Journal of
Babol University of Medical Sciences
مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی بابل
e-ISSN: 2251-7170 p-ISSN: 1561-4107

The Effects of Microplastics and Nanoplastics on Human Health and the Environment

K. Kouhi (MSc)[1], F. Bagheri Khorramabadi (MSc)[2], M. A. Zazouli (PhD)[2], Y. Hashempour (PhD)[*2]

1.Student Research Committee, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, I.R.Iran.
2.Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, I.R.Iran.

[*]Corresponding Author: Y. Hashempour (PhD)
Address: Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, I.R.Iran.
Tel: +98 (11) 33543315. **E-mail:** y.hashempour@mazums.ac.ir

Article Type
Review Paper

Received:
Dec 29th 2024
Revised:
Apr 8th 2025
Accepted:
Jul 29th 2025

ABSTRACT

Background and Objective: Microplastic and nanoplastic particles, because of their small size, readily penetrate water, soil, and air and, through the adsorption of hazardous pollutants, represent a serious threat to ecosystems and human health. The aim of the present study is to review and categorize the toxic effects of these particles on the environment and humans.

Methods: In the present narrative review study, articles published between 2000 and 2025 addressing the toxicity effects of micro-nanoplastic particles on the body's cells were examined. These articles were retrieved through searches using English keywords, including "Microplastics," "Nanoplastics," "Health effect," "Human," "Cell," "Tissues," and "Environment," in the PubMed, Scopus, ScienceDirect, and Google Scholar databases, as well as Persian keywords in the SID, Magiran, and Irandoc databases.

Findings: A total of 112 articles were selected from scientific databases in accordance with the research topic, and 84 articles were excluded from the study owing to a lack of relevance among the main keywords. According to the available data, the articles were categorized based on the effects of micro-nanoplastics on the liver, kidney, placenta, lung, neural cells, digestive system, blood, and immune system.

Conclusion: According to the results of this study, the toxicity of micro-nanoplastics depends on several factors, including particle size, the level and duration of exposure, and the type of target cell. Owing to their ability to penetrate various tissues and organs, particularly nanoplastics, which can reach the brain, these particles pose considerable risks to human health and the balance of ecosystems. Consequently, a more precise understanding of the mechanisms of toxicity and a reduction in exposure to these particles are essential for protecting human health and the environment.

Keywords: *Microplastic, Nanoplastic, Human Health, Environmental Pollution, Cell Toxicity.*

Cite this article: Kouhi K, Bagheri Khorramabadi F, Zazouli MA, Hashempour Y. The Effects of Microplastics and Nanoplastics on Human Health and the Environment. *Journal of Babol University of Medical Sciences*. 2026; 28: e48.

Copyright © 2026 Babol University of Medical Sciences. Published by Babol University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

Journal of
Babol University of Medical Sciences
مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی بابل
e-ISSN: 2251-7170 p-ISSN: 1561-4107

تأثیر میکروپلاستیک‌ها و نانوپلاستیک‌ها بر انسان و محیط زیست

کوثر کوهی (MSc)[1]، فاطمه باقری خرم آبادی (MSc)[2]، محمد علی ززولی (PhD)[2]،
یلدا هاشم پور (PhD)[2]*

۱. کمیته تحقیقات و فناوری دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

نوع مقاله
مقاله مروری

دریافت:
۱۴۰۳/۱۰/۹
اصلاح:
۱۴۰۴/۱/۱۹
پذیرش:
۱۴۰۴/۵/۷

چکیده

سابقه و هدف: ذرات میکروپلاستیک و نانوپلاستیک به‌دلیل اندازه کوچک، به‌راحتی وارد آب، خاک و هوا می‌شوند و با جذب آلاینده‌های خطرناک، تهدیدی جدی برای اکوسیستم و سلامت انسان به‌شمار می‌آیند. هدف از این مطالعه، مرور و دسته‌بندی اثرات سمی این ذرات بر محیط زیست و انسان می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه مروری روایتی، مقالات چاپ شده از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۲۵ در زمینه اثر سمیت ذرات نانومیکروپلاستیک‌ها بر سلول‌های بدن بررسی شدند. این مقالات با کلیدواژه‌های انگلیسی شامل«Microplastics»، «Nanoplastics»، «Health effect»، «Human»، «Cell»، «Tissues» و «Environment» در پایگاه‌های PubMed، Scopus، Sciencedirect، Google scholar و کلیدواژه‌های فارسی شامل «نانوپلاستیک»، «میکروپلاستیک»، «انسان»، «سلول»، «بافت»، «محیط زیست» و «اثرات سلامتی» در پایگاه‌های SID، Magiran، Irandoc جستجو شدند.

یافته‌ها: تعداد ۱۱۲ مقاله از پایگاه‌های علمی با توجه به موضوع تحقیق انتخاب شد و ۸۴ مقاله به دلیل عدم ارتباط بین کلیدواژه‌های اصلی از مطالعه خارج شدند. طبق داده‌های موجود، مقالات بر اساس اثر میکرونانوپلاستیک‌ها بر کبد، کلیه، جفت، ریه، سلول‌های عصبی، گوارش، خون و سیستم ایمنی دسته بندی شدند.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این مطالعه سمیت میکرونانوپلاستیک‌ها به عوامل متعددی مانند اندازه ذرات، میزان و مدت زمان مواجهه و نوع سلول هدف بستگی دارد. این ذرات با توانایی نفوذ به بافت‌ها و اندام‌های مختلف، به ویژه نانوپلاستیک‌ها که می‌توانند به مغز راه یابند، خطرات قابل توجهی برای سلامت انسان و تعادل اکوسیستم‌ها دارند. بنابراین، درک دقیق‌تر مکانیسم‌های سمیت و کاهش مواجهه با این ذرات برای حفاظت از سلامت انسان و محیط زیست ضروری است.

واژه‌های کلیدی: میکروپلاستیک، نانوپلاستیک، سلامت انسان، آلودگی محیط زیست، سمیت سلول.

استناد: کوثر کوهی، فاطمه باقری خرم آبادی، محمد علی ززولی، یلدا هاشم پور. تأثیر میکروپلاستیک‌ها و نانوپلاستیک‌ها بر انسان و محیط زیست. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی بابل. ۱۴۰۵؛ ۲۸: e۴۸.

▣ این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی به شماره ۱۸۳۶۶ دانشگاه علوم پزشکی مازندران می‌باشد.

* مسئول مقاله: دکتر یلدا هاشم پور
آدرس: ساری: دانشگاه علوم پزشکی مازندران، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط. تلفن: ۳۳۵۴۳۳۱۵-۰۱۱ رایانامه: y.hashempour@mazums.ac.ir

مقدمه

حضور میکروپلاستیک‌ها (MPs) به عنوان یک آلاینده نوظهور در محیط زیست به دلیل اثرات مضر زیست محیطی یک مسئله مهم در سراسر جهان می‌باشد (۲و۱). MPs ذرات پلاستیکی با قطر کمتر از ۵ میلی‌متر و نانوپلاستیک‌ها (NPs) معمولاً ۱۰۰۰-۱۰۰ میکرومتر می‌باشند (۳). این ذرات می‌توانند آلاینده‌های آلی و غیرآلی را به دلیل سطح آبگریز جذب کنند (۵و۴) و مواد شیمیایی ناشی از افزودنی‌های پلاستیکی مانند نرم‌کننده‌ها و رنگدانه‌ها را وارد محیط کنند (۶). حضور فراگیر ذرات پلاستیکی و نانوذرات در محیط زیست و محصولات مصرفی، از طریق سه مسیر اصلی استنشاق، بلع و پوست، منجر به مواجهه انسان با این ذرات می‌شود (۸و۷). از سوی دیگر، در دهه گذشته، توسعه فناوری نانو، مجموعه‌ای جدید از مواد را برای محصولات مختلف صنعتی و مصرفی ارتقا داده است. با تجاری سازی مداوم آن‌ها، مواجهه انسان در معرض نانوذرات به طور چشمگیری افزایش یافت و ارزیابی سمیت بالقوه آن‌ها ضروری می‌باشد (۹)؛ زیرا نانوذرات عموماً به دلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت نسبت به ذرات بزرگتر با اندازه کوچک، سطح زیاد و نفوذ بیولوژیکی قوی‌ای که دارند ممکن است به اندام موجودات، از جمله جفت و مغز، نفوذ کنند و بر برخی از عملکردهای بیولوژیکی تأثیر بگذارند (۷).

همچنین با گذشت زمان، پلاستیک‌ها به NPs تجزیه می‌شوند و زنجیره غذایی را بیش از حد انتظار به عنوان ماده غذایی برای مصرف انسان آلوده می‌کنند. MP و NP ها از طریق مسیرهای مختلفی مانند آب لوله کشی، آب بطری شده، غذاهای دریایی، نوشیدنی‌ها، شیر، ماهی، نمک‌ها، میوه‌ها و سبزیجات به انسان منتقل می‌شوند (۱۲-۱۰و۱). همچنین آن‌ها در محصولات مراقبت فردی مانند محصولات مراقبت از پوست و پاک کننده‌ها نیز وجود دارند که به وسیله پوست جذب می‌شوند (۱۴و۱۳). تحقیقات نشان داده که این ذرات در نمونه‌های مدفوع انسان شناسایی شده که به مواجهه بدن انسان با این ذرات پلاستیکی را تایید می‌کند (۱۵و۳). علاوه بر این، این ذرات می‌توانند باعث فشار اکسیداتیو، سمیت سلولی، تغییر متابولیسم، اختلال در سیستم ایمنی، سمیت عصبی و سرطان شوند (۱۶).

Zhou و همکاران بیان کردند ارگانوئیدهای کلیه بعد از مواجه MP، کاهش اندازه و ساختار لوله‌ای غیرطبیعی را نشان دادند که بر اثرات منفی این ذرات بر رشد کلیه تأکید می‌کند (۲). در مطالعه Nacka-Aleksić و همکاران نشان داده شد، ذرات پلی استایرن ۴۰ نانومتری فنوتیپ مزانشیمی تروفوبلاست را مختل می‌کنند (۱۷). همچنین بررسی نانوپلاستیک‌های پلی استایرن در مطالعه Kim و همکاران نشان داد که این ذرات باعث کاهش تکثیر و القای آپوپتوز سلول‌های استرومایی آندومتر می‌شوند (۱۸). تاکنون تحقیقات زیادی به بررسی خطرات بهداشتی ذرات پلاستیکی و نانوذرات بر حیوانات انجام شده است اما به دلیل تفاوت بین گونه‌ها، محدودیت‌های اخلاقی، تدابیر زیست امنیتی سخت برای بررسی نمونه‌های انسانی و تکنیک‌های محدود شده آزمایشگاهی، بررسی اثرات ذرات پلاستیکی و نانوذرات بر روی سلامت انسان محدود شده است (۲۱-۱۹). باتوجه به اینکه مطالعه جامعی در رابطه با بررسی اثر ذرات میکروپلاستیک و نانوپلاستیک بر سلول های بدن انسان در ایران صورت نگرفته است، هدف از این مطالعه مروری، ارائه دسته بندی اطلاعات از دانش فعلی در مورد عوامل موثر بر ورود این ذرات به بدن، سمیت آن‌ها بر سلامت و محیط زیست و مسیرهای بالقوه بالینی می‌باشد تا پایه‌ای برای تحقیقات بیشتر فراهم کند.

مواد و روش ها

این مطالعه مروری در کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی مازندران با کد IR.MAZUMS.REC.1402.296 تصویب شد. در این مطالعه مقالات چاپ شده طی سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ در زمینه اثرات سمیت ذرات نانو و میکروپلاستیک‌ها (NMPs) بر بدن انسان مورد بررسی قرار گرفتند. این مقالات با کلیدواژه‌هایی نظیر «Microplastics»، «Nanoplastics»، «Health effect »، «Human»، «Cell»، «Environment» و «Tissues» در پایگاه‌های PubMed، Scopus، Sciencedirect، Google scholar و کلیدواژهای «نانوپلاستیک»، «میکروپلاستیک»، «انسان»، «سلول»، «بافت»، «محیط زیست» و «اثرات سلامتی» در پایگاه‌های SID، Magiran، Irandoc جستجو شدند. تعداد ۴ مقاله از پایگاه علمی داخلی و ۱۰۸ مقاله از پایگاه علمی خارجی با توجه به موضوع تحقیق به دست آمدند.

یافته ها

پس از جستجو با کلیدواژه‌های ذکر شده تعداد ۱۱۲مقاله در زمینه سمیت میکروپلاستیک و نانوپلاستیک بر سلامت انسان یافت شده که بعد از حذف موارد تکراری، غیرمرتبط و مقالاتی که متن کامل آن‌ها در دسترس نبود (۸۴ مقاله)، تعداد ۲۸ مقاله با متن کامل در دسترس قرار گرفت. مقالات بر اساس اثر میکرو و

نانوپلاستیک‌ها بر کبد (۳ مقاله)، کلیه (۳ مقاله)، جفت (۳ مقاله)، ریه (۲ مقاله)، عصبی (۴ مقاله)، گوارشی (۶ مقاله)، خونی (۴ مقاله) و ایمنی (۳ مقاله) طبقه بندی شد و نشان می‌دهد که میکرونانوپلاستیک‌ها می‌توانند بر سلول‌های مختلف بدن وارد شوند و تاثیر بگذارند.

بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه عوامل مؤثر بر ورود ذرات میکروپلاستیک و نانوپلاستیک به بدن انسان از طریق بلع، استنشاق و جذب پوستی، همچنین اثرات سمی این ذرات بر سلامت انسان و محیط زیست، از جمله خطرات ناشی از جذب آلاینده‌هایی مانند فتالات، فلزات سنگین و آلاینده‌های آلی پایدار، مورد بررسی قرار گرفت. مسیرهای بالقوه مواجهه بالینی و پیامدهای مرتبط با بیماری‌های عصبی و التهابی نیز در این بخش تحلیل شدند.

عوامل موثر بر ورود ذرات پلاستیکی و نانوذرات به بدن: مسیرهای جذب سلولی و سرنوشت داخل‌سلولی میکروپلاستیک‌ها و نانوپلاستیک‌ها نقش مهمی در تعیین عملکرد و پاسخ بیولوژیکی این ذرات دارند و میزان سمیت آن‌ها با تعداد ذرات وارد شده مرتبط است (۲۲). ذرات با اندازه‌های مختلف می‌توانند وارد عروق خونی شده و از طریق گردش خون به بافت‌ها و اندام‌های مختلف منتقل شوند. غشاهای بیولوژیکی سد اولیه در برابر ورود این ذرات هستند و نانوذرات پلی‌اتیلن (PE) می‌توانند به غشاهای لیپیدی نفوذ کرده و باعث آسیب و ضخیم شدن غشاء شوند (۲۴و۲۳). مسیرهای جذب تحت تأثیر اندازه، ویژگی سطح و نوع سلول قرار دارند؛ به‌عنوان مثال، ذرات بزرگ‌تر از ۵۰ میکرون در برخی سیالات بدن مانند افیوژن قلبی و رحمی بیشتر مشاهده شده‌اند. در مطالعه Guan و همکاران اندازه میکروذرات بین دسته‌های مختلف سیالات بدن ویژگی‌های خاصی را نشان دادند (۲۵). همچنین در مطالعه Li و همکاران (۲۶) شبیه‌سازی‌های مولکولی نشان داده‌اند که نانوپلاستیک‌های پلی‌استایرن و پلی‌اتیلن به راحتی وارد غشا می‌شوند، در حالی که پلی‌پروپیلن و پلی‌وینیل کلراید اختلالات غشایی را تشدید می‌کنند. نانوذرات استنشاقی، به‌ویژه ذرات کمتر از ۱۰۰ نانومتر، می‌توانند به عمق دستگاه تنفسی نفوذ کرده و باعث آسیب ریوی شوند.

اثرات سمی میکروپلاستیک‌ها و نانوذرات بر سلامت و محیط زیست: اثرات سمی MPs و نانوذرات بر سلامت و محیط زیست را می‌توان به سه دسته فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی تقسیم کرد که بر اساس مسیرهای مواجهه بالینی نیز بررسی می‌شوند (۱۹). اثرات فیزیکی شامل شکل، اندازه و غلظت ذرات است که بلع آن‌ها می‌تواند باعث آسیب و اختلالات فیزیکی در دستگاه گوارش شود. این ذرات در محیط‌های آبی توسط موجودات دریایی مانند ماهی‌ها و صدف‌ها به اشتباه مصرف شده و در کبد آن‌ها تجمع یافته و سمی می‌شوند (۲۷). در مطالعه Davidson و همکاران میزان میکروپلاستیک‌ها در صدف‌های مانیلا بین ۰/۰۷ تا ۵/۵ ذره در گرم برآورد شد (۲۸). میکروپلاستیک‌ها حاوی دو نوع مواد شیمیایی هستند: اول، مواد افزودنی و خام پلیمری که در تولید پلاستیک برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی افزوده می‌شوند و ممکن است مونومرهای سرطان‌زا مانند PVC را شامل شوند(۲۹و۱۹و۱). دوم، مواد شیمیایی جذب شده از محیط مانند سموم، رنگ‌ها و آلاینده‌های آلی پایدار که می‌توانند مخاطرات جدی برای سلامت انسان و محیط زیست ایجاد کنند (۶). این ترکیبات شیمیایی می‌توانند باعث اختلالات هورمونی، تضعیف سیستم ایمنی، التهاب و بیماری‌های قلبی و حتی تغییرات ژنتیکی شوند.

فتالات‌ها: فتالات‌ها (PAEs) استرهای اسید فتالیک هستند که به عنوان افزودنی‌های پلاستیکی و افزایش انعطاف پذیری به پلیمرهای صنعتی عمل می‌کنند. از میان انواع مختلف فتالات، دی اتیل فتالات برای محیط زیست خطرناک طبقه بندی می‌شوند (۳۱و۳۰). این‌ها مخرب غدد درون ریز حیوانات و انسان هستند و سبب جهش ژنی، سرطان زایی و ناهنجاری می‌شوند (۶). پردازش ظروف غذا و بسته‌بندی پلاستیکی ممکن است منجر به آلودگی نوشیدنی‌ها و غذاها به افزودنی‌های شیمیایی مخصوصاً PAEs شود همچنین چای کیسه‌ای نیز به دلیل پوشش پلاستیکی، در اثر حرارت‌دهی در دمای بالا باعث آزاد شدن MPs و فتالات می‌شود. مکانیزم جذب و انتقال PAEs در روده‌های پستانداران ممکن است باعث آسیب بافتی، فیبروز، اثرات التهابی و سمی بر روی سلول‌های ریه انسان و همچنین نازایی، ناهنجاری‌های جنسی، آسم، سمیت نفرونی و کبدی، فشار خون بالا، دیابت نوع دوم، چاقی، اختلالات عصبی و حتی سرطان شود (۳۲).

فلزات سنگین: از میان آلاینده‌های سمی که بر روی ذرات میکروپلاستیک جذب می‌شوند، فلزات سنگین از آلاینده‌های کلیدی سمی در طبیعت هستند که قادرند با پروتئین‌های هسته‌ای و DNA تعامل کرده و سبب آسیب شوند. هنگامی که بر اثر فعالیت‌های طبیعی یا انسانی وارد محیط زیست می‌شوند، این فلزات از طریق مسیرهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی منتقل و تجمع می‌یابند. همچنین این فلزات تهدیدی برای حیوانات و سلامت انسان از طریق زنجیره غذایی می‌باشند (۳۵-۳۳).

آلاینده‌های آلی پایدار: ترکیبات آلی پایدار (POPs) به عنوان عوامل مخرب بر انسان و اکوسیستم شناخته شدند این نگرانی‌ها هنگام برخورد با ریز ذرات بیشتر می‌شود (۳۷و۳۶). در حال حاضر این‌ها شامل ترکیباتی است که به صورت عمدی تولید شده و یا در کشاورزی، و کنترل بیماری‌ها استفاده شده است (مانند دی کلرودی فنیل تری کلرو اتان که هنوز برای کنترل پشه‌ها و پیشگیری از مالاریا در برخی از نقاط جهان استفاده می‌شود) و یا ترکیباتی هستند که به صورت ناخواسته تولید می‌شوند، مانند دی‌اکسین‌ها یا هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای که ناشی از برخی فرآیندهای صنعتی و احتراق هستند (۳۸). مواجهه

در معرض این آلاینده‌ها باعث ایجاد مشکلات جدی سلامتی مانند اختلالات هورمونی، سرطان، بیماری‌های قلبی عروقی، چاقی، بیماری‌های باروری و عصبی، ناتوانی‌های یادگیری و دیابت می‌شوند (۳۹و۳۶).

مسیر بالقوه مواجهه بالینی: در جدول ۱، اثرات میکرونانوپلاستیک‌ها بر انواع سلول‌های بدن آمده است و نشان داد، میکروپلاستیک‌ها و نانوپلاستیک‌ها پس از نفوذ به لایه شاخی و جذب بدن انسان، می‌توانند با سلول‌های هدف متعدد تعامل داشته باشند. ارزیابی‌های سمیت میکرو و نانوپلاستیک‌ها بر روی انسان عمدتاً بر روی سمیت دستگاه گوارش و ریه‌ها متمرکز است که شامل استرس اکسیداتیو، واکنش‌های التهابی و اختلالات متابولیکی می‌باشد (۴۰و۱۹). با مراجعه به جدول ۱، مشاهده می‌گردد بیشتر مطالعات گزارش شده با استفاده از پلی‌استایرن انجام شده‌اند، زیرا این ماده به راحتی سنتز و به نانوذرات تبدیل می‌شود، در حالی که رایج‌ترین پلاستیک‌های تجاری مورد استفاده، پلی‌الفین‌ها (مانند پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن)، پلی‌استرها و پلی‌یورتان‌ها هستند (۴۱و۴۰). به همین دلیل با توجه به تنوع زیاد در اندازه، شکل و ترکیب شیمیایی پلاستیک‌ها، اثرات بالقوه خطرناک انواع مختلف میکرو و نانوپلاستیک‌ها بر سلامت انسان هنوز به طور عمده ناشناخته باقی مانده است. بنابراین، تحقیقات آینده باید بر درک خطرات و ریسک‌های احتمالی مواجهه مزمن با میکرو و نانوپلاستیک‌های متنوع در غلظت‌های مرتبط تمرکز کند.

جدول ۱. اثر ذرات میکرونانوپلاستیک بر انواع سلول و بافت‌های بدن

نوع سلول	نوع ذره	خلاصه مقاله و نتایج	رفرنس
	NPs	در غلظت NP کمتر از ۰/۰۱۲۵ میلی‌گرم در میلی‌لیتر می‌توانند وارد سلول‌ها شده و باعث آسیب میتوکندری، تولید بیش از حد گونه‌های اکسیژن فعال که سبب تغییرات در پتانسیل غشای آن می‌شود را ایجاد کند.	(۹)
کبد	MPs	هنگامی که ارگانوئیدهای کبدی در معرض غلظت µg/mL ۰/۲۵، ۲/۵ و ۲۵ PS قرار گرفتند، مکانیسم‌های بالقوه سمیت کبدی و لیپوتوکسیک ناشی از PS-MP، تولید ATP، تغییر در متابولیسم لیپید، تولید ROS، استرس اکسیداتیو و پاسخ التهاب، تعیین شد.	(۱۶)
	NPs	سمیت سلولی نانوپلاستیک‌های پلی استایرن (PS) از طریق یک مکانیسم مولکولی شامل آسیب ناشی از استرس اکسیداتیو به میتوکندری و غشای سلولی عمل می‌کند که منجر به کاهش تولید آدنوزین‌تری‌فسفات و افزایش نفوذپذیری غشاء می‌شود.	(۲۶)
کلیه	NPs	هنگامی که اندازه ذرات بالاتر از ۱۰۰ نانومتر بود، هیچ مرگ آشکاری وجود نداشت. با کاهش اندازه ذرات از ۱۰۰ نانومتر، مرگ و میر سلولی افزایش یافت.	(۲۶)
	MPs	نتایج نشان داد جذب PS-MPs در غلظت‌های مختلف توسط سلول‌های لوله پیچیده نزدیک کلیه انسان (رده سلولی HK-2) منجر به سطوح بالاتر اکسیژن فعال میتوکندری (ROS) می‌شود و سلول‌های در معرض، استرس شبکه اندوپلاسمی و نشانگرهای التهاب بالاتری داشتند.	(۴۲)
	NPs	PS-NPs تولید ROS را افزایش داده و باعث تغییرات ساختار شبکه میتوکندری و آندوپلاسمی شدند.	(۴۳)
جفت	NPs	نانوذرات وارد شده به سیتوپلاسم تروفوبلاست، منجربه کاهش زنده‌مانی سلولی، توقف چرخه سلولی، کاهش توانایی تهاجم سلولی، افزایش سطح گونه‌های اکسیژن فعال درون سلولی و تولید سیتوکین‌های پیش التهابی در روشی وابسته به دوز می‌شود.	(۹)
		NPs خطرات قابل توجهی برجفت از طریق مهار آنزیم‌های کلیدی آن ایجاد می‌کند.	(۱۵)
		پس از ۲۴ ساعت مواجهه PS-NPs با غلظت ۵۰ میکروگرم در میلی‌لیتر بر روی رده سلولی تروفوبلاست انسانی، سلول‌های HTR8/SVneo، موجب مرگ ۴۰٪ از سلول‌ها و تغییر در شکل‌گیری سلول‌های باقی‌مانده می‌شود. همچنین این ذرات به داخل سلول‌ها وارد می‌شوند و بر شکل‌گیری شبکه آندوپلاسمی و میتوکندری‌ها تأثیر می‌گذارند.	(۴۴)
ریه	MPs	بیشتر ذرات دیده شده در ساختار PS، نایلون و پلی‌اتیلن ترفتالات بودند. حضور این ذرات در صنایعی که در تولید محصولات پلاستیکی فعالیت می‌کنند، می‌تواند یک خطر جدی برای کارگران باشد.	(۴۵)

		نانو ذرات PS منجر به کاهش بقای سلول، فعال‌سازی رونویسی ژن التهابی، تغییرات در بیان پروتئین‌های مرتبط با چرخه سلولی و مرگ سلولی می‌شوند. این ذرات می‌توانند آسیب و اختلالات عملکردی مشخصی را در سیستم تنفسی انسان ایجاد کنند.	(۴۶)
سلول‌های عصبی	MPs, NPs	سمیت عصبی ناشی از MPs عمدتاً سبب استرس اکسیداتیو و مهار استیل کولین می‌شود. همچنین استرس اکسیداتیو ناشی از میکروپلاستیک در بافت مغز ممکن است سبب آسیب DNA، اختلال عملکرد میتوکندری و در نهایت مرگ سلولی از طریق حملات رادیکال‌های آزاد به نورون‌ها شود.	(۴۷)
	NPs	می‌توانند به شدت سمیت و تغییرات در فعالیت متابولیک را در سلول‌های مختلف بافت عصبی، با توجه به نوع سلول و غلظت ایجاد کنند هچنین سلول‌های میکروگلیا و فرآیند کشت سلولی اولیه مغز در بالاترین غلظت از نانوذرات PS کربوکسیله شده سمیت بیشتری را نشان دادند.	(۴۸)
		NPs از طریق اپیدرم لارو وارد بافت عضلانی شده و سبب آسیب میتوکندری در عضله و رشته‌های عصبی (آتروفی) را از بین برده و فعالیت استیل کولین را مهار می‌کنند.	(۴۹)
	MPs, NPs	سلول‌های نوروبلاستوما SH-SY5Y در غلظت‌ها و اندازه‌های متفاوتی در مواجهه با PS-NPs قرار گرفتند. یافته‌ها نشان داد این ذرات توسط سلول‌ها بلعیده شده‌اند. اثر PS-NPs بر زنده‌مانی سلولی بستگی به غلظت و اندازه آن‌ها داشت به طوری که افزایش غلظت منجر به کاهش زنده‌مانی سلول‌ها شد، به‌طوری که کوچک‌ترین اندازه ذرات بیشترین سمیت را داشتند.	(۵۰)
سلول‌های گوارشی	MPs, NPs	یک فرآیند گوارشی با کمک شیره گوارشی شبیه‌سازی شده برای آزمایش تأثیرات درمان گوارشی بر سمیت و عملکرد MPs و NPs با غلظت‌های μg/mL ۱ و ۲۰ استفاده شد. گزارش شد، درمان گوارشی باعث کاهش سمیت سلولی و اختلال عملکرد انتقال $CaCO_2$ می‌شود.	(۲۰)
	MPs	تجمع MPs سبب ایجاد اثرات سمی متعدد در روده از جمله آسیب مخاطی و افزایش نفوذپذیری، التهاب و اختلال در متابولیسم شد.	(۲۷)
	MPs, NPs	تعادل فلور روده به هم ریخته و همچنین منجر به از بین رفتن غده‌های ترشحی و افزایش از بین رفتن پرزها همراه با نفوذ لکوسیت و التهاب می‌شود.	(۴۷)
	MPs	تأثیر مواجهه مکرر ۱۴ روزه با دوز μg/day ۲۱ درمعرض PE-MPs بر میکروبیوتای روده انسان و سد روده با استفاده از مدل مصنوعی مخاطی کولون، همراه با کشت همزمان سلول‌های پوششی روده و ترشح کننده موکوس سبب افزایش فراوانی بیماری‌های بالقوه مضر، انتروباکتریاسه‌ها و دسولفوویبریو و کاهش باکتری‌های مفید از شده است.	(۵۱)
		ارتباط MPs موجود درمدفوع انسان با بیماری التهابی روده نشان داد، مخلوط MPs با هلیکوباکترپیلوری به طور قابل توجهی عفونت هلیکوباکترپیلوری را تسریع می‌کند و پاسخ التهابی بافت‌های معده و روده را تقویت می‌کند.	(۵۲)
	MPs, NPs	جهت ایجاد بافت پوششی به منظور تقلید پیچیدگی سلولی و عملکرد بافت طبیعی بدن از ارگانوئیدهای جدا شده از روده بیماران استفاده شد و نشان داد غلظت بالای ذرات به طور قابل توجهی سبب ترشح سیتوکین‌های التهابی مرتبط با بیماری التهابی روده انسان می‌شود.	(۵۳)
سلول‌های خونی	ذرات PS	همولیز RBC پس از تماس مستقیم با ذرات PS در غلظت‌ها و اندازه‌های مختلف نشان داد، ذرات کوچکتر به دلیل اندازه تمایل بیشتری به تجمع داشتند و غلظت بالا بر همولیز RBC تأثیر داشت.	(۵۴)
	نانوذرات PS کربوکسیله	نانوذرات PS می‌توانند به RBCs جذب شوند و به ویژه نانوذرات PS با اندازه ۲۷ نانومتر می‌توانند تغییرات شکل سلولی را القا کنند.	(۵۵)
	نانوذرات PS	نانوذرات PS (۰/۰۵ μg/mL، ۰/۲ و ۰/۵) بر عملکرد RBCs و سلول‌های اندوتلیال در سیستم عروقی تأثیر منفی داشته و اختلالات خونی ایجاد می‌کنند.	(۵۶)

	MPs- PS	اثرات مستقیم میکروپلاستیک‌ها بر تشکیل لخته فیبرین در شرایط آزمایشگاهی نشان داد، بسته به بار سطحی و غلظت ذرات، اثرات بازدارنده‌ای بر تشکیل لخته فیبرین داشته‌اند.	(۵۷)
سلول‌های ایمنی	NPs	مطالعه آزمایشگاهی بر سلول‌های ریه انسان نشان داد که نانوذرات PS می‌توانند سیستم ایمنی را از طریق افزایش جریان اتوفاژیک (خودخواری) فعال کنند.	(۱۹)
		نانوذرات PS کربوکسیله شده در محدوده ۱۰–۲۰۰۰ μg/mL، بر جذب، سمیت سلولی، رها شدن سیتوکین، فاگوسیتوز، بروز اکسیداتیو، تولید نیتریک اکسید و تولید میلوپراکسیداز در سلول‌های مود آزمایش تأثیر گذاشته‌اند.	(۵۸)
	MPs, NPs	MNPLهای تجاری و محیطی، در غلظت ۱ میلی‌گرم در میلی‌لیتر، به‌طور قابل ملاحظه‌ای ترشح IL-1β و IL-6 التهابی را به‌صورت زمان‌مند تحریک می‌کنند و نمونه‌های محیطی غنی از PET پاسخ قوی وابسته به دوز نشان دادند و ترشح IL-1β را در دوزهایی به پایین‌ترین حد ۱۰۰ نانو گرم در میلی‌لیتر القا کردند.	(۵۹)

نتایج این مطالعه نشان داد، سمیت سلولی میکروپلاستیک و نانوپلاستیک‌ها بسته به نوع سلول‌ها، مانند سلول‌های گوارشی، سلول‌های ریه، سلول‌های ایمنی، سلول‌های عصبی، کبد و غیره متفاوت است. چالش‌های بررسی اثر میکرونانوپلاستیک‌ها بر سلول‌های بدن انسان شامل ابعاد کوچک این ذرات برای تشخیص و اندازه گیری، مشکلات در انتقال و توزیع این ذرات در بدن انسان به دلیل تأثیرات ناخواسته و ناگهانی بر سلول‌ها، ناشناخته بودن مکانیسم اثر این ذرات بر سلول‌ها و تأثیر آن‌ها بر فعالیت‌های سلولی و مولکولی و همچنین تأثیر آن‌ها بر فرآیندهای بیولوژیکی می‌باشد. اگرچه جذب سلولی ذرات پلاستیکی اتفاق می‌افتد، اما آگاهی از میزان دفع آن‌ها نیز مهم می‌باشد بنابراین می‌توان با طراحی مطالعات گسترده و چند عاملی با استفاده از نوع سلول خاص در شرایط آزمایشی یکسان تا حدی نتایج درستی از اثر این ذرات بر سلول‌های مختلف بدن به دست آورد.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از معاونت تحقیقات و فناوری و کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی مازندران جهت حمایت از این تحقیق قدردانی می‌گردد.

References

1.Hashempour Y, Jabari A, kouhi K, Fendereski A. Introducing Statistical Methods to Identify the Sources of Microplastics in the Aquatic Environment: An Overview. J Health Res Commun. 2024;9(4):111-20. [In Persian]
2.Zhou B, Zhang A, Wang Y, Feng S, Xue Q, Liu Z, et al. Microplastics induce human kidney development retardation through ATP-mediated glucose metabolism rewiring. J Hazard Mater. 2025;486:137002.
3.Hashempour Y, Zazouli MA. Microplastics in water resources: distribution, impacts and fate. Hazard Waste. 2021;20:12-6. [In Persian] Available from: https://www.magiran.com/paper/2407474/
4.Zazouli M, Nejati H, Hashempour Y, Dehbandi R, Nam VT, Fakhri Y. Occurrence of microplastics (MPs) in the gastrointestinal tract of fishes: A global systematic review and meta-analysis and meta-regression. Sci Total Environ. 2022;815:152743.
5.Wright SL, Kelly FJ. Plastic and Human Health: A Micro Issue?. Environ Sci Technol. 2017;51(12):6634-47.
6.Liu Y, Li Z, Jalón-Rojas I, Wang XH, Fredj E, Zhang D, et al. Assessing the potential risk and relationship between microplastics and phthalates in surface seawater of a heavily human-impacted metropolitan bay in northern China. Ecotoxicol Environ Saf. 2020;204:111067.
7.Kouhi K, Abbasi Tajadod A, Hashempour Y. An Overview of the Potential Impact of Nano and Microplastics on the Health of Sensitive Groups, Especially Children: A Narrative Review. J Mazandaran Univ Med Sci. 2023;33(227):187-201. [In Persian]
8.Dusza HM, van Boxel J, van Duursen MBM, Forsberg MM, Legler J, Vähäkangas KH. Experimental human placental models for studying uptake, transport and toxicity of micro- and nanoplastics. Sci Total Environ. 2023;860:160403.
9.Lin S, Zhang H, Wang C, Su XL, Song Y, Wu P, et al. Metabolomics Reveal Nanoplastic-Induced Mitochondrial Damage in Human Liver and Lung Cells. Environ Sci Technol. 2022;56(17):12483-93.
10.Ahmad M, Chen J, Khan MT, Yu Q, Phairuang W, Furuuchi M, et al. Sources, analysis, and health implications of atmospheric microplastics. Emerg. Contam. 2023;9(3):100233.
11.Zazouli M A, Kouhi K, Abbasi Tajadod A, Hashempour Y. Investigation of Abundance, Characteristics, and Fate of Microplastics in Water and Sludge of Water Treatment Plants: A Narrative Review. J Mazandaran Univ Med Sci. 2024;34(234):200-13. [In Persian]
12.Jabbari A, Zazouli MA, Hashempour Y. Investigating the Presence of Microplastics as an Emerging Contaminant in Water and Various Beverages: A Review Study. J Health Res Commun. 2024;10(2):85-96. [In Persian]
13.Schwabl P, Köppel S, Königshofer P, Bucsics T, Trauner M, Reiberger T, et al. Detection of Various Microplastics in Human Stool: A Prospective Case Series. Ann Intern Med. 2019;171(7):453-7.
14.Anderson AG, Grose J, Pahl S, Thompson RC, Wyles KJ. Microplastics in personal care products: Exploring perceptions of environmentalists, beauticians and students. Mar Pollut Bull. 2016;113(1-2):454-60.
15.Enyoh CE, Duru CE, Ovuoraye PE, Wang Q. Evaluation of nanoplastics toxicity to the human placenta in systems. J Hazard Mater. 2023;446:130600.
16.Cheng W, Li X, Zhou Y, Yu H, Xie Y, Guo H, et al. Polystyrene microplastics induce hepatotoxicity and disrupt lipid metabolism in the liver organoids. Sci Total Environ. 2022;806(Pt 1):150328.
17.Nacka-Aleksić M, Vilotić A, Pirković A, Živanović M, Ljujić B, Jovanović Krivokuća M. Nano-scale dangers: Unravelling the impact of nanoplastics on human trophoblast invasion. Chem Biol Interact. 2025;405:111317.

18.Kim N, Lee JH, Lee I, Park JH, Jung GS, Lee MJ, et al. Investigation of potential toxic effects of nano- and microplastics on human endometrial stromal cells. Reprod Toxicol. 2025;132:108848.
19.Yang X, Man YB, Wong MH, Owen RB, Chow KL. Environmental health impacts of microplastics exposure on structural organization levels in the human body. Sci Total Environ. 2022;825:154025.
20.Liu Z, Cai M, Wu D, Yu P, Jiao Y, Jiang Q, et al. Effects of nanoplastics at predicted environmental concentration on Daphnia pulex after exposure through multiple generations. Environ Pollut. 2020;256:113506.
21.Ali N, Katsouli J, Marczylo EL, Gant TW, Wright S, Bernardino de la Serna J. The potential impacts of micro-and-nano plastics on various organ systems in humans. EBioMedicine. 2024;99:104901.
22.Thubagere A, Reinhard BM. Nanoparticle-induced apoptosis propagates through hydrogen-peroxide-mediated bystander killing: insights from a human intestinal epithelium in vitro model. ACS Nano. 2010;4(7):3611-22.
23.Wang W, Zhang J, Qiu Z, Cui Z, Li N, Li X, et al. Effects of polyethylene microplastics on cell membranes: A combined study of experiments and molecular dynamics simulations. J Hazard Mater. 2022;429:128323.
24.Persiani E, Cecchettini A, Ceccherini E, Gisone I, Morales MA, Vozzi F. Microplastics: A Matter of the Heart (and Vascular System). Biomedicines. 2023;11(2):264.
25.Guan Q, Jiang J, Huang Y, Wang Q, Liu Z, Ma X, et al. The landscape of micron-scale particles including microplastics in human enclosed body fluids. J Hazard Mater. 2023;442:130138.
26.Li Y, Li Y, Li J, Song Z, Zhang C, Guan B. Toxicity of polystyrene nanoplastics to human embryonic kidney cells and human normal liver cells: Effect of particle size and Pb^{2+} enrichment. Chemosphere. 2023;328:138545.
27.Qiao R, Deng Y, Zhang S, Wolosker MB, Zhu Q, Ren H, et al. Accumulation of different shapes of microplastics initiates intestinal injury and gut microbiota dysbiosis in the gut of zebrafish. Chemosphere. 2019;236:124334.
28.Davidson K, Dudas SE. Microplastic Ingestion by Wild and Cultured Manila Clams (Venerupis philippinarum) from Baynes Sound, British Columbia. Arch Environ Contam Toxicol. 2016;71(2):147-56.
29.Teuten EL, Saquing JM, Knappe DR, Barlaz MA, Jonsson S, Björn A, et al. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2009;364(1526):2027-45.
30.Arrigo F, Impellitteri F, Piccione G, Faggio C. Phthalates and their effects on human health: Focus on erythrocytes and the reproductive system. Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol. 2023;270:109645.
31.Meeker JD, Sathyanarayana S, Swan SH. Phthalates and other additives in plastics: human exposure and associated health outcomes. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2009;364(1526):2097-113.
32.Kashfi FS, Mohammadi A, Rostami F, Savari A, De-la-Torre GE, Spitz J, et al. Microplastics and phthalate esters release from teabags into tea drink: occurrence, human exposure, and health risks. Environ Sci Pollut Res Int. 2023;30(47):104209-22.
33.Cao Y, Zhao M, Ma X, Song Y, Zuo S, Li H, et al. A critical review on the interactions of microplastics with heavy metals: Mechanism and their combined effect on organisms and humans. Sci Total Environ. 2021;788:147620.
34.Jiang X, Li M. Interaction of microplastics and heavy metals: toxicity, mechanisms, and environmental implications. In: He D, Luo Y, editors. Microplastics in Terrestrial Environments: Emerging Contaminants and Major Challenges. Springer Cham; 2020. p. 185-95.
35.Li X, Mei Q, Chen L, Zhang H, Dong B, Dai X, et al. Enhancement in adsorption potential of microplastics in sewage sludge for metal pollutants after the wastewater treatment process. Water Res. 2019;157:228-37.

36.Alharbi OM, Khattab RA, Ali I. Health and environmental effects of persistent organic pollutants. J Mol Liq. 2018;263:442-53.
37.Rodrigues JP, Duarte AC, Santos-Echeandía J, Rocha-Santos T. Significance of interactions between microplastics and POPs in the marine environment: a critical overview. TrAC Trends Anal Chem. 2019;111:252-60.
38.Gateuille D, Naffrechoux E. Transport of persistent organic pollutants: Another effect of microplastic pollution?. Wiley Interdiscip. Rev Water. 2022;9(5):e1600.
39.Zhang YW, Zhou DY, Wang SC, Zhou FJ, Wang GC, Su JC. Bridging relevance between microplastics, human health and bone metabolism: Emerging threats and research directions. Environ Chem Ecotoxicol. 2024;6:422-35.
40.Yee MS, Hii LW, Looi CK, Lim WM, Wong SF, Kok YY, et al. Impact of Microplastics and Nanoplastics on Human Health. Nanomaterials (Basel). 2021;11(2):496.
41.Mamun AA, Prasetya TAE, Dewi IR, Ahmad M. Microplastics in human food chains: Food becoming a threat to health safety. Sci Total Environ. 2023;858(Pt 1):159834.
42.Wang YL, Lee YH, Hsu YH, Chiu IJ, Huang CC, Huang CC, et al. The Kidney-Related Effects of Polystyrene Microplastics on Human Kidney Proximal Tubular Epithelial Cells HK-2 and Male C57BL/6 Mice. Environ Health Perspect. 2021;129(5):57003.
43.Zhu Z, Liao R, Shi Y, Li J, Cao J, Liao B, et al. Polystyrene nanoplastics induce apoptosis of human kidney proximal tubular epithelial cells via oxidative stress and MAPK signaling pathways. Environ Sci Pollut Res Int. 2023;30(51):110579-89.
44.Ragusa A, Cristiano L, Di Vinci P, Familiari G, Nottola SA, Macchiarelli G, et al. Artificial plasticenta: how polystyrene nanoplastics affect in-vitro cultured human trophoblast cells. Front Cell Dev Biol. 2025;13:1539600.
45.Shahsavaripour M, Abbasi S, Mirzaee M, Amiri H. Human occupational exposure to microplastics: A cross-sectional study in a plastic products manufacturing plant. Sci Total Environ. 2023;882:163576.
46.Xu M, Halimu G, Zhang Q, Song Y, Fu X, Li Y, et al. Internalization and toxicity: A preliminary study of effects of nanoplastic particles on human lung epithelial cell. Sci Total Environ. 2019;694:133794.
47.Yin K, Wang Y, Zhao H, Wang D, Guo M, Mu M, et al. A comparative review of microplastics and nanoplastics: Toxicity hazards on digestive, reproductive and nervous system. Sci Total Environ. 2021;774:145758.
48.Murali K, Kenesei K, Li Y, Demeter K, Környei Z, Madarász E. Uptake and bio-reactivity of polystyrene nanoparticles is affected by surface modifications, ageing and LPS adsorption: in vitro studies on neural tissue cells. Nanoscale. 2015;7(9):4199-210.
49.Yang H, Xiong H, Mi K, Xue W, Wei W, Zhang Y. Toxicity comparison of nano-sized and micron-sized microplastics to Goldfish Carassius auratus Larvae. J Hazard Mater. 2020;388:122058.
50.Wong MH, Koh RY, Tan BK, Leong YQ, Lim CL. Polystyrene Nanoplastic-Induced Toxicity in Neuronal Cells. EnvironmentAsia. 2025;18(1):93.
51.Fournier E, Leveque M, Ruiz P, Ratel J, Durif C, Chalancon S, et al. Microplastics: What happens in the human digestive tract? First evidences in adults using in vitro gut models. J Hazard Mater. 2023;442:130010.
52.Yang W, Jannatun N, Zeng Y, Liu T, Zhang G, Chen C, et al. Impacts of microplastics on immunity. Front Toxicol. 2022;4:956885.

53.Chen Y, Williams AM, Gordon EB, Rudolph SE, Longo BN, Li G, et al. Biological effects of polystyrene micro- and nano-plastics on human intestinal organoid-derived epithelial tissue models without and with M cells. Nanomedicine. 2023;50:102680.
54.Hwang J, Choi D, Han S, Jung SY, Choi J, Hong J. Potential toxicity of polystyrene microplastic particles. Sci Rep. 2020;10(1):7391.
55.Barbul A, Singh K, Horev− Azaria L, Dasgupta S, Auth T, Korenstein R, et al. Nanoparticle-decorated erythrocytes reveal that particle size controls the extent of adsorption, cell shape, and cell deformability. ACS Appl Nano Mater. 2018;1(8):3785-99.
56.Barshtein G, Livshits L, Shvartsman LD, Shlomai NO, Yedgar S, Arbell D. Polystyrene Nanoparticles Activate Erythrocyte Aggregation and Adhesion to Endothelial Cells. Cell Biochem Biophys. 2016;74(1):19-27.
57.Tran DQ, Stelflug N, Hall A, Nallan Chakravarthula T, Alves NJ. Microplastic Effects on Thrombin-Fibrinogen Clotting Dynamics Measured via Turbidity and Thromboelastography. Biomolecules. 2022;12(12):1864.
58.Prietl B, Meindl C, Roblegg E, Pieber TR, Lanzer G, Fröhlich E. Nano-sized and micro-sized polystyrene particles affect phagocyte function. Cell Biol Toxicol. 2014;30(1):1-16.
59.Bishop B, Webber WS, Atif SM, Ley A, Pankratz KA, Kostelecky R, et al. Micro- and nano-plastics induce inflammation and cell death in human cells. Front Immunol. 2025;16:1528502.