستیک تایرها و گرد و غبار جاده به عنوان عمده ترین منابع اولیه میکروپلاستیک جوی در نظر گرفته می‌شوند که می‌توانند توسط وزش باد به سایر بخش‌های محیطی منتقل شوند (Allen et al., 2019). سایر منابع میکروپلاستیک در هوا ممکن است محصولات مبلمان خانگی، مصالح ساختمانی، سوزاندن زباله، محل دفن زباله، تخلیه صنعتی و ذرات معلق منتشر شده از وسایل نقلیه است (Dris et al., 2015; Dris et al., 2016; Dris et al., 2017). علاوه بر این، زمینه‌های زراعی و باغبانی از طریق ذرات مصنوعی مورد استفاده در خاک و همچنین لجن فاضلاب که به عنوان کود استفاده می‌شود، میکروپلاستیک را به هوا آزاد می‌کند (Liebezeit and Liebezeit, 2015).

- روش‌های تحلیلی

روش‌های مختلف نمونه‌گیری را می‌توان بر اساس هدف خاص انتخاب کرد (شکل ۲). به عنوان مثال، دستگاه‌های جمع آوری رسوب مرطوب و خشک، ساده و مناسب برای نظارت بر کل ذرات میکروپلاستیک و جمع‌آوری گرد و غبار و نمونه برداری هوا است.



شکل ۲. روش‌های نمونه برداری و تجزیه و تحلیل میکروپلاستیک‌ها در هوا (Chen et al., 2020)

یکی از روش‌های فیزیکی امحاء میکروپلاستیک‌ها زباله سوزها است. اگرچه ترکیباتی مثل PCBsها به خودی خود نمی‌سوزند ولی تحت شرایط خاص و دقیق می‌سوزند. به عنوان نمونه مقررات فعلی برای چنین ترکیباتی سوزاندن در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد برای حداقل زمان ۲ ثانیه در حضور اکسیژن لازم و سوخت نفتی است. زیرا در صورت عدم اکسیژن، سبب ایجاد گازهای دیوکسین، PCDFs، PCDDs و یا امحاء ناقص چنین ترکیباتی می‌شود. هزینه ساخت، نگهداری و تامین سوخت این نوع کوره‌ها گران قیمت و هزینه‌بر است و برای تجهیزات آلودگی به ترکیبات PCB و مایعات آلوده مناسب است و برای خاک آلوده مناسب نمی‌باشد (Alighardashi etal., 2019).

- راه‌های مواجهه با میکروپلاستیک و خطر سلامتی انسان

- انتقال و تجمع در بدن انسان

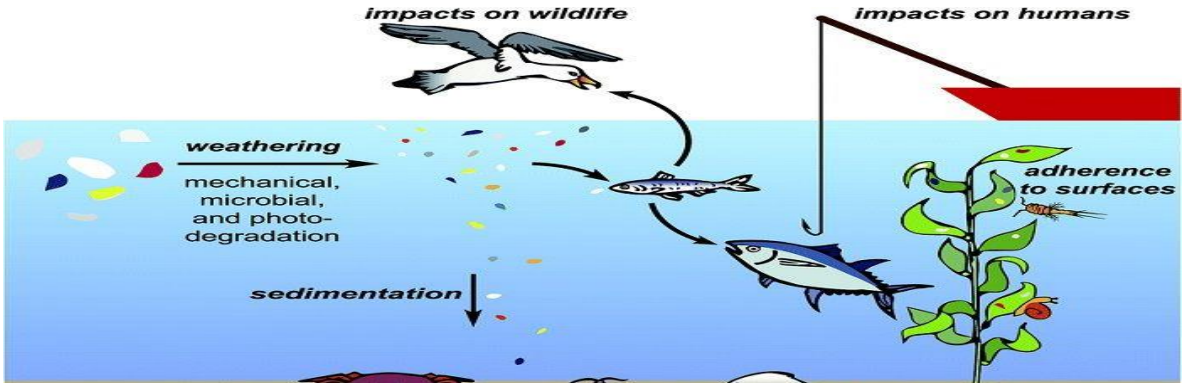
با مصرف یا استنشاق، میکروپلاستیک قادر به جابجایی و تجمع در اندام‌ها و بافت‌های مختلف می‌باشند. مشخص شده است که میکروپلاستیک‌ها در دستگاه گوارش داخل شده و قسمت جذب نشده آن با مدفوع انسان دفع می‌شود (Schwabl et al., 2019). برخی از میکروپلاستیک ممکن است وارد دستگاه تنفسی شوند. عمق نشست (ته‌نشینی) به قطر معادل آیرودینامیکی آنها بستگی دارد که برای اندازه‌گیری سرعت ته نشینی ذرات با چگالی و شکل‌های مختلف استفاده می‌شود (Prata, 2018). ذرات با قطر معادل آیرودینامیکی کوچکتر احتمالاً به اندام‌های هوایی (راه‌های هوایی) تحتانی می‌رسند. همچنین الیاف پلاستیکی در بافت ریه شناسایی شده‌اند و این نتیجه تأیید می‌کند که الیاف می‌توانند به عمق ریه نفوذ کنند (Pauly et al., 1998). علاوه بر این، سایر ذرات پلاستیکی در اندازه نانو از طریق سد خونی-مغزی[4]، جفت و حتی غشاهایی سلول[5] نفوذ می‌کنند (Schirinzi et al., 2017). با این حال، هیچ مدرکی مستقیما توزیع و تجمع میکروپلاستیک در اندام‌های انسانی را نشان نمی‌دهد. تنها آزمایش مبتنی بر مدل موش[6] نشان داده است که میکروپلاستیک می‌توانند در کبد، کلیه و روده جمع شوند (Deng et al., 2017). این مواد در بسیاری از منابع غذایی یافت می‌شوند اما بیشترین غلظت وجود این مواد به نظر می‌رسد در ماهی‌ها و یا صدف حلزونی باشد. با اینکه هنوز تاثیرات این مواد بر سلامتی انسان به طور واضح مشخص نیست لازم است غذاهایی که مصرف می‌گردد از کیفیت بالا و از منابع شناخته شده‌ای تامین شوند.

- خطر سلامتی انسان

نتایج احتمالی محققین نشان داده است که میکرو و نانو پلاستیک‌ها در بخشی‌های از بدن بویژه ماهیچه و مغز نفوذ پیدا کنند. میکروپلاستیک‌هایی با اندازه بزرگتر از ۱۵۰ میکرومتر از طریق روده جذب نمی‌شوند. اما مطالعات نشان داده است که ذرات کوچکتر از این اندازه می‌تواند از طریق روده به درون لنف و گردش خون وارد شوند. بنابراین، احتمال جذب ذراتی با این ابعاد محدود و از ۳٪ کمتر است. همچنین، احتمال جذب میکروپلاستیک‌هایی با اندازه ۲۰ میکرومتر یا حتی کوچکتر در برخی اندام‌ها مشاهده گردیده است. با این حال،

[4] . Blood-brain barrier
[5] .Cell membranes
[6]. Mouse-model-based

ذرات کوچکتر تحت عنوان نانوپلاستیک‌ها با اندازه‌های کمتر از ۰.۱ این امکان را دارند که در همه اندام‌ها و حتی عبور از سدخونی-مغزی را نیز دارند (Foley et al., 2018, Wright and Kelly, 2017). پس این امکان وجود دارد که ذرات میکرو و نانو سیستم ایمنی بدن را مختل و باعث ایجاد عوارضی از جمله اختلال در سیستم ایمنی، فعالسازی و ایجاد پاسخ‌های التهابی غیرطبیعی گردند. همچنین با توجه به اینکه بقایای پلاستیکی در محیط به سختی تجزیه و احتیاج به زمان دارند و در بدن موجودات آبزی تجمع یافته و احتمالا اثرات سمیت آن در درازمدت مشاهده می‌شود. حضور این ذرات در غذاهایی دریایی فروخته شده برای مصرف انسان و در بدن آبزیان بویژه ماهی و صدف مشاهده شده است که می‌تواند اثرات بالقوه مضرری را بر روی سلامتی انسان ایجاد کنند (Rist et al., 2018). بنابراین به دلیل پیامدهای زیست محیطی این دسته از آلاینده‌ها مصرف پلاستیک‌ها باید با رعایت مقررات و حداقل باشد. هر دو طول و قطر باید در هنگام گزارش در مورد حضور میکروپلاستیک لحاظ شوند زیرا قطر برای تنفس بسیار مهم است، در حالی که طول نقش مهمی در ماندگاری و سمیت دارد (Gasperi et al., 2018). شکل (۳) مسیر اثرگذاری میکروپلاستیک از طریق زنجیره غذایی بر روی انسان را نشان می‌دهد.



شکل ۳. مسیر اثرگذاری میکروپلاستیک از طریق زنجیره غذایی بر روی انسان

فتالات‌ها یکی از مواد اساسی موجود در تولید پلاستیک‌های انعطاف پذیر هستند این ماده می‌تواند موجب رشد سلول‌های سرطانی شود. با وجود این، این مطالعات تنها در قالب آزمایشگاهی ثابت شده است و مستقیما نمی‌توان ارتباط آن را با سلول‌های انسانی تایید کرد. آزمایشات بر روی موش‌ها نیز ثابت کرده است که این مواد می توانند در کبد، کلیه و روده‌ها انباشته شوند و سطح مولکول‌های استرس اکسیداتیو در کبد را بیشتر نمایند. همچنین، افزایش بیش از حد این ماده در این موجودات آسیب‌های مغزی جدی‌ای را در پی‌دارد. این طور به نظر می‌رسد که این ترکیب از درون روده و با کمک خون می‌تواند به سایر ارگان‌های دیگر نیز منتقل شود. بیس فنول نوع آ نیز یکی دیگر از موادی است که در سال‌های اخیر مورد توجه‌ی فراوان قرار گرفته است. این ماده که یکی از مواد تشکیل دهنده‌ی پلاستیک‌ها است می‌تواند سبب ایجاد سرطان خون شود. بیس فنل آ در اغلب بسته بندی‌های پلاستیکی یا ظروف ذخیره‌سازی مواد غذایی یافت می‌شود. اما می‌تواند مواد غذایی را نیز به خود آلوده سازد. ترکیبات فوق می‌توانند سبب جذب و آزاد سازی مواد خطرناک شیمیایی شوند. اجزای پلاستیک‌ها و یا مواد شیمیایی جذب شده توسط آن‌ها می‌تواند در طول سال‌ها تشکیل شود و در محیط باقی بماند. با وارد شدن این مواد به تغذیه‌ی آبزیان نگرانی‌ها برای ورود این میکروپلاستیک‌ها به غذای انسان در اثر مصرف غذاهای دریایی وجود دارد. با این وجود تحقیقات کمی بر روی اثرات این ماده بر روی سلامتی انسان وجود دارد (Zhang et al., 2020; Masura et al., 2015).

- نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، آلودگی محیط زیست با پلاستیک‌ها به یکی از بزرگترین نگرانی‌های جوامع مختلف تبدیل شده است. از جمله ترکیبات پلاستیکی که ممکن است در منابع آبی یافت شوند پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌ونیل کلراید(PVC) ، پلی یورتان(PUR) ، پلی آمید، استئارات روی، پلی استایرن (PS) و لاستیک بوتادی ان استایرن هستند. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که میکروپلاستیک‌ها حتی در ارگانیسم‌های عمق دریا هم وجود دارد که حاکی از این است که این مواد گونه‌های دور دست‌تر را نیز تحت تاثیر قرار داده‌اند. ترکیبات فوق از فیلتراسیون‌های آب به راحتی عبور می‌کنند و وارد محیط زیست می‌شوند در نتیجه تهدید بالقوه‌ای برای زندگی آبزیان به شمار می‌روند. در سال‌های اخیر تحقیقات وسیعی برای جداسازی و حذف اثرات مخرب این مواد انجام پذیرفته است و راه‌هایی از جمله رسوب‌دهی شن‌ها و آب‌های سطحی حاوی میکروپلاستیک برای جداسازی این مواد توسعه و مورد آزمایش قرار گرفته است. تعداد

میکروپلاستیک‌ها در آب تصفیه نشده ۳۴± ۱۴۳۷ تا ۴۹۷± ۳۶۰۵ ذره در هر لیتر می‌باشد و بطور کلی مقدار میکروپلاستیک‌ها در شرایط تصفیه آب حدود ۸۳٪ بطور میانگین کمتر از آب تصفیه نشده می‌باشد (Gasperi et al., 2018). آلودگی میکروپلاستیک نمک به طور قابل توجهی بین چهار منبع متفاوت بود، نمک دریا ۱۶۷۴-۰ میکروپلاستیک بر کیلوگرم، نمک دریاچه ۸-۴۶۲ میکروپلاستیک بر کیلوگرم ، سنگ و نمک چاه ۲۰۴-۰ میکروپلاستیک بر کیلوگرم گزارش گردیده است. قرار گرفتن در معرض بالقوه انسانی مربوطه ۰-۶۱۱۰ میکروپلاستیک در سال تخمین زده می‌شود که نمک را به عنوان حامل میکروپلاستیک تایید می‌کند (Danopoulos et al., 2020). یکی از استراتژی‌های موجود برای به حداقل رساندن آلودگی‌های ناشی از این مواد استفاده از میکروارگانیسم‌هایی است که می‌توانند پلیمرهای میکروپلاستیک‌های مصنوعی را تجزیه کنند. بسیاری از قارچها و باکتری‌ها قادر به تجزیه‌ی بیولوژیکی و از بین بردن مواد شیمیایی مانند پلی استایرن، پلی استر پلی اورتان و پلی اتیلن هستند. چنین میکروارگانیسم‌هایی می‌توانند به آب‌های فاضلاب و سایر منابع آلوده‌ی موجود اضافه گردند تا آلودگی‌های به حداقل برسد.. تاکنون سوالات بسیار مهمی درباره میکروپلاستیک‌ها بی‌پاسخ مانده‌اند. مسیرهای دقیق مصرف سلولی میکروپلاستیک، تجمع بافتی میکروپلاستیک و عوارض جانبی احتمالی پس از تماس طولانی مدت میکروپلاستیک در انسان ناشناخته است. سرنوشت و حمل و نقل میکروپلاستیک بعد از ورود به ارگانیسم از طریق جذب و دفع نامشخص است. تغییرات در سطح سلولی یا حتی در سطح مولکولی و مکانیسم‌های خاص مورد مطالعه قرار نگرفته است. محققان همچنین می‌توانند از مطالعات اپیدمیولوژی و شغلی برای سایر ذرات آلاینده زیست محیطی درس بگیرند. علاوه بر این همانطور که پیش از این نیز گفته شد میکروپلاستیک‌ها در بسته‌بندی مواد غذایی نیز وجود دارند و ممکن است به درون غذا نیز سرایت کنند. در نتیجه استفاده‌ی کمتر از ظروف پلاستیکی و بسته بندی‌هایی از این جنس می‌تواند میزان تولید میکروپلاستیک‌ها را کمتر سازد و برای محیط زیست نیز مفید واقع شود.

منابع

Abbasi, S., Keshavarzi, B., Moore, F., Turner, A., Kelly, F. J., Dominguez, A. O., & Jaafarzadeh, N. (2019). Distribution and potential health impacts of microplastics and microrubbers in air and street dusts from Asaluyeh County, Iran. *Environmental pollution*, *244*, 153-164. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.039

Allen, S., Allen, D., Phoenix, V. R., Le Roux, G., Jiménez, P. D., Simonneau, A., ... & Galop, D. (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience*, *12*(5), 339-344. https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5

Alighardashi, A., Mirabi, M., & Haghighat, G. A. (2019). An overview on PCBs in the environment, their health effects, identifying and removal methods. Journal of Jiroft University of Medical Sciences. 6 (1):87-100.

Ambrosini, R., Azzoni, R. S., Pittino, F., Diolaiuti, G., Franzetti, A., & Parolini, M. (2019). First evidence of microplastic contamination in the supraglacial debris of an alpine glacier. *Environmental pollution*, *253*, 297-301. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.005

Asrin, N. R. N., & Dipareza, A. (2019). Microplastics in ambient air (case study: Urip Sumoharjo street and Mayjend Sungkono street of Surabaya City, Indonesia). *IAETSD–J Adv Res Appl Sci*, *6*(1), 54-57.

Barboza, L. G. A., Vethaak, A. D., Lavorante, B. R., Lundebye, A. K., & Guilhermino, L. (2018). Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine pollution bulletin*, *133*, 336-348. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.047

Cai, L., Wang, J., Peng, J., Tan, Z., Zhan, Z., Tan, X., & Chen, Q. (2017). Characteristic of microplastics in the atmospheric fallout from Dongguan city, China: preliminary research and first evidence. *Environmental Science and Pollution Research*, *24*(32), 24928-24935. 10.1007/s11356-017-0116-x

Chen, Q., Reisser, J., Cunsolo, S., Kwadijk, C., Kotterman, M., Proietti, M., ... & Koelmans, A. A. (2018). Pollutants in plastics within the north Pacific subtropical gyre. *Environmental science & technology*, *52*(2), 446-456. https://doi.org/10.1021/acs.est.7b04682

Chen, G., Fu, Z., Yang, H., & Wang, J. (2020). An overview of analytical methods for detecting microplastics in the atmosphere. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 115981.

Deng, Y., Zhang, Y., Lemos, B., & Ren, H. (2017). Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure. *Scientific reports*, *7*(1), 1-10. https://doi.org/10.1038/srep46687

Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., & Tassin, B. (2015). Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. *Environmental Chemistry*, *12*(5), 592-599. https://doi.org/10.1071/EN14167

Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., & Tassin, B. (2016). Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment?. *Marine pollution bulletin*, *104*(1-2), 290-293. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006

Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., & Tassin, B. (2017). A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environmental pollution*, *221*, 453-458. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.013
Danopoulos, E., Jenner, L., Twiddy, M., & Rotchell, J. M. (2020). Microplastic contamination of salt intended for human consumption: a systematic review and meta-analysis. *SN Applied Sciences*, *2*(12), 1-18.
Foley, C. J., Feiner, Z. S., Malinich, T. D., & Höök, T. O. (2018). A meta-analysis of the effects of exposure to microplastics on fish and aquatic invertebrates. Science of the total environment, 631, 550-559.
Gasperi, J., Wright, S. L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., ... & Tassin, B. (2018). Microplastics in air: are we breathing it in?. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, *1*, 1-5. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.10.002
Hernandez, L. M., Xu, E. G., Larsson, H. C., Tahara, R., Maisuria, V. B., & Tufenkji, N. (2019). Plastic teabags release billions of microparticles and nanoparticles into tea. *Environmental science & technology*, *53*(21), 12300-12310. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02540
Hidayaturrahman, H., & Lee, T. G. (2019). A study on characteristics of microplastic in wastewater of South Korea: Identification, quantification, and fate of microplastics during treatment process. Marine pollution bulletin, 146, 696-702.
Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C. K., Larat, V., Galloway, T. S., & Salamatinia, B. (2017). The presence of microplastics in commercial salts from different countries. *Scientific Reports*, *7*(1), 1-11. https://doi.org/10.1038/srep46173
Kaya, A. T., Yurtsever, M., & Bayraktar, S. Ç. (2018). Ubiquitous exposure to microfiber pollution in the air. *The European Physical Journal Plus*, *133*(11), 488. https://doi.org/10.1140/epjp/i2018-12372-7
Kim, J. S., Lee, H. J., Kim, S. K., & Kim, H. J. (2018). Global pattern of microplastics (MPs) in commercial food-grade salts: sea salt as an indicator of seawater MP pollution. *Environmental science & technology*, *52*(21), 12819-12828. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b04180
Kishipour, A., Mostafaloo, R., ARAST, Y., & ASADI GHALHARI, M. (2020). Micro-plastics as a new Challenge in Water Resource Management; Various forms and Removal Methods,(A review study). Environmental Health, 6(1), 34-44.
Klein, M., & Fischer, E. K. (2019). Microplastic abundance in atmospheric deposition within the Metropolitan area of Hamburg, Germany. *Science of the Total Environment*, *685*, 96-103. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.405
Koelmans, A. A., Nor, N. H. M., Hermsen, E., Kooi, M., Mintenig, S. M., & De France, J. (2019). Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water research*, *155*, 410-422. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054
Kosuth, M., Mason, S. A., & Wattenberg, E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PloS one*, *13*(4), e0194970. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970
Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., & Shruti, V. C. (2020). Branded milks–Are they immune from microplastics contamination?. *Science of the Total Environment*, *714*, 136823. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136823
Lebreton, L., & Andrady, A. (2019). Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Communications*, *5*(1), 1-11. https://doi.org/10.1057/s41599-018-0212-7
Lee, H., Kunz, A., Shim, W. J., & Walther, B. A. (2019). Microplastic contamination of table salts from Taiwan, including a global review. *Scientific reports*, *9*(1), 1-9. https://doi.org/10.1038/s41598-019-46417-z
Liebezeit, G., & Liebezeit, E. (2013). Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Additives & Contaminants: Part A*, *30*(12), 2136-2140. https://doi.org/10.1080/19440049.2013.843025
Liebezeit, G., & Liebezeit, E. (2015). Origin of synthetic particles in honeys. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, *65*(2). DOI: 10.1515/pjfns-2015-0025
Liu, C., Li, J., Zhang, Y., Wang, L., Deng, J., Gao, Y., ... & Sun, H. (2019). Widespread distribution of PET and PC microplastics in dust in urban China and their estimated human exposure. *Environment international*, *128*, 116-124. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.04.024
Liu, K., Wang, X., Wei, N., Song, Z., & Li, D. (2019). Accurate quantification and transport estimation of suspended atmospheric microplastics in megacities: Implications for human health. *Environment international*, *132*, 105127. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105127
Liu, K., Wu, T., Wang, X., Song, Z., Zong, C., Wei, N., & Li, D. (2019). Consistent transport of terrestrial microplastics to the ocean through atmosphere. *Environmental science & technology*, *53*(18), 10612-10619. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03427
Mason, S. A., Welch, V. G., & Neratko, J. (2018). Synthetic polymer contamination in bottled water. *Frontiers in chemistry*, *6*, 407. https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00407

Masura, J., Baker, J., Foster, G., & Arthur, C. (2015). Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments.
Mintenig, S. M., Löder, M. G. J., Primpke, S., & Gerdts, G. (2019). Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources. *Science of the total environment*, *648*, 631-635. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.178
Paredes, M., Castillo, T., Viteri, R., Fuentes, G., & Bodero, E. (2019). Microplastics in the drinking water of the Riobamba city, Ecuador. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, *28*(4 [86]). DOI: 10.22630/PNIKS.2019.28.4.59
Peixoto, D., Pinheiro, C., Amorim, J., Oliva-Teles, L., Guilhermino, L., & Vieira, M. N. (2019). Microplastic pollution in commercial salt for human consumption: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *219*, 161-168. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.02.018
Pivokonsky, M., Cermakova, L., Novotna, K., Peer, P., Cajthaml, T., & Janda, V. (2018). Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water. *Science of the total environment*, *643*, 1644-1651. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.102
Prata, J. C. (2018). Airborne microplastics: consequences to human health?. *Environmental pollution*, *234*, 115-126. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.043
Renzi, M., & Blašković, A. (2018). Litter & microplastics features in table salts from marine origin: Italian versus Croatian brands. *Marine pollution bulletin*, *135*, 62-68. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.065
Renzi, M., Grazioli, E., Bertacchini, E., & Blašković, A. (2019). Microparticles in table salt: Levels and chemical composition of the smallest dimensional fraction. *Journal of Marine Science and Engineering*, *7*(9), 310. https://doi.org/10.3390/jmse7090310
Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Hoh, E., Karapanagioti, H. K., ... & Thompson, R. C. (2013). Classify plastic waste as hazardous. *Nature*, *494*(7436), 169-171. https://doi.org/10.1038/494169a
Rist, S., Almroth, B. C., Hartmann, N. B., & Karlsson, T. M. (2018). A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. Science of the Total Environment, 626, 720-726.
Schirinzi, G. F., Pérez-Pomeda, I., Sanchís, J., Rossini, C., Farré, M., & Barceló, D. (2017). Cytotoxic effects of commonly used nanomaterials and microplastics on cerebral and epithelial human cells. *Environmental Research*, *159*, 579-587. https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.043
Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H. U., & 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. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.011
Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Trauner, M., Reiberger, T., & Liebmann, B. (2019). Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series. *Annals of internal medicine*, *171*(7), 453-457. https://doi.org/10.7326/M19-0618
Seth, C. K., & Shriwastav, A. (2018). Contamination of Indian sea salts with microplastics and a potential prevention strategy. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*(30), 30122-30131. https://doi.org/10.1007/s11356-018-3028-5
Strand, J., Feld, L., Murphy, F., Mackevica, A., & Hartmann, N. B. (2018). *Analysis of microplastic particles in Danish drinking water* (p. 34). DCE-Danish Centre for Environment and Energy.
Tahir, A., Taba, P., Samawi, M. F., & Werorilangi, S. (2019). Microplastics in water, sediment and salts from traditional salt producing ponds. *Global Journal of Environmental Science and Management*, *5*(4), 431-440. 10.22034/GJESM.2019.04.03
Thompson, R. C. (2015). Microplastics in the marine environment: sources, consequences and solutions. In Marine anthropogenic litter (pp. 185-200). Springer, Cham.
Uhl, W., Eftekhardadkhah, M., & Svendsen, C. (2018). 'Mapping Microplastic in Norwegian Drinking Water. *Atlantic*, *185*, 491-497.
Vianello, A., Jensen, R. L., Liu, L., & Vollertsen, J. (2019). Simulating human exposure to indoor airborne microplastics using a Breathing Thermal Manikin. *Scientific reports*, *9*(1), 1-11. https://doi.org/10.1038/s41598-019-45054-w
Wang, Z., Lin, T., & Chen, W. (2020). Occurrence and removal of microplastics in an advanced drinking water treatment plant (ADWTP). *Science of the Total Environment*, *700*, 134520. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134520
Wang, X., Li, C., Liu, K., Zhu, L., Song, Z., & Li, D. (2020). Atmospheric microplastic over the South China Sea and East Indian Ocean: abundance, distribution and source. *Journal of hazardous materials*, *389*, 121846. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121846

Wilcox, C., Hardesty, B. D., & Law, K. L. (2019). Abundance of floating plastic particles is increasing in the Western North Atlantic Ocean. *Environmental science & technology*, *54*(2), 790-796. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04812

Wright, S. L., Ulke, J., Font, A., Chan, K. L. A., & Kelly, F. J. (2020). Atmospheric microplastic deposition in an urban environment and an evaluation of transport. *Environment international*, *136*, 105411. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105411

Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017). Plastic and human health: a micro issue?. Environmental science & technology, 51(12), 6634-6647.

Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., & Kolandhasamy, P. (2015). Microplastic pollution in table salts from China. *Environmental science & technology*, *49*(22), 13622-13627. https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03163

Yukioka, S., Tanaka, S., Nabetani, Y., Suzuki, Y., Ushijima, T., Fujii, S., ... & Singh, S. (2020). Occurrence and characteristics of microplastics in surface road dust in Kusatsu (Japan), Da Nang (Vietnam), and Kathmandu (Nepal). *Environmental Pollution*, *256*, 113447. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113447

Zhang, Q., Xu, E. G., Li, J., Chen, Q., Ma, L., Zeng, E. Y., & Shi, H. (2020). A review of microplastics in table salt, drinking water, and air: direct human exposure. *Environmental science & technology*, *54*(7), 3740-3751. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04535

*