

جمله ایجاد اختلالات تنفسی، مشکلات مربوط به دستگاه عصبی، بیماری‌های گوارشی، التهاب در بافت‌های مختلف و حتی منجر به مرگ سلولی می‌شود. با وجود آنکه امروزه پژوهش‌ها در این حوزه در حال پیشرفت است؛ اما مجموعه‌ای از این میکرو و نانوپلاستیک‌ها هنوز مورد مطالعه قرار نگرفته‌اند و یا داده‌های کمی در خصوص اثر آن‌ها در دسترس قرار دارد.

واژگان کلیدی

میکروپلاستیک؛ نانوپلاستیک؛ سلامت انسان؛ دستگاه‌های زیستی

مقدمه

تولید و استفاده روزافزون محصولات پلاستیکی و در نهایت دفع آن‌ها به خصوص در سال‌های بعد از همه‌گیری ویروس کرونا (COVID-19) تبدیل به یک نگرانی عمومی شده‌است. انواع پلیمرهایی که در تهیه ماسک، محصولات آرایشی و بهداشتی، پوشاک و ظروف یکبار مصرف و بسیار موارد دیگر استفاده می‌شوند، در نهایت تجزیه شده و وارد محیط زیست می‌شوند. البته مسئله زمان طولانی تجزیه پذیری این دسته از مواد و سال‌های زیادی که در محیط پیرامون می‌توانند باقی بمانند نباید نادیده گرفته شود (Shumin Huang et al., 2022). میکروپلاستیک‌ها، قطعات پلاستیکی با قطر کمتر از ۵ میلی‌متر بوده و نانوپلاستیک‌ها قطری کمتر از ۰.۰۰۱ میلی‌متر دارند. این ذرات ریز در آب، خاک، هوا، غذا و روی سطوحی که لمس می‌کنیم نیز وجود دارند. تحقیقات جدید نشان می‌دهد که میکروپلاستیک‌ها از راه پوست با لوازم آرایشی بهداشتی، تنفس و یا از طریق روده می‌توانند به بدن انسان منتقل شوند؛ البته این ریزذرات عموماً به تنهایی وارد نمی‌شوند و در بدن با توجه به شرایط موجود می‌توانند ترکیبات جدیدی ساخته و یا موادی از خود ترشح کنند (Vethaak A. Dick, 2021, Ebuka). در طی آزمایشی که سال ۲۰۱۹ انجام شد، نحوه برخورد سلول‌های ایمنی بدن انسان در مواجهه با میکروپلاستیک‌ها بررسی شد. سلول‌های ایمنی بدن ما با تشخیص ترکیبات بیگانه، اعم از میکروپلاستیک‌ها، آن‌ها را فرو برده و سپس به مرگ سلولی دچار می‌شوند. نکته بسیار مهمی که وجود دارد این است که این ذرات قابلیت جابه‌جایی عوامل بیماری‌زا و فلزات سنگین را به همراه خود دارند. پژوهشی در سال ۲۰۲۰ در رودخانه Pearl در کشور چین به وجود فلزات سنگین از جمله آرسنیک، روی، کادمیوم، نیکل، آهن، منگنز و مس در میکروپلاستیک‌ها اشاره می‌کند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که وجود فلزات در میکروپلاستیک‌ها و وجود میکروپلاستیک‌ها در آب می‌تواند به حیات دریایی آسیب

بررسی اثرات میکروپلاستیک‌ها بر روی سلامت انسان؛ مطالعه مروری

هانیه فلاح

دانشجوی کارشناسی ارشد آلودگی‌های محیط‌زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
fallah.hanie@ut.ac.ir

چکیده

در پی وقوع انقلاب صنعتی، پلاستیک‌ها در ابعاد و اشکال متفاوتی به‌منظور افزایش سطح رفاه و امنیت غذایی مردم به تولید انبوه رسیدند. به همین ترتیب با گذشت سال‌ها، گزارش می‌شود که افرادی که در مواجهه با ترکیبات پلاستیکی قرار دارند، بیشتر در معرض بیماری‌هایی می‌باشند که تا به امروز درمان قطعی ندارند. میکروپلاستیک و نانوپلاستیک‌ها ذرات کوچکتر از ۵ میلی‌متر و ۱ میکرومتر هستند که از پلاستیک‌ها آزاد می‌شوند؛ یا برای ساخت دیگر کالاها تولید می‌شوند. در این مطالعه مروری به بررسی مطالعات مختلف در خصوص تاثیر میکرو و نانوپلاستیک‌ها بر روی سلامت انسان پرداخته شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که این ریزذرات از راه‌های تنفس، گوارش و پوست می‌توانند وارد بدن انسان شوند. با پیشرفت علم، مطالعات وسیع‌تری در حوزه اثر میکروپلاستیک‌ها بر روی سلامتی انجام شده‌است؛ طبق دستاوردهای متخصصین علوم بهداشتی، سمیت این ذرات در مطالعات حیوانی کاملاً ثابت شده‌است لذا انسان به علت شباهت فیزیولوژیکی از آسیب‌ها و بیماری‌های مطالعه شده محفوظ نیست. با نتیجه‌گیری از تحقیقات انجام شده در سال‌های اخیر می‌توان بیان نمود که تجمع میکروپلاستیک‌ها در بدن انسان منجر به طیف وسیعی از مشکلات سلامتی از

میکروپلاستیک‌ها به دلایل بسیاری مانند ترکیبات پلیمری خود، واکنش و حمل مواد شیمیایی و فلزات، برای سلامتی مضر بوده و باعث به‌وجود آمدن مشکلاتی قبیل آسیب به دستگاه‌های زیستی انسان مانند دستگاه تولیدمثلی، تنفسی، گوارشی، عصبی، تخریب اندام‌های مختلف از جمله کبد و قلب، ایجاد سرطان و مشکلات پوستی و ... گردد (جدول ۱).

مشکل یا بیماری ایجاد	دستگاه زیستی مورد مواجهه با میکروپلاستیک
واکنش‌های آلرژیک، درماتیت	پوست
بیماری التهابی روده، سرطان روده بزرگ، سندروم روده تحریک‌پذیر، اختلالات چرب غیر الکلی	دستگاه گوارش
سرطان ریه، پنومونیت ناشی از افزایش (OHP)، برونشیت انسدادی، مشکلات تنفس، خس‌خس سینه، آب	دستگاه تنفس
لوسمی، سرطان مثانه، نئوپلاسم	یافت خون
اثرات نوروتوکسیک (سردرد، خستگی، آسفالویتی، زوال عقل، اختلالات پارکینسون، آلزایمر)	یافت عصبی
استئولیز قبل از پر	استئولیز اطراف پروتز استخوان
کاهش باروری، آسیب غده جنسی،	دستگاه تولیدمثل
آسیب به DNA، افزایش فرکانس ترم	سمیت ژنتیکی

جدول ۱: اثرات میکروپلاستیک بر بدن انسان (Suvash C. Saha, Goutam Saha, 2024)

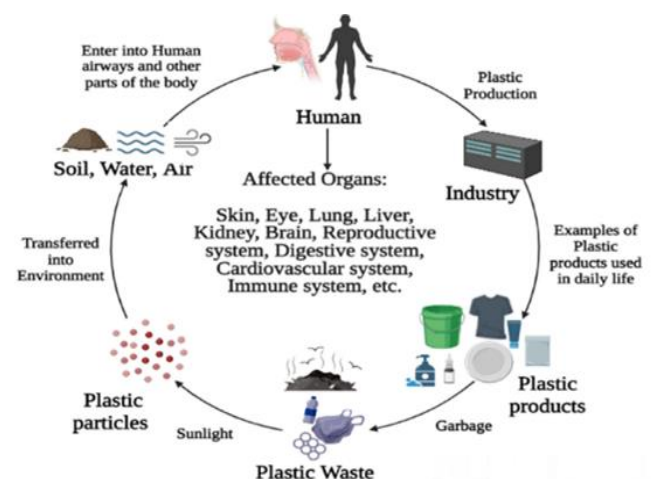
دستگاه تنفس

دسته‌ای از نانوپلاستیک‌ها که عموماً اندازه‌ای کوچکتر از ۱۰۰ میکرومتر دارند، در هوای اطراف ما موجود هستند و در معرض تنفس ما قرار دارند. طی آمار به دست آمده از سازمان محیط‌زیست آمریکا، مردم حدود ۹۰٪ از زمان خود را در فضای بسته می‌گذرانند.

برساند و در ادامه با انتقال از طریق زنجیره غذایی، برای سلامت انسان خطراتی ایجاد کند (Suvash C. Saha, Goutam Saha, 2024). میکروپلاستیک‌ها با ورود به هر محیطی، خود را شبیه به شرایط موجود در محیط کرده و می‌توانند خطر جدی برای سلامتی محسوب شوند. مطالعات اخیر نشان داده‌است که میکروپلاستیک‌ها می‌توانند با ورود به محیط‌زیست و جذب باکتری‌ها بسیار خطرآفرین باشند؛ چراکه در محیط آنتی‌بیوتیک‌های بسیاری موجود هستند ولی بعضی باکتری‌ها ژن مقاومت به این آنتی‌بیوتیک‌ها را داشته و در ادامه مسیر خود می‌توانند این ژن را از طریق انتقال ژنتیک به صورت افقی به دیگر باکتری‌ها منتقل کنند (عمودی از طریق تقسیم سلولی باکتری‌ها و افقی از طریق به اشتراک گذاشتن است). این موضوع امروزه بسیار حائز اهمیت بوده و می‌تواند آسیب‌هایی که در آینده با آن مواجه خواهیم بود را پیش بینی کند (Dandi Hou et al., 2023).

ورود میکروپلاستیک‌ها به بدن انسان و تاثیر آن بر سلامتی

ذرات پلاستیکی با رنگ‌ها و اندازه‌های مختلف، از بزرگتر از ۸۰۰ نانومتر الی ۵ میلی‌متر، در نمونه‌هایی که از انسان استخراج شده اند از جمله شش‌ها، کبد، طحال، روده، جفت جنین، خون، خلط، بزاق، شیر مادر، پوست، ادرار و... شناسایی شده‌اند. مواجهه انسان با میکروپلاستیک می‌تواند از سه طریق سیستم تنفسی، دستگاه گوارش و سطح پوست باشد (شکل ۱).



شکل ۱: چرخه ورود و تاثیر میکروپلاستیک بر بدن انسان (Suvash C. Saha, Goutam Saha, 2024)

وجود عارضه پنومونیت ناشی از حساسیت شغلی (OHP) را در یک فرد ۶۶ ساله که بیش از ۱۰ سال در صنعت تولید پلاستیک پلی اتیلن ترفتالات مشغول به کار بود را نشان داد؛ اعتقاد بر این بود که این فرد با قرار گرفتن در معرض استنشاق ترفتالیک اسید و دی متیل فتالات، یک پیش‌ساز در تولید پلی اتیلن ترفتالات، دچار عارضه شده‌است (Ali Nurshad et al., 2024, Ewa Winiarska et al., 2024).

دستگاه گوارش

شاید بتوان گفت که مهم‌ترین راه مواجه انسان با میکروپلاستیک، دستگاه گوارش است. با دنیای پیشرفته امروزه و تولید الیاف پلاستیکی در مقادیر بالا شاهد وجود این میکرو و نانو ذرات در مواد خوراکی مانند غذاهای دریایی، آب معدنی، عسل خوراکی، نمک خوراکی، شیر خوراکی، نوشیدنی‌های الکلی و بسیاری از موارد دیگر هستیم. وجود میکروپلاستیک‌ها در بسیاری از جانوران نیز تایید شده‌است. انسان به علت قرارگیری در راس هرم غذایی و با تغذیه از بسیاری از گروه‌های زنده گیاهی و جانوری، به مراتب در معرض خطر بزرگتری قرار دارد. تحقیقات جدید ثابت کرده است که میکروپلاستیک‌ها می‌توانند از بسته بندی‌های پلاستیکی به کار رفته در مواد غذایی به خصوص مواردی که می‌توانند در دمای بالا قرار گیرند مانند چای کیسه‌ای و یا وسایل مورد استفاده‌ای که در آن از مایعات گرم نگهداری می‌شود از جمله شیشه شیر نوزادان، فلاسک‌ها و کتری‌های پلاستیکی آزاد شوند. همچنین استفاده از بعضی خوراکی‌ها مانند آدامس می‌تواند درصد ورود این ریزذرات به دستگاه گوارشی را افزایش دهد (Ewa Winiarska et al., 2024, Jiani Sun et al., 2024). با انجام مطالعه مشخص شد که مقدار میکروپلاستیک موجود در افراد مبتلا به سندرم روده تحریک پذیر، نسبت به افراد سالم بیشتر است. مقدار زیادی از این ریزذرات از بدن ما دفع می‌شوند؛ ولی مقدار جزئی که به مرور زمان در بافت‌های ما تجمع پیدا می‌کند باعث بروز سرطان‌های مختلف، آسیب به غدد لنفاوی و سلول‌های خونی، التهاب در بافت‌ها و مرگ تدریجی می‌شود (محمد ولایت زاده، ۱۴۰۱، Vethaak A. Dick, 2021). تحقیقات نشان داده‌اند که ذرات پلاستیکی بر روی تعادل میکروبیوم روده‌ای انسان اثرات منفی داشته است. آزمایشی دیگر نیز نشان داد که قرار گرفتن در معرض ذرات پلی‌اتیلن (۲۱ میلی گرم در ۸ میلی لیتر آب به مدت ۱۴ روز) باعث افزایش میکروب‌های بی‌طرف گروه پاتوبیوت و تبدیل آن‌ها به گروه مضر شد. در عین حال فعالیت متابولیکی میکروب‌های مفیدی مانند کریستنسلاسه را کاهش داد (Ali Nurshad et al., 2024, Ewa Winiarska et al., 2024).

اگر نانوپلاستیکی بتواند از سطوح ابتدایی شش‌ها عبور کرده و خود را به کیسه‌های هوایی که بافتی نازکتر از یک میکرومتر دارند برساند، می‌تواند به کمک سیستم مویرگی گسترده‌ای که اطراف این بافت قرار دارد اثرات التهابی خود را به تمام بدن صادر کنند (Ewa Winiarska et al., 2024). ذرات کوچک (کمتر از ۲.۵ میلی‌متر)، مانند ذرات خروجی از آگزوز خودروهای دیزلی

نشان داده شده	اطلاعات تکمیلی
تیت تماسی	محدود بودن مطالعات انسانی، اغلب پاسخ‌های آلرژیک مشاهده شده است.
رگ، سرطان پانکراس، متابولیسم، بیماری کبد	همبستگی مثبت بین وجود میکروپلاستیک در مدفوع و شدت بیماری التهابی روده، فقدان مطالعات انسانی در مورد اثرات بر جامعه میکروبی روده
پیش حساسیت تغذیه تنفسی (سرفه، تنگی نفس، آوردن ریه	مطالعات عمدتاً در محیط‌های تغذیه صورت گرفته است، برخی از بیماری‌های مرتبط با پلاستیک‌های خاص مانند استایرین و نانو ذرات پلی‌اکریلیک
لنفوهماتوپیتیک	انچمن‌هایی که در محیط‌های تغذیه یا قرار گرفتن در معرض طولانی مدت میکروپلاستیک‌ها
گی، سرگیجه و ... ت عصبی دژنراتیو (مر)	قرار گرفتن در معرض استایرین محیطی، تحقیقات بیشتری برای تساهل قطعی مورد نیاز است.
وتز	مرتبط با وجود ذرات پلی‌اتیلن در پروتزهای لگن
کاهش وزن فرزندان	مطالعات حیوانی این اثرات را نشان می‌دهد. تاثیر بر انسان هنوز مورد مطالعه قرار نگرفته است.
یادل کروماتید خواهر	در کارگرانی که در معرض استایرین هستند مشاهده شده است.

پلاستیک بر سلامت انسان
(Ewa Winiarska et al., 2024)

که می‌توانند همراه میکروپلاستیک‌ها منتقل شده باشند، قادر به عبور از غشای سلولی و تحریک تنش اکسایشی و التهاب هستند؛ و با افزایش خطر مرگ ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی و تنفسی یا سرطان ریه مرتبط هستند (Vethaak A. Dick, 2021, Shumin Huang et al., 2022). آزمایشات انسانی نشان داد، افرادی که آسم داشتند، سابقاً در معرض استنشاق استایرین قرار گرفته بودند. همچنین در سال ۲۰۲۰، یک گزارشی منتشر شد که

پوست

مواجه انسان با میکروپلاستیک از طریق پوست نسبت به دو مورد قبلی نادرتر است. برای عبور از لایه اپیدرم می‌بایستی ذره قطری کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر داشته باشد (مهدی امیرصادقی، ۱۴۰۱). منابع اصلی که پوست را در معرض میکروپلاستیک‌ها قرار می‌دهد لوازم آرایشی بهداشتی و لیاف پلاستیکی که در لباس‌ها و جو اطرافمان موجود هستند می‌باشد (Ali Nurshad et al., 2024, Ewa Winiarska et al., 2024). در اثر برخورد لیاف پلاستیکی و ورودشان به لایه‌های پوستی بروز اثرات التهابی را می‌توان شاهد بود. در مطالعات صورت گرفته، بارزترین اثر میکروپلاستیک بر پوست انسان مربوط به آلرژی‌های پوستی است. "بیسفنول آ" یکی از ترکیبات افزودنی به مواد پلاستیکی است. از سال ۱۹۹۸ به بعد، موارد متعددی از آلرژی تماسی به بیسفنول آ در افرادی که دستکش پلی وینیل کلراید (PVC) می‌پوشیدند گزارش شده‌است. بیسفنول آ یک ماده شیمیایی است که در پوشش داخلی قوطی‌های فلزی کنسرو برای جلوگیری از تماس مستقیم مواد غذایی با فلز و خورده‌شدن قوطی و فساد مواد غذایی و همین‌طور در ساخت ظروف پلاستیکی مانند بطری آب آشامیدنی و شیر نوزادان استفاده می‌شود (محمدباقر خراسانی، مرجان سالاری درگی، ۱۴۰۱، Ewa Winiarska et al., 2024).

بافت خون

اگر میکرو و نانوپلاستیک‌ها وارد جریان خون شوند، اثرات نامطلوبی بر سیستم قلبی عروقی ایجاد می‌کنند. آسیب درون عروقی توسط ذرات پلاستیکی ممکن است به یک سری رویدادهای قلبی عروقی از طریق اختلال در فاکتور رشد، عملکرد، تعامل لایه درون عروقی و پاسخ‌های التهابی منجر شود (Ali Nurshad et al., 2024, Ewa Winiarska et al., 2024, Vethaak A. Dick and Juliette Legler, 2021).

بافت عصبی

داده‌هایی مربوط به قرارگرفتن در معرض استایرن موجب علائم عصبی از جمله سردرد، خستگی، سرگیجه، بی‌حسی، اختلالات بینایی و حالت تهوع وجود دارد. همچنین گزارشی مبتنی بر آنسفالوپاتی و زوال عقل نیز موجود است. اختلالات عصبی پیش‌رونده، مانند ام‌اس و پارکینسون در میان کارگران در صنایع تولید پلاستیک، پتروشیمی، نفت و ذوب آهن دیده می‌شود. البته نیاز است به طور کامل بررسی شود که بخارات صنعتی یا محیط سخت کار و دودهای احتراق ناقص کدام یک نقش اصلی اختلالات را بر عهده داشته‌اند (Ali Nurshad et al., 2024, Ewa Winiarska et al., 2024).

دستگاه تولید مثل

همچنین تحقیقاتی ثابت کرد که نانوپلاستیک‌های پلی‌استایرن (۵۰ نانومتر) می‌توانند از طریق اندوسیتوز وارد سلول‌های بیضه شوند. برای مثال، قرار گرفتن در معرض این میکروذرات (۵۰-۵۰۹ میکرومتر) در موش‌ها باعث آسیب به بیضه و تخمدان، تنش اکسایشی، تغییرات هورمونی و مشکلات تولید مثلی شد. در موش‌های ماده، قرار گرفتن در معرض نانوپلاستیک‌های پلی‌استایرن باعث التهاب تخمدان‌ها و کاهش کیفیت تخمک‌ها شد که نشان‌دهنده سمیت دستگاه تولید مثلی است (Ali Nurshad et al., 2024, Ewa Winiarska et al., 2024).



کبد

اختلال در عملکرد کبد می‌تواند بسیاری از اندام‌های دیگر بدن را تحت تأثیر قرار دهد. میکروپلاستیک‌های پلی‌استایرن خطر کبد چرب و فیبروز کبدی را افزایش می‌دهد. آزمایش بر روی موش‌ها، کاهش وزن کبد، تجمع میکروپلاستیک‌های پلی‌استایرن در بافت کبد و التهاب و افزایش چربی در کبد را نشان می‌دهد (Ali Nurshad et al., 2024, Ewa Winiarska et al., 2024).

قلب

دو آزمایشی که توسط لی و همکاران و Ali Nurshad et al., 2024, Ewa Winiarska et al., 2024).

ژائو ژائو و همکاران بر روی موش‌ها انجام شد، اطلاعات ارزشمندی را در خصوص تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر روی سلامتی نشان می‌دهند. این دو گروه اثر میکروپلاستیک پلی‌استایرن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که این میکروپلاستیک باعث افزایش آسیب قلبی شده و می‌تواند از طریق تنش اکسایشی منجر به فیبروز بافت قلب و آسیب به میوکارد گردد (Zekang Li et al., 2020). همچنین در آزمایشی که گروه ژائو انجام دادند، افزایش وزن، افزایش توده چربی، افزایش سطح گلوکز و انسولین خون ناشتا و مقاومت به انسولین توسط افزایش سطح پلی‌استایرن را مشاهده کردند (Jingjing Zhao et al., 2021).



نتیجه گیری

تحقیقات و کشفیات بسیاری در حوزه میکروپلاستیک موجود است اما به اهمیت ضرر آن در خصوص آسیبی که می‌تواند به محیط‌زیست و در ادامه انسان و جانداران وارد کند پرداخته نشده‌ست؛ ولی در چند سال اخیر بسیار مورد توجه محققان و مردم قرار گرفته‌است. با استفاده روزافزون مواد پلاستیکی در بسیاری از ترکیبات مورد مصرف روزمره مانند بسیاری از موادی که در اطرافمان موجود هستند از جمله لباس، فرش و پرده و دفن غیر اصولی آن‌ها، درصد مواجهه انسان را افزایش می‌دهیم. هرچه اندازه این ذرات کوچکتر باشد احتمال ورود به دستگاه‌های زیستی انسان بالا می‌رود. انواع مختلفی میکروپلاستیک تاکنون توانسته‌اند وارد بدن انسان شوند ولی مهمترین و بیشترین آن‌ها شامل پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌استایرن، پلی‌اورتان (یورتان)، پلی‌وینیل کلراید و پلی‌اتیلن ترفتالات است. مطالعات از وجود میکرو و نانوپلاستیک‌ها در دستگاه‌های گوارش، تنفس، تولید مثل، عصبی، ایمنی، درون ریز، کلیوی، کبد، بافت عضلانی، خون و پوست گزارش می‌دهند. عارضه‌هایی شامل التهاب، تنش اکسایشی، مرگ سلولی، ایجاد سرطان‌های مختلف، اختلال در اعمال حیاتی و تغییرات هورمونی، حاکی از تاثیر این ریز ذرات هستند. با این حال مطالعات گسترده‌تری در این زمینه مورد نیاز است.

منابع

- Porta E, Artini C. MicroRaman spectroscopy detects the presence of microplastics in human urine and kidney tissue. *Environ Int.* 2024 Feb;184:108444. doi: 10.1016/j.envint.2024.108444. Epub 2024 Jan 19. PMID: 38281449.
- Winiarska E, Jutel M, Zemelka-Wiacek M. The potential impact of nano- and microplastics on human health: Understanding human health risks. *Environ Res.* 2024 Jun 15;251(Pt 2):118535. doi: 10.1016/j.envres.2024.118535. Epub 2024 Mar 7. PMID: 38460665.
- Nurshad Ali, Jenny Katsouli, Emma L. Marczylo, Timothy W. Gant, Stephanie Wright, Jorge Bernardino de la Serna, The potential impacts of micro-and-nano plastics on various organ systems in humans, *eBioMedicine*, Volume 99, 2024, 104901, ISSN 2352-3964, <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2023.104901>.
- Sun J, Sui M, Wang T, Teng X, Sun J, Chen M. Detection and quantification of various microplastics in human endometrium based on laser direct infrared spectroscopy. *Sci Total Environ.* 2024 Jan 1;906:167760. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.167760. Epub 2023 Oct 11. PMID: 37832687.
- Emenike EC, Okorie CJ, Ojeyemi T, Egbemhenghe A, Iwuzor KO, Saliu OD, Okoro HK, Adeniyi AG. From oceans to dinner plates: The impact of microplastics on human health. *Heliyon.* 2023 Sep 26;9(10):e20440. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e20440. PMID: 37790970; PMCID: PMC10543225.
- Zhao J, Gomes D, Jin L, Mathis SP, Li X, Rouchka EC, Bodduluri H, Conklin DJ, O'Toole TE. Polystyrene bead ingestion promotes adiposity and cardiometabolic disease in mice. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2022 Mar 1;232:113239. doi: 10.1016/j.ecoenv.2022.113239. Epub 2022 Jan 29. PMID: 35093814; PMCID: PMC8860873.
- Shumin, Huang., Xiao-xin, Huang., Ran, Bi., Qiu-lan, Guo., Xiaolin, Yu., Qinghui, Zeng., Ziyu, Huang., Tianming, Liu., Hai, sheng, Wu., Yuliang, Chen., Jia-Long, Xu., Ying, Wu., Pi, Guo. (2022). Detection and Analysis of Microplastics in Human Sputum.. *Environmental Science & Technology*, 56(4):2476-2486. doi: 10.1021/acs.est.1c03859
- Vethaak, Andre & Legler, Juliette. (2021). Microplastics and human health Knowledge gaps should be addressed to ascertain the health risks of microplastics. *Science.* 371. 672-674. 10.1126/science.abe5041.
- Hou D, Hong M, Wang Y, Dong P, Cheng H, Yan H, Yao Z, Li D, Wang K, Zhang D. Assessing the Risks

- اثرات میکروپلاستیک‌ها و نانوپلاستیک‌ها بر بهداشت و سلامت انسان، ولایت زاده محمد، سال ۱۴۰۱
- نقش ریزپلاستیک‌ها به عنوان آلاینده های نوظهور در سلامت انسان و دام، مهدی امیرصادقی، سال ۱۴۰۱
- بررسی میکروپلاستیک‌ها به عنوان آلاینده نوظهور در منابع و اثرات بهداشتی بر روی انسان، مطالعه مروری، خراسانی محمد باقر، سالاری درگی مرجان، سال ۱۴۰۱
- Saha SC, Saha G. Effect of microplastics deposition on human lung airways: A review with computational benefits and challenges. *Heliyon.* 2024 Jan 11;10(2):e24355. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e24355. PMID: 38293398; PMCID: PMC10826726.
- Massardo S, Verzola D, Alberti S, Caboni C, Santostefano M, Eugenio Verrina E, Angeletti A, Lugani F, Ghiggeri GM, Bruschi M, Candiano G, Rumeo N, Gentile M, Cravedi P, La Maestra S, Zaza G, Stallone G, Esposito P, Viazzi F, Mancianti N, La

of Potential Bacterial Pathogens Attaching to Different Microplastics during the Summer-Autumn Period in a Mariculture Cage. *Microorganisms*. 2021 Sep 9;9(9):1909. doi: 10.3390/microorganisms9091909. PMID: 34576804; PMCID: PMC8469625.

- Huang, Y., Qing, X., Wang, W., Han, G., & Wang, J. (2020). Mini-review on current studies of airborne microplastics: Analytical methods, occurrence, sources, fate and potential risk to human beings. *Trends in Analytical Chemistry*, 125, 115821.
- Li Z, Zhu S, Liu Q, Wei J, Jin Y, Wang X, Zhang L. Polystyrene microplastics cause cardiac fibrosis by activating Wnt/ β -catenin signaling pathway and promoting cardiomyocyte apoptosis in rats. *Environ Pollut*. 2020 Oct;265(Pt A):115025. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115025. Epub 2020 Jun 18. PMID: 32806417.

