



Microplastics Derived from the Degradation of Polyethylene and Polypropylene and Their Impact on Public Health

Ali Ahmad Mohammadi^{1*}, Safiullah Fetrat¹, Ghulam Rabani Osuli¹

¹Chemistry Department, Science Faculty, Herat University, Herat Province, Afghanistan (Corresponding author
Email: aa_heravi@hu.edu.af)

Article Info

Article type:

Research
Article

pp: 133- 152

Received:

26/10/2025

Accepted:

26/01/2026

Published:

21/03/2026

ABSTRACT

Background and Objective: Microplastics, particularly polyethylene and polypropylene particles, have emerged as environmental pollutants that can enter the human body through water and food. They may contribute to inflammation, immune and hormonal disruptions, and an increased risk of chronic diseases. Despite their potential health impacts, public awareness of microplastics in developing countries remains insufficiently studied. This study aimed to assess the awareness, attitudes, and behaviors of people in Herat regarding microplastics and their perceived impacts on public health.

Method: This analytical cross-sectional field study was conducted among faculty members, students, employees of public and private universities in Herat Province, and their families. A total of 440 participants were selected through simple random sampling. Data were collected using a five-point Likert-scale questionnaire. The questionnaire's validity was confirmed by experts, and its reliability was established with a Cronbach's alpha coefficient of 0.822. Data were analyzed using SPSS version 26 through one-sample t-tests and multiple regression analysis.

Findings/ Result: The findings showed that participants' awareness, attitudes, and behaviors regarding microplastics were significantly higher than the average level. The greatest concerns were related to the possible role of microplastics in chronic diseases, immune dysfunction, and reduced fertility. Regression analysis indicated that awareness of the risks of reusing plastic bottles, health-related concerns, and belief in the necessity of governmental restrictions significantly influenced plastic consumption behaviors.

Conclusion: Microplastics represent an emerging public health concern in Herat. The relatively high level of awareness among the population may support environmental education programs, policy restrictions, and the promotion of safer alternatives to plastic. Further laboratory-based studies are recommended to evaluate actual human exposure levels.

Keywords: Microplastics; Polyethylene; Polypropylene; Public Health; Awareness and Attitude; Herat Province.

Cite this article: Mohammadi A. A, Fetrat S, Osuli G, R. Microplastics Derived from the Degradation of Polyethylene and Polypropylene and Their Impact on Public Health. *Ghalib Medical Journal. Ghalib Medical Journal*. [Internet]. Publication date. 21.03.2026; 3 (1): 133-152: <https://doi.org/10.58342/MJ.V.3.I.1.9>



This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



مجله علوم طبى غالب (MJ)

صفحه اصلی مجله: <https://www.mj.ghalib.edu.af>

ISSN

P: 3105-0786

E: 3006-094X



<https://doi.org/10.58342/MJ.V.3.I.1.9>

ناشر: پوهنتون / دانش گاه غالب - هرات

میکروپلاستیک‌های ناشی از تجزیه پلی اتیلین و پلی پروپیلین و تأثیر آن بر سلامت

عمومی

علی احمد محمدی^{۱*}، صفی‌الله فطرت، غلام ربانی اصولی

^{۱*} دپارتمنت کیمیا، پوهنتون / دانش گاه هرات، شهر هرات، افغانستان (ایمیل نویسنده مسؤول: aa_heravi@hu.edu.af)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	زمینه و هدف: این تحقیق یک مطالعه مقطعی است که به بررسی میکروپلاستیک‌ها، به‌ویژه ذرات پلی اتیلین و پلی پروپیلین، به‌عنوان آلاینده‌های نوظهور می‌پردازد که می‌تواند از طریق آب و غذا وارد بدن شده و باعث التهاب، اختلالات ایمنی و هورمونی و افزایش خطر بیماری‌های مزمن شوند. با وجود اهمیت این موضوع، آگاهی جوامع در کشورهای در حال توسعه به‌خوبی بررسی نشده است. این تحقیق با هدف سنجش آگاهی، نگرش و رفتار مردم هرات درباره میکروپلاستیک‌ها و اثرات آن‌ها بر سلامت عمومی انجام شد.
صفحات: ۱۵۲-۱۳۳	روش: این مطالعه به‌صورت تحلیلی-کمی و با روش میدانی انجام شد. جامعه آماری شامل اساتید، محصلان و کارمندان پوهنتون‌های دولتی و خصوصی ولایت هرات و خانواده‌های آنان بود که ۴۴۰ نفر به روش تصادفی ساده انتخاب شدند. داده‌ها با پرسش‌نامه لیکرت پنج‌درجه‌ای گردآوری شد و روایی و پایایی ابزار با تأیید خبرگان و آلفای کرونباخ ۰.۸۲۲، احراز گردید. تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ و آزمون‌های استیودنت تک‌نمونه‌ای و رگرسیون چندگانه صورت گرفت.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۴	یافته‌ها: نتایج نشان داد آگاهی، نگرش و رفتار مرتبط با میکروپلاستیک‌ها به‌طور معناداری بالاتر از حد متوسط بود. بیشترین نگرانی‌ها به نقش میکروپلاستیک‌ها در بیماری‌های مزمن، اختلال ایمنی و کاهش باروری مربوط بود. تحلیل رگرسیون نیز نشان داد که آگاهی از خطرات استفاده مجدد بطری‌ها، نگرانی‌های سلامت‌محور و باور به ضرورت محدودیت‌های دولتی، رفتارهای مصرف پلاستیک را به‌طور معنادار تحت تأثیر قرار می‌دهد.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۸	نتیجه‌گیری: میکروپلاستیک‌ها در هرات یک چالش جدی سلامت عمومی‌اند. آگاهی زیاد مردم می‌تواند اجرای آموزش‌های محیط‌زیستی، سیاست‌های محدودکننده و توسعه
تاریخ نشر: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱	

جایگزین‌های ایمن را تسهیل کند. همچنین انجام مطالعات لابراتواری بیشتر برای سنجش میزان مواجهه انسان توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: میکروپلاستیک‌ها، پلی‌اتیلین، پلی‌پروپیلین، سلامت عمومی، آگاهی و نگرش، ولایت هرات.

ارجاع به این مقاله: محمدی ع. ا، فطرت ص، اصولی غ، ر. میکروپلاستیک‌های ناشی از تجزیه پلی‌اتیلین و پلی‌پروپیلین و تأثیر آن بر سلامت عمومی. مجله علوم طبی غالب. [اینترنت]. ۰۱ / ۰۱ / ۱۴۰۵. [تاریخ برداشت]: ۳(۱): ۱۵۲-۱۳۳. <https://doi.org/10.58342/MJ.V.3.I.1.9>

این مقاله تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 International License منتشر شده است.

مقدمه

استفاده از ظروف پلاستیکی، به‌ویژه آن‌هایی که از پلی‌اتیلین ترفتالات^۱ ساخته می‌شوند، در سراسر زیست‌کره زمین رو به افزایش است. پلیمرها به‌طور معمول به دلیل وزن مالیکولی بالا از نظر کیمیاوی خنثی بوده و در محیط به سختی تجزیه و حل می‌شوند؛ از این رو ذاتاً سمی به شمار نمی‌آیند. با این حال، در پروسه سنتز آن‌ها از مواد افزودنی مختلف مانند کاتالیزورها برای تسریع تعاملات کیمیاوی یا مواد افزودنی دیگر که باعث ایجاد انشعاب و شاخه در ساختار پلیمر می‌شود، استفاده می‌گردد. گاهی مقادیر اندکی از این مواد در ساختار پلیمر باقی می‌ماند. افزون بر این، اگر فرآیند پلیمریزاسیون به‌طور ناقص انجام شود، مونومرهای تعامل نداده ممکن است در محصول نهایی حضور داشته باشند و در نهایت وارد محیط یا چرخه زنده‌گی انسان شوند. بنابراین، درجه خلوص پلیمرها یکی از معیارهای اصلی در ارزیابی ایمنی و صحت آن‌ها محسوب می‌شود^[۱-۳]. مواد افزودنی که برای بهبود خواص فیزیکی و کیمیاوی پلیمرها به کار می‌روند، شامل نرم‌کننده‌ها، پایدارکننده‌ها، روان‌کننده‌ها، آنتی‌اکسیدانت‌ها و رنگدانه‌ها هستند. این مرکبات می‌توانند به همان شکل اولیه یا در قالب مشتقات تغییر یافته وارد مواد غذایی شوند. از آنجایی که برخی از انواع پلاستیک‌ها به‌طور مستقیم با مواد غذایی در تماس‌اند، امکان نفوذ مقدار مشخصی از اجزای آن‌ها از جمله ریزپلاستیک‌ها به درون مواد غذایی وجود دارد و همین امر می‌تواند سلامت انسان را به خطر اندازد^[۴].

PET، پلیمر اصلی مورد استفاده در این ظروف، از تعامل میان ترفتالیک اسید^۲ و اتیلین گلایکول^۳، هر دو از مشتقات نفتی، تولید می‌شود. پلی‌استرهای دیگری نیز وجود دارند، اما همگی حاصل تعامل پلیمریزاسیون میان یک الکل و یک اسید هستند. PET در حالت خالص ماده‌ای شفاف، بی‌بو و

1 - Polyethylene Terephthalate (PET)

2 - Terephthalic acid (TPA)

3 - Ethylene Glycol (EG)

شبهه شیشه است و تحت تأثیر افزودنی‌ها می‌تواند ساختاری شیشه‌ای پیدا کند. این پلیمر در برابر حرارت به حالت مذاب درمی‌آید و به دلیل ویژگی‌های مطلوب ذاتی خود، برای بسته‌بندی بسیار مناسب است. به همین دلیل، معمولاً نیازی به افزودنی‌هایی مانند نرم‌کننده‌ها، آنتی‌اکسیدانت‌ها یا پایدارکننده‌های حرارتی و نوری ندارد. تنها مقدار کمی رنگ (کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) به برخی گریدهای تجاری آن افزوده می‌شود که بخشی از ترکیب بدنه زنجیره پلیمری را تشکیل می‌دهد.^[۵] سه کاربرد اصلی PET در صنعت بسته‌بندی عبارت‌اند از: الف) ظروف پلاستیکی مانند بطری‌های آب و تیوپ‌ها، ب) ورقه‌های نیمه‌سخت فرم‌دهی‌شده حرارتی (مانند سینی‌ها، ج) فیلم‌های جهت‌دار برای بسته‌بندی مواد غذایی و مصارف صنعتی.^[۶]

در انتخاب بسته‌بندی مناسب برای مواد غذایی، ضروری است که هیچ عامل نامطلوبی میان ماده غذایی و اجزای بسته‌بندی رخ ندهد و میزان مهاجرت مرکبات از بسته‌بندی در حد استاندارد باقی بماند. تحقیقات نشان داده‌اند که عناصری مانند انتیموان و آرسنیک که به عنوان مواد سمی و سرطان‌زا شناخته می‌شوند ممکن است در مقادیر ناچیز از بسته‌بندی‌های PET به داخل مواد غذایی یا نوشیدنی‌ها انتقال یابند. میزان این انتقال تحت تأثیر عواملی همچون زمان نگهداری، درجه حرارت، نوع ماده غذایی، ماهیت کیمیاوی مرکبات و میزان حلالیت آن‌ها متفاوت است.^[۷] PET یک پلیمر شیشه‌ای و خشک است و خوردن یا استنشاق ذرات آن بر اساس داده‌های موجود خطری قابل توجه ایجاد می‌کند. مطالعات انجام‌شده بر حیوانات نیز شواهدی از سمیت این پلیمر ارائه کرده‌اند. نتایج آزمون Ames و بررسی‌های مربوط به DNA سنتزی نشان داده است که PET خاصیت جنوتوکسیک دارد و برای انسان بی‌خطر تلقی نمی‌شود. بررسی‌ها درباره مونومرها و ترکیبات واسطه PET نیز حاکی از آن است که این مواد به‌طور منفرد سمی نیستند، اما ممکن است در تعامل با برخی عناصر مانند ترای‌اکساید انتیموان یا حلقه بنزین ویژگی‌های سرطان‌زایی پیدا کنند.^[۸] با وجود این، مطالعات تغذیه‌ای کامل نشان داده‌اند که استفاده از انتیموان در محدوده‌های استاندارد مورد استفاده در تولید ظروف PET خطر قابل ملاحظه‌ای ایجاد نمی‌کند؛ چنان‌که رژیم غذایی حاوی ۲۰ mg/kg ترای‌اکساید انتیموان آثار سمی قابل‌شناسایی در حیوانات نشان نداده و نتایج آزمون‌های جنوتوکسیک نیز عمدتاً منفی بوده‌اند. با این همه، گروهی از مواد کیمیاوی مصنوعی می‌توانند بر عملکرد غدد درون‌ریز اثرگذار باشند.^[۹] در صورتی که این مواد وارد بدن شوند، ممکن است بر هورمون‌هایی مانند استروژن و پروژسترون تأثیر گذاشته و موجب اختلال در متابولیسم، چرخه هورمونی و پروسه‌های تولیدمثل شوند. از این‌رو، ارزیابی اثرات بلندمدت مرکبات انتقال‌کننده از بسته‌بندی‌های پلاستیکی بر سلامت انسان ضروری است.^[۱۰] در کشور افغانستان و مخصوصاً شهر هرات نیز استفاده از ظروف پلاستیکی به‌ویژه بطری‌های آب، ظروف یک‌بارمصرف غذایی و

پلاستیک‌های حمل مواد غذایی به طور چشمگیری افزایش یافته است. این ظروف با گذشت زمان می‌توانند میکروپلاستیک تولید و آزاد کنند و حضور این ذرات در مواد غذایی و محیط‌زیست به یک نگرانی مهم تبدیل شده است. استفاده گسترده از پلاستیک در صنعت بسته‌بندی، به‌ویژه برای نگهداری بلندمدت نوشیدنی‌ها و مواد غذایی، نیز به انتشار بیشتر ریزپلاستیک‌ها در محیط منجر می‌شود. در نتیجه، موضوع ریزپلاستیک‌ها در ولایت هرات به یک چالش جدی محیط‌زیستی تبدیل شده است و در صورت نبود مدیریت مؤثر، می‌تواند زمینه‌ساز بروز انواع بیماری‌ها در انسان شود. افزون بر این، پراکندگی گسترده ظروف و زباله‌های پلاستیکی در سطح ولایت هرات موجب آسیب‌های جبران‌ناپذیری به جانوران، نباتات و تعادل اکولوژیک منطقه شده است.

مواد و روش بررسی

این تحقیق یک مطالعه مقطعی مبتنی بر پرسش‌نامه (پیمایش مقطعی) با رویکرد تحلیلی-کمی و روش میدانی است که با هدف بررسی آگاهی، نگرش و رفتار مردم هرات نسبت به میکروپلاستیک‌های ناشی از تجزیه پلی‌اتیلین و پلی‌پروپیلین و تأثیرات آن‌ها بر سلامت عمومی انجام شد. جمع‌آوری داده‌ها طی دوره‌ای مشخص از ماه میزان تا ماه قوس سال ۱۴۰۴ صورت گرفت و میدان کاری تحقیق در پوهنتون هرات، چند پوهنتون خصوصی شهر هرات، مکاتب منتخب شهر هرات و همچنین در میان خانواده‌های وابسته به این مراکز آموزشی انجام شد.

جامعه آماری مطالعه شامل اساتید، محصلان و کارمندان پوهنتون‌های دولتی و خصوصی، معلمان مکاتب شهر هرات و اعضای خانواده‌های آنان بود. حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران محاسبه و تعداد ۴۴۰ نفر به‌عنوان نمونه نهایی انتخاب گردید. در محاسبه حجم نمونه، سطح اطمینان ۹۵٪، مقدار احتمال بروز پدیده (p) برابر با ۰٫۵، به‌منظور بیشینه‌سازی حجم نمونه، میزان خطای مجاز (d) برابر با ۰٫۰۵، و جامعه آماری تقریبی (N) بر اساس جمعیت هدف در نظر گرفته شد. نمونه‌گیری به روش تصادفی ساده انجام شد تا داده‌های به‌دست‌آمده نمایندگی مناسبی از جامعه مورد مطالعه داشته باشند.

معیارهای شمول شامل داشتن حداقل سن ۱۸ سال، سکونت در شهر هرات، ارتباط با جامعه دانشگاهی یا آموزشی (اساتید، محصلان، معلمان، کارمندان یا اعضای خانواده‌های آنان) و رضایت آگاهانه برای مشارکت در تحقیق بود. معیارهای حذف نیز شامل عدم تمایل به ادامه همکاری در هر مرحله از مطالعه و تکمیل ناقص پرسش‌نامه در نظر گرفته شد.

ابزار اصلی گردآوری داده‌ها پرسش‌نامه‌ای ساختاریافته مبتنی بر مقیاس پنج‌درجه‌ای لیکرت بود که چهار محور اصلی آگاهی نسبت به میکروپلاستیک‌ها، نگرانی درباره تأثیرات آن‌ها بر سلامت،

رفتارها و اقدامات پیشگیرانه، و نگرش نسبت به سیاست‌ها و اقدامات صحی را پوشش می‌داد. پرسش‌نامه به صورت تلفیقی از مرور منابع معتبر پیشین و ابزار محقق ساخته تدوین شد. روایی محتوای آن با نظر پنج تن از اعضای هیأت علمی رشته‌های طبی، زراعت، بیولوژی و کیمیا بررسی و اصلاحات لازم بر اساس پیشنهادهای آنان اعمال گردید. پایایی ابزار با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ محاسبه شد که مقدار ۰.۸۲۲ به دست آمد و نشان‌دهنده پایایی مناسب پرسش‌نامه است. با توجه به ماهیت پیمایشی مطالعه، برخی سوگیری‌های بالقوه مدنظر قرار گرفت؛ از جمله سوگیری انتخاب ناشی از تمرکز بر جامعه دانشگاهی و خانواده‌های آنان که ممکن است نماینده کامل کل جمعیت شهر هرات نباشند، و سوگیری پاسخ‌دهی به دلیل تمایل شرکت‌کنندگان به ارائه پاسخ‌های اجتماعی پسندیده. برای کاهش این سوگیری‌ها، پرسش‌نامه‌ها به صورت ناشناس تکمیل شدند و به شرکت‌کنندگان اطمینان داده شد که اطلاعات صرفاً برای اهداف تحقیقی استفاده خواهد شد، هرچند تأثیر احتمالی این سوگیری‌ها باید در تفسیر نتایج مدنظر قرار گیرد. پس از گردآوری داده‌ها، اطلاعات به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ تحلیل شد. برای تحلیل داده‌ها از آزمون t تک‌نمونه‌ای جهت مقایسه میانگین‌ها و از رگرسیون خطی چندگانه برای بررسی عوامل مؤثر بر رفتارهای مرتبط با مصرف پلاستیک استفاده گردید و سطح معناداری آماری کمتر از ۰.۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

یافته‌ها حاصل از پرسش‌نامه‌ها با طیف لیکرت به صورت منظم ارائه شده‌اند. آمار توصیفی و تحلیل‌های مرتبط با تحقیق با استفاده از جداول و نمودارها نمایش داده شده است تا پایه‌ای برای بخش بحث و مناقشه فراهم گردد. در شکل (۱)، نمودار جریان شرکت‌کنندگان (Flow Diagram) مطابق دستورالعمل STROBE ارائه شده است. این نمودار مسیر افراد از مرحله واجد شرایط بودن (۴۴۰ نفر) تا ورود به تحلیل نهایی را به وضوح نشان می‌دهد و شفافیت لازم برای ارزیابی سوگیری انتخاب را فراهم می‌کند.

از نظر کامل بودن داده‌ها، تمامی ۴۴۰ پرسش‌نامه جمع‌آوری شده به طور کامل تکمیل شده بودند و هیچ داده گمشده‌ای (Missing Data) در متغیرهای مورد بررسی مشاهده نشد. بنابراین، تمامی شرکت‌کنندگان وارد تحلیل نهایی شدند و نیازی به حذف موردی یا جایگزینی داده‌ها وجود نداشت.

افراد ارزیابی شده از نظر واجد شرایط بودن (n = 600)



افراد انتخاب شده با روش نمونه‌گیری تصادفی (n = 460)



افراد شرکت کننده و تکمیل کننده پرسشنامه (n = 440)



پرسشنامه‌های ناقص / انصراف از مطالعه (n = 0)



افراد وارد شده در تحلیل نهایی (n = 440)

شکل ۱: نمودار جریان شرکت‌کنندگان

آمار توصیفی به دست آمده از شرکت‌کننده‌های این تحقیق در جدول (۱) نمایش داده شده است.

جدول ۱: مربوط به اطلاعات آمار توصیفی شرکت‌کننده‌ها

دسته‌بندی	تعداد	انحراف معیار	چولگی‌ها و کشیدگی‌ها				
			واریانس	خطای انحراف معیار	آماری	آماری	
تحصیلات	۴۴۰	۲,۳۴	۰,۵۷۳	۰,۳۲۹	۰,۶۳۹	۰,۱۱۶	۰,۷۶۴
سن	۴۴۰	۱,۰۶	۰,۲۶۰	۰,۰۶۷	۵,۷۴۱	۰,۱۱۶	۴۴,۰۰۴
حالت مدنی	۴۴۰	۱,۸۴	۰,۳۶۶	۰,۱۳۴	۱,۸۷۰	۰,۱۱۶	۱,۵۰۶
شغل	۴۴۰	۱,۵۲	۰,۸۶۷	۰,۷۵۱	۱,۱۰۳	۰,۱۱۶	-۰,۷۵۵
جنسیت	۴۴۰	۱,۰۲	۰,۱۳۴	۰,۰۱۸	۷,۲۳۷	۰,۱۱۶	۵۰,۶۰۵
درآمد	۴۴۰	۱,۳۰	۰,۵۳۷	۰,۲۸۹	۱,۵۹۰	۰,۱۱۶	۱,۶۱۳
رشته تحصیلی	۴۴۰	۲,۷۵	۰,۷۲۴	۰,۵۲۴	۰,۰۵۷	۰,۱۱۶	-۰,۳۵۱
میزان آشنایی با تحقیق	۴۴۰	۲,۴۵	۰,۹۸۶	۰,۹۷۳	۰,۲۳۴	۰,۱۱۶	-۰,۲۲۲
مجموع داده‌ها	۴۴۰						

جدول (۱) آمار توصیفی مربوط به ۸ متغیر جمعیت‌شناختی نشان می‌دهد که نمونه مورد بررسی شامل ۴۴۰ نفر بوده و ویژگی‌های جمعیتی آنها الگوی نسبتاً مشخص و متمرکزی دارد. اوسط سطح تحصیلات (۲,۳۴) بیانگر آن است که پاسخ‌دهندگان عمدتاً در حد متوسط تحصیلی قرار دارند و پراکندگی پایین این متغیر (۰,۵۷) نشان می‌دهد که اکثریت در یک طیف محدود از سطوح تحصیلی

متمركز بوده‌اند. اوسط سن نیز مقدار بسیار پایینی (۱,۰۶) دارد که با توجه به کدگذاری متغیر، حاکی از جوان بودن بخش عمده نمونه است. با این حال، مقدار بسیار بالای چولگی (۵,۷۴۱) و کشیدگی (۴۴,۰۰۴) نشان می‌دهد که توزیع سنی کاملاً نامتقارن و غیرنرمال است. متغیر حالت مدنی نیز الگوی مشابهی دارد و با اوسط ۱,۸۴ و گستره محدود، نشان می‌دهد که بیشتر پاسخ‌دهندگان در یک وضعیت خاص - احتمالاً شهرنشینی - قرار داشته‌اند. متغیر شغل میزان پراکندگی بیشتری نسبت به سایر متغیرهای جمعیت شناختی دارد و اگرچه اوسط آن پایین است (۱,۵۲)، اما انحراف معیار نسبتاً بالا (۰,۸۶۷) گویای تنوع شغلی بیشتر در بین پاسخ‌دهندگان است. توزیع جنسیت یکی از نامتوازن‌ترین متغیرهاست؛ اوسط ۱,۰۲ و انحراف معیار بسیار کوچک (۰,۱۳۴) بیانگر آن است که تقریباً همه پاسخ‌دهندگان متعلق به یک جنسیت هستند. چولگی ۷,۲۳۷ و کشیدگی ۵۰,۶۰۵ نشان‌دهنده غیرنرمال بودن شدید این متغیر و وجود تمرکز تقریباً کامل در یک گروه جنسیتی است. درآمد با میانگین ۱,۳۰ در سطح پایین‌تری قرار دارد و مانند سایر متغیرها دامنه محدودی دارد؛ این امر نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از نمونه از نظر درآمدی در رده‌های پایین‌تر قرار دارد. رشته تحصیلی با اوسط ۲,۷۵ و انحراف معیار ۰,۷۲۴ تنوع بیشتری نسبت به اکثر متغیرهای جمعیت شناختی نشان می‌دهد. همچنین، میزان آشنایی با تحقیق اوسط نسبتاً متوسطی دارد (۲,۴۵) و با توجه به انحراف معیار نسبتاً بالا (۰,۹۸۶)، پراکندگی قابل توجهی در میزان تجربه یا آگاهی تحقیقی میان شرکت‌کنندگان مشاهده می‌شود. به‌طور کلی، تحلیل شاخص‌های چولگی و کشیدگی نشان می‌دهد که دو متغیر سن و جنسیت به‌طور مشخص از نرمال بودن فاصله دارند و در تحلیل‌های استنباطی بعدی باید به عنوان متغیرهای طبقه‌ای یا با استفاده از روش‌های مقاوم (مانند بوت‌استرپ) در مدل‌ها گنجانده شوند. این نتایج می‌تواند در بخش روش‌شناسی ذکر شود و بیان کند که ترکیب نمونه عمدتاً جوان، با تحصیلات متوسط، درآمد پایین و توزیع نامتوازن جنسیتی است. چنین توصیفی علاوه بر ارائه تصویری دقیق از ویژگی‌های نمونه، بستر مناسبی برای تفسیر نتایج تحلیلی در مراحل بعدی تحقیق فراهم می‌کند.

در جدول (۲) نیز مشخصات مربوط به سطح تحصیلات افراد شرکت‌کننده در تحقیق نشان داده

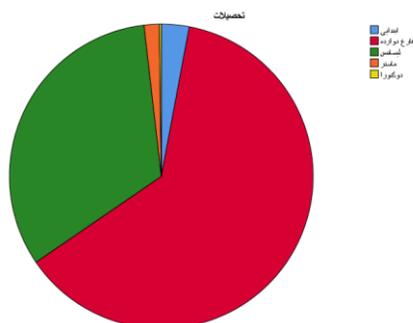
شده است.

جدول ۲: مربوط به سطح تحصیلات افراد شرکت‌کننده در تحقیق

دسته‌بندی	کثرت	درصد	کثرت تجمعی
ابتدایی	۱۳	۳	۱۳
دیپلم	۲۷۵	۶۲,۵	۲۸۸
لیسانس	۱۴۴	۳۲,۷	۴۳۲
ماستر	۷	۱,۶	۴۳۹
دوکتورا	۱	۰,۲	۴۴۰
مجموع	۴۴۰	۱۰۰	۴۴۰

توزیع تحصیلات در میان پاسخ‌دهندگان، در جدول (۲) نمایش داده شده است. که بخش عمده‌ای از نمونه دارای تحصیلات متوسطه است. براساس داده‌های جدول، ۶۲,۵ درصد افراد در سطح «فارغ‌التحصیل دوازده» قرار دارند که این گروه بزرگ‌ترین سهم را در میان سطوح تحصیلی تشکیل می‌دهد. این موضوع بیانگر آن است که جامعه مورد مطالعه بیشتر از افرادی تشکیل شده که تحصیلات آنان در حد متوسطه تکمیل شده و احتمالاً در مرحله ورود به پوهنتون یا بازار کار قرار دارند. در مقابل، مقدار کمی از افراد دارای تحصیلات پایین، یعنی ابتدایی هستند و تنها ۳ درصد از نمونه را تشکیل می‌دهند. این موضوع نشان می‌دهد که کمبود افراد با تحصیلات بسیار پایین در این جامعه وجود دارد و سطح سواد عمومی در حد قابل قبول است. سهم کم این گروه می‌تواند بر نوع تحلیل‌های اجتماعی یا رفتاری تأثیر بگذارد و نشان دهد که جامعه نسبتاً باسواد و آموزش‌دیده است. بخش قابل توجهی از پاسخ‌دهندگان نیز دارای تحصیلات پوهنتونی‌اند، به‌گونه‌ای که ۳۲,۷ درصد لیسانس و مجموعاً حدود ۳۴,۵ درصد تحصیلات عالی (لیسانس، ماستر و دوکتورا) دارند. این ترکیب نشان می‌دهد که یک سوم جامعه مورد مطالعه از تحصیلات پوهنتونی بهره‌مند است، که می‌تواند نشان‌دهنده دسترسی بهتر به فرصت‌های آموزشی و تمایل بیشتر به ادامه تحصیل باشد. در نهایت، سهم بسیار اندک افراد دارای تحصیلات تکمیلی ۱,۶ درصد ماستر و ۰,۲ درصد دوکتورا نشان می‌دهد که گرایش به ادامه تحصیل در سطوح بسیار بالا در این جامعه محدود است. این وضعیت ممکن است به دلایل مختلفی مانند هزینه‌های تحصیل، فرصت‌های شغلی یا محدودیت‌های ساختاری آموزشی مرتبط باشد. به طور کلی، الگوی تحصیلی جامعه ترکیبی از اکثریت با تحصیلات متوسطه و اقلیتی با تحصیلات عالی را نشان می‌دهد.

شکل (۲) جزئیات بیشتر سطح تحصیلات افراد شرکت کننده در تحقیق را نمایش می دهد.



شکل (۲) سطح تحصیل افراد شرکت کننده در تحقیق را نمایش می دهد

جدول (۳) سن افراد شرکت کننده در تحقیق را نمایش می دهد.

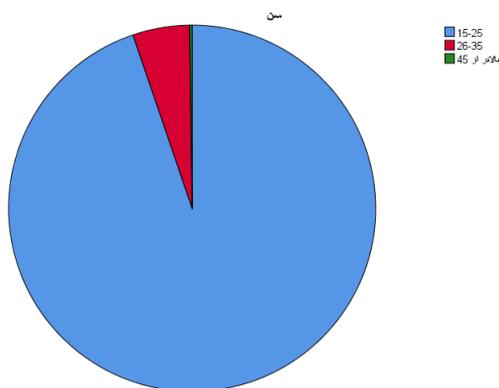
جدول (۳) سن افراد شرکت کننده در تحقیق.

دسته بندی	کثرت	درصد	درصد نسبی	کثرت تجمعی
۱۵ - ۲۵	۴۱۷	۹۴٫۸	۹۴٫۸	۴۱۷
۲۶ - ۳۵	۲۲	۵	۵	۴۳۹
بالتر از ۴۵	۱	۰٫۲	۰٫۲	۴۴۰
مجموع	۴۴۰	۱۰۰	۱۰۰	۴۴۰

در توزیع سنی ارائه شده، بخش بسیار بزرگی از پاسخ دهندگان در گروه سنی ۱۵ تا ۲۵ سال قرار دارند. این گروه با ۹۴٫۸ درصد، به وضوح بیشترین سهم را تشکیل می دهد و نشان می دهد که جامعه مورد مطالعه عمدتاً جوان است. چنین ترکیبی از نظر تحلیلی اهمیت دارد، زیرا رفتار، نگرش و نیازهای این گروه سنی ممکن است با سایر گروه ها تفاوت قابل توجهی داشته باشد و بر نتایج تحقیق تأثیرگذار باشد. در گروه سنی ۲۶ تا ۳۵ سال، تنها ۵ درصد از جمعیت نمونه حضور دارند. این درصد پایین نشان می دهد که افراد میان سال سهم اندکی در این تحقیق داشته اند و ممکن است تحلیل ها بیشتر بازتاب دهنده دیدگاه جوانان باشد. از سوی دیگر، تنوع سنی در نمونه محدود است و این امر می تواند تعمیم پذیری نتایج به گروه های سنی بالاتر را کاهش دهد. گروه سنی بالاتر از ۴۵ سال تنها ۰٫۲ درصد نمونه را تشکیل می دهد، که نشان دهنده مشارکت بسیار ناچیز یا علاقه کم تر افراد مسن

در این مطالعه را بازتاب می‌دهد. این امر می‌تواند به نحوه جمع‌آوری داده‌ها، دسترسی محدود بزرگسالان به ابزارهای مورد استفاده در تحقیق، یا کم‌علاقه‌گی افراد مسن به شرکت در تحقیق مرتبط باشد. در مجموع، الگوی سنی این جامعه نشان می‌دهد که نمونه تقریباً به‌طور کامل از افراد جوان تشکیل شده است. این ویژگی باید در تحلیل‌های بعدی مورد توجه قرار گیرد، زیرا می‌تواند جهت‌گیری نتایج را به سمت ویژگی‌های رفتاری و نگرشی نسل جوان سوق دهد و تحلیل‌ها را عمدتاً حول این گروه سنی متمرکز کند.

شکل (۳) توزیع مشخص‌تر از سن افراد شرکت‌کننده در تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل (۳) سن افراد شرکت‌کننده در تحقیق را نشان می‌دهد

جدول (۴) آزمون توزیع استیودنت را نشان می‌دهد.

متغیرها	اوسط (t)	سطح معناداری
آشنایی با مفهوم و منشأ میکروپلاستیک‌ها	۳,۱۳	۰,۰۰۰
آگاهی از اینکه پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن منبع میکروپلاستیک‌اند	۳,۴۰	۰,۰۰۰
آگاهی از اثرات میکروپلاستیک‌ها بر سلامت انسان	۳,۲۰	۰,۰۰۰
رسانه‌ها آگاهی لازم را ارائه می‌دهند	۳,۱۴	۰,۰۰۰
نگرانی از تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر سلامت عمومی	۳,۶۹	۰,۰۰۰
نگرانی از غذاهای بسته‌بندی‌شده پلاستیکی	۳,۶۸	۰,۰۰۰
میکروپلاستیک‌ها باعث بیماری‌های مزمن می‌شوند	۳,۸۶	۰,۰۰۰
تماس طولانی با پلاستیک بر باروری/ایمنی مؤثر است	۳,۸۰	۰,۰۰۰
اجتناب از ظروف پلاستیکی	۳,۶۱	۰,۰۰۰
ترجیح ظروف شیشه‌ای/فلزی	۳,۹۶	۰,۰۰۰
آگاهی از خطرات استفاده مجدد بطری پلاستیکی	۳,۶۴	۰,۰۰۰
اثر آموزش‌های محیط‌زیستی	۳,۹۶	۰,۰۰۰
ضرورت محدودیت دولتی در صنایع غذایی	۳,۷۳	۰,۰۰۰

تأثیر سیاست گذاری بر سلامت عمومی	۳,۸۲	۰,۰۰۰
ضرورت آزمایش‌های دقیق تر درباره اثرات میکروپلاستیک	۳,۸۶	۰,۰۰۰
گسترش تحقیق درباره جایگزین‌های بی خطر	۳,۹۶	۰,۰۰۰

نتایج جدول نشان می‌دهد که اوسط پاسخ‌ها برای تمامی متغیرها بالاتر از حد متوسط مقیاس (۳) بوده و سطح معناداری همه آن‌ها $0.001 < p$ است؛ بنابراین دیدگاه‌ها و نگرش‌های پاسخ‌دهندگان از نظر آماری معنادار ارزیابی می‌شود. در بُعد آگاهی، اوسط آشنایی با مفهوم و منشأ میکروپلاستیک‌ها ۳,۱۳، آگاهی از پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن به‌عنوان منبع میکروپلاستیک‌ها ۳,۴۰ و آگاهی از اثرات آن‌ها بر سلامت انسان ۳,۲۰ گزارش شده که بیانگر سطح آگاهی متوسط رو به بالا است. همچنین ارزیابی نقش رسانه‌ها با اوسط ۳,۱۴ نشان می‌دهد که عملکرد رسانه‌ها در افزایش آگاهی، از دید پاسخ‌دهندگان در حد متوسط بوده است. در مقابل، شاخص‌های مربوط به نگرانی و ادراک خطر مقادیر بالاتری دارند؛ به طوری که اوسط نگرانی از تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر سلامت عمومی ۳,۶۹، نگرانی از غذاهای بسته‌بندی شده پلاستیکی ۳,۶۸، باور به نقش میکروپلاستیک‌ها در بروز بیماری‌های مزمن ۳,۸۶ و تأثیر تماس طولانی با پلاستیک بر باروری و ایمنی بدن ۳,۸۰ است. این ارقام نشان می‌دهد که سطح نگرانی پاسخ‌دهندگان به‌طور معناداری بالا و بیش از سطح آگاهی نظری است. از نظر رفتار و ترجیحات فردی، اوسط اجتناب از ظروف پلاستیکی ۳,۶۱، آگاهی از خطرات استفاده مجدد از بطری‌های پلاستیکی ۳,۶۴ و ترجیح استفاده از ظروف شیشه‌ای یا فلزی ۳,۹۶ گزارش شده که بیانگر گرایش رفتاری قوی به کاهش مصرف پلاستیک است. در نهایت، متغیرهای مرتبط با سیاست‌گذاری، آموزش و تحقیق بالاترین اوسط‌ها را به خود اختصاص داده‌اند؛ به گونه‌ای که اثر آموزش‌های محیط‌زیستی، گسترش تحقیق درباره جایگزین‌های بی‌خطر و ترجیح ظروف غیرپلاستیکی همگی اوسط ۳,۹۶ دارند، در حالی که ضرورت محدودیت دولتی ۳,۷۳، تأثیر سیاست‌گذاری بر سلامت عمومی ۳,۸۲ و ضرورت انجام آزمایش‌های دقیق تر ۳,۸۶ است. این نتایج به‌طور کلی نشان می‌دهد که اگرچه آگاهی نظری در حد متوسط است، اما نگرانی، آمادگی رفتاری و حمایت از سیاست‌ها و تحقیقات کنترلی در سطح بالایی قرار دارد.

جدول ۵: مربوط به ضرایب متغیرهای تحقیق

معناداری	بتا	متغیر
۰,۰۴۷	-۰,۱۱۹	نگرانی از تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر سلامت عمومی
۰,۰۳۷	۰,۱۲۵	ورود میکروپلاستیک‌ها باعث بیماری‌های مزمن می‌شود
۰,۰۰۶	-۰,۱۵۰	آگاهی از خطرات استفاده مجدد بطری‌های پلاستیکی
۰,۰۰۴	۰,۱۶۸	ضرورت محدودیت دولتی در استفاده از پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن
۰,۰۱۸	۰,۱۴۰	نقش آموزش‌های محیط‌زیستی در کاهش مصرف پلاستیک

نتایج جدول رگرسیون نشان می‌دهد که همه متغیرهای وارد شده به مدل، اثر معنادار آماری بر متغیر وابسته داشته‌اند؛ به طوری که سطح معناداری همه ضرایب کمتر از ۰,۰۵ است. نگرانی از تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر سلامت عمومی با ضریب بتای منفی ۰,۱۱۹ و مقدار معناداری ۰,۰۴۷ نشان می‌دهد که با افزایش نگرانی، تغییر معناداری در متغیر وابسته رخ می‌دهد و این اثر از نظر آماری در سطح ۹۵ درصد قابل قبول است. متغیر «ورود میکروپلاستیک‌ها باعث بیماری‌های مزمن می‌شود» دارای بتای ۰,۱۲۵ و سطح معناداری ۰,۰۳۷ است که بیانگر اثر مستقیم و مثبت این باور بر متغیر وابسته می‌باشد. همچنین آگاهی از خطرات استفاده مجدد بطری‌های پلاستیکی با ضریب بتای منفی ۰,۱۵۰ و سطح معناداری ۰,۰۰۶، یکی از متغیرهای نسبتاً قوی‌تر مدل محسوب می‌شود و نشان می‌دهد افزایش آگاهی در این زمینه، اثر معنادار و قابل‌توجهی بر متغیر وابسته دارد. در بعد سیاست‌گذاری، ضرورت محدودیت دولتی در استفاده از پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن با بالاترین ضریب بتا (۰,۱۶۸) و سطح معناداری ۰,۰۰۴ بیشترین نقش تبیینی را در مدل ایفاء می‌کند که اهمیت بالای مداخلات حاکمیتی را نشان می‌دهد. در نهایت، نقش آموزش‌های محیط‌زیستی در کاهش مصرف پلاستیک با بتای ۰,۱۴۰ و سطح معناداری ۰,۰۱۸ نیز اثر مثبت و معناداری دارد. به طور کلی، مقادیر بتا در محدوده ۰,۱۱۹ تا ۰,۱۶۸ قرار دارند که حاکی از اثرگذاری متوسط اما معنادار نگرانی‌ها، آگاهی، آموزش و سیاست‌گذاری در تبیین رفتارها و نگرش‌های مرتبط با میکروپلاستیک‌ها است.

مناقشه

در مطالعات متعدد مرتبط با تجزیه زیستی پلی‌اتیلن، شناسایی ترکیبات متنوعی به‌عنوان محصولات جانبی گزارش شده است. این ترکیبات شامل برخی اسیدهای چرب با زنجیر بلند، مشتقات استری و همچنین ترکیبات عضوی پیچیده‌تر بوده‌اند. از جمله، حضور اسید استئاریک (Stearic acid) و برخی استرهای عضوی در محصولات حاصل از تجزیه زیستی پلی‌اتیلن گزارش شده است^[۱۱]. در جریان زیست‌پالایی پلی‌اتیلن توسط دو سویه باکتریایی، تحلیل GC-MS نشان‌دهنده شناسایی

ترکیبات مختلفی از جمله هگزادکانوئیک اسید^۱ و دای بیوتایل فتالات^۲ در محصولات تجزیه بوده است^[۱۰]. نتایج نشان می دهد که محصولات حاصل از تجزیه پلی اتیلن توسط این باکتری ها فاقد اثرات سمی بر نبات بوده و از سازگاری محیط زیستی بالایی برخوردارند^[۱۲-۱۵].

یافته های این تحقیق نشان می دهد که مسئله میکروپلاستیک ها، به ویژه آن هایی که از تجزیه پلی اتیلن و پلی پروپیلن ناشی می شوند، از منظر محیط زیستی و سلامت عمومی، به نگرانی جدی در جامعه مورد مطالعه تبدیل شده است. نتایج آمار توصیفی بیانگر آن است که نمونه تحقیق عمدتاً شامل افراد جوان با سطح تحصیلات متوسط و پوهنتونی است. این ترکیب جمعیتی می تواند سطح نسبتاً بالای آگاهی و حساسیت نسبت به خطرات میکروپلاستیک ها را توضیح دهد؛ چراکه افراد جوان و تحصیل کرده معمولاً دسترسی بیشتری به منابع اطلاعاتی و آموزشی دارند و نسبت به مسائل نوظهور محیط زیستی تعامل فعال تری نشان می دهند.

بر اساس نتایج آزمون توزیع استیودنت تک نمونه ای، اوسط تمامی گویه های مرتبط با آگاهی، نگرش و رفتار بالاتر از حد متوسط بوده و از نظر آماری معنادار است. این یافته ها نشان می دهد که پاسخ دهندگان نه تنها با مفهوم و منشأ میکروپلاستیک ها آشنا هستند، بلکه پیامدهای بالقوه آن بر سلامت انسان، از جمله بروز بیماری های مزمن، اختلالات سیستم ایمنی و مشکلات باروری را نیز جدی تلقی می کنند. سطح بالای نگرانی نسبت به مصرف مواد غذایی بسته بندی شده در پلاستیک و استفاده مجدد از بطری های پلاستیکی، نشان دهنده تمایل به تغییر رفتار و پذیرش جایگزین های ایمن تر است. نتایج تحلیل رگرسیون نیز نشان داد که متغیرهای آگاهی، نگرانی و سیاست گذاری نقش معناداری در تبیین رفتارهای مرتبط با مصرف پلاستیک دارند.

با وجود این، مطالعه حاضر محدودیت های روش شناختی مهمی دارد که باید مدنظر قرار گیرد:

۱. **ماهیت مقطعی مطالعه:** به دلیل طراحی مقطعی مبتنی بر پرسشنامه، امکان استنباط علیت بین آگاهی، نگرانی، سیاست گذاری و رفتارها وجود ندارد.
۲. **زمان و مکان جمع آوری داده ها:** داده ها از ماه میزان تا ماه قوس ۱۴۰۴ جمع آوری شدند و نمونه گیری در پوهنتون های دولتی و خصوصی و برخی مکاتب هرات صورت گرفت. محدودیت در بازه زمانی و مکان ممکن است بر تعمیم نتایج تأثیرگذار باشد.
۳. **ترکیب جمعیتی نمونه:** نمونه عمدتاً جوان، با تحصیلات متوسط و توزیع نامتوازن جنسیتی بود، بنابراین نتایج ممکن است به کل جمعیت هرات تعمیم داده نشود.

¹ - Hexadecanoic acid

² - Dibutyl Phthalate (C₁₆H₂₂O₄)

۴. **سوگیری‌های بالقوه:** سوگیری انتخاب (تمرکز صرف بر جامعه دانشگاهی و خانواده‌های آنان)، سوگیری پاسخ‌دهی (تمایل به ارائه پاسخ‌های اجتماعی پسندیده) و سوگیری یادآوری می‌تواند بر دقت گزارش‌های خوداظهاری اثر گذاشته باشد.

با توجه به محدودیت‌ها، نتایج این مطالعه باید با احتیاط تفسیر شوند. تحقیقات آینده می‌تواند با نمونه‌گیری متنوع‌تر، جمع‌آوری داده‌های چندزمانه و اندازه‌گیری‌های لابراتواری از مواجهه واقعی با میکروپلاستیک‌ها، تصویر جامع‌تری از ابعاد محیط‌زیستی و سلامت‌محور این مسئله ارائه دهد. به‌طور کلی، یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که میکروپلاستیک‌ها در هرات نه تنها یک چالش محیط‌زیستی، بلکه یک دغدغه جدی سلامت عمومی هستند و سطح بالای آگاهی و نگرانی اجتماعی ظرفیت مناسبی برای اجرای سیاست‌های محدودکننده، توسعه آموزش‌های محیط‌زیستی و حمایت از تحقیقات مرتبط با جایگزین‌های ایمن پلاستیک فراهم می‌کند.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که میکروپلاستیک‌های ناشی از تجزیه پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن در ولایت هرات، فراتر از یک معضل صرفاً محیط‌زیستی، به مسئله‌ای چندبعدی با پیامدهای بالقوه برای سلامت عمومی تبدیل شده‌اند. نتایج حاصل از تحلیل داده‌های پیمایشی بیانگر آن است که جامعه مورد مطالعه که عمدتاً متشکل از افراد جوان با سطح تحصیلات متوسط و پوهنتونی است از سطح قابل توجهی از آگاهی نسبت به منشأ، پایداری و خطرات احتمالی میکروپلاستیک‌ها برخوردار بوده و نگرانی بالایی نسبت به اثرات آن‌ها بر سلامت انسان، به‌ویژه بروز مرضی‌های مزمن، اختلالات سیستم ایمنی و مشکلات باروری، ابراز می‌کند. نتایج آزمون‌های آماری نشان داد که اوسط تمامی گویه‌های مرتبط با آگاهی، نگرش و رفتار بالاتر از حد متوسط بوده و از نظر آماری معنادار است؛ امری که حاکی از حساسیت اجتماعی و آمادگی رفتاری برای کاهش مصرف پلاستیک و پذیرش جایگزین‌های ایمن‌تر، نظیر ظروف شیشه‌ای و فلزی، می‌باشد. همچنین، تحلیل رگرسیون چندگانه نشان داد که متغیرهای آگاهی فردی، نگرانی‌های سلامت‌محور و عوامل مرتبط با سیاست‌گذاری و آموزش‌های محیط‌زیستی، همگی نقش معناداری در تبیین رفتارها و نگرش‌های مرتبط با مصرف پلاستیک ایفا می‌کنند. به‌ویژه، باور به ضرورت مداخلات دولتی و اثربخشی آموزش‌های محیط‌زیستی از قوی‌ترین عوامل تأثیرگذار بر متغیر وابسته بودند که اهمیت اقدامات ساختاری و قانونی را در کنار آگاهی‌بخشی فردی برجسته می‌سازد. از منظر علمی، تلفیق نتایج اجتماعی-سلامت‌محور این تحقیق با یافته‌های لابراتواری پیشین نشان می‌دهد که اگرچه برخی مطالعات زیست‌پالایی، کاهش سمیت پلیمرهایی مانند پلی‌اتیلن و PET را گزارش کرده‌اند، اما در

سطح جامعه همچنان نگرانی قابل توجهی نسبت به پیامدهای بلندمدت میکروپلاستیک‌ها وجود دارد. این ناهمخوانی میان شواهد لابراتواری و ادراک عمومی، ضرورت انجام ارزیابی‌های جامع ریسک، تحقیقات میان‌رشته‌ای و انتقال شفاف یافته‌های علمی به جامعه را دوچندان می‌کند. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که مسئله میکروپلاستیک‌ها در ولایت هرات به‌عنوان یک چالش جدی سلامت عمومی و محیط‌زیستی مطرح است و برخورد با آن نیازمند رویکردی چندسطحی شامل توسعه آموزش‌های محیط‌زیستی، اعمال سیاست‌ها و محدودیت‌های قانونی مؤثر، حمایت از تحقیقات مرتبط با جایگزین‌های ایمن پلاستیک و گسترش مطالعات لابراتواری برای سنجش میزان مواجهه واقعی انسان با میکروپلاستیک‌ها می‌باشد. با وجود این، محدودیت‌هایی نظیر ترکیب جمعیتی جوان و توزیع نامتوازن جنسیتی نمونه ایجاب می‌کند که تعمیم نتایج با احتیاط صورت گیرد و در تحقیقات آینده، گروه‌های سنی و اجتماعی متنوع‌تری مورد بررسی قرار گیرند تا تصویر جامع‌تر و دقیق‌تری از ابعاد این معضل ارائه شود.

پیشنهادها

با توجه به یافته‌های این تحقیق و با در نظر گرفتن ابعاد محیط‌زیستی، صحتی و اجتماعی مسئله میکروپلاستیک‌ها، پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

۱. گسترش آموزش‌های محیط‌زیستی و سلامت‌محور

پیشنهاد می‌شود برنامه‌های آموزشی هدفمند درباره خطرات میکروپلاستیک‌ها و شیوه‌های کاهش مواجهه با آن‌ها در مکاتب، پوهنتون‌ها و مراکز اجتماعی اجرا گردد. تمرکز این آموزش‌ها باید بر پیامدهای بلندمدت سلامت، به‌ویژه مریضی‌های مزمن، اختلالات هورمونی و ایمنی، و همچنین بر تغییر رفتارهای روزمره مانند اجتناب از استفاده مجدد بطری‌های پلاستیکی باشد.

۲. تقویت نقش رسانه‌ها در آگاهی‌بخشی عمومی

رسانه‌های دیداری، شنیداری، نوشتاری، شبکه‌های اجتماعی و فضای مجازی می‌توانند نقش مؤثری در افزایش آگاهی عمومی ایفا کنند. پیشنهاد می‌شود محتوای علمی ساده‌سازی شده و مبتنی بر شواهد درباره منابع میکروپلاستیک‌ها، مسیرهای ورود آن‌ها به بدن انسان و راه‌کارهای کاهش مصرف پلاستیک تولید و منتشر شود.

۳. اعمال سیاست‌ها و محدودیت‌های قانونی در صنایع غذایی و بسته‌بندی

با توجه به حمایت بالای پاسخ‌دهندگان از مداخلات دولتی، پیشنهاد می‌شود مقررات سخت‌گیرانه‌تری در خصوص استفاده از پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن در بسته‌بندی مواد غذایی وضع گردد و نظارت بر میزان مهاجرت ذرات از بسته‌بندی‌های پلاستیکی به مواد غذایی افزایش یابد.

۴. ترویج و حمایت از جایگزین‌های ایمن پلاستیک

توسعه و استفاده از ظروف شیشه‌ای، فلزی، پاکت‌های کاغذی و مواد زیست‌تخریب‌پذیر به‌عنوان جایگزین‌های پلاستیک باید مورد حمایت دولت و بخش خصوصی قرار گیرد. ارائه مشوق‌های اقتصادی برای تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان این محصولات می‌تواند به کاهش مصرف پلاستیک کمک نماید.

۵. مدیریت بهینه زباله‌های پلاستیکی

پیشنهاد می‌شود سیستم‌های جمع‌آوری، تفکیک و بازیافت زباله‌های پلاستیکی به‌ویژه در مناطق شهری و ولایت هرات تقویت گردد. کاهش رهاسازی زباله‌های پلاستیکی در محیط، نقش مهمی در پیشگیری از تولید و انتشار میکروپلاستیک‌ها و میکروارگانیسم‌ها در سطح شهر هرات دارد.

۶. حمایت از تحقیقات میان‌رشته‌ای

انجام مطالعات مشترک در حوزه‌های کیمیا، محیط‌زیست، علوم صحتی و علوم اجتماعی برای بررسی هم‌زمان ابعاد زیستی، صحتی و رفتاری میکروپلاستیک‌ها ضروری است. چنین تحقیقاتی می‌تواند مبنای علمی قوی‌تری برای سیاست‌گذاری فراهم آورد.

۷. انجام مطالعات لابرآتواری تکمیلی

پیشنهاد می‌شود در کنار تحقیقات پیمایشی، سنجش‌های لابرآتواری مستقیم از میزان حضور میکروپلاستیک‌ها در آب آشامیدنی، مواد غذایی و حتی نمونه‌های زیستی انسان انجام شود تا میزان واقعی مواجهه و خطرات آن به‌طور دقیق‌تر مشخص گردد.

۸. توجه به گروه‌های جمعیتی متنوع در تحقیقات آینده

با توجه به جوان بودن نمونه این تحقیق، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده گروه‌های سنی بالاتر، زنان، اقشار کم‌سواد و ساکنان مناطق روستایی نیز به‌طور متوازن مورد بررسی قرار گیرند تا تعمیم‌پذیری نتایج افزایش یابد.

۹. ارتباط مؤثر میان محققان و سیاست‌گذاران

ایجاد سازوکارهایی برای انتقال نتایج علمی به نهادهای تصمیم‌گیر و سیاست‌گذار می‌تواند به تدوین راه‌بردهای عملی و مبتنی بر شواهد در زمینه کنترل آلودگی میکروپلاستیکی کمک نماید.

۱۰. افزایش اعتماد عمومی از طریق شفاف‌سازی علمی

ارائه نتایج شفاف و قابل فهم درباره فرایندهای تجزیه زیستی پلاستیک‌ها و ارزیابی سمیت محصولات حاصل از آن‌ها می‌تواند به کاهش شکاف میان یافته‌های لابرآتواری و نگرش عمومی کمک کرده و اعتماد جامعه به راه‌کارهای علمی را افزایش دهد.

تأمین مالی و تضاد منافع: این تحقیق بدون دریافت هیچ کمک مالی خاصی انجام شده است. نویسنده اعلام می کند که هیچ گونه تضاد منافع مرتبط با این مقاله وجود ندارد.

تقدیر و تشکر

این تحقیق در نتیجه تلاش های گروهی و حمایت های معنوی بسیاری از افراد به ثمر رسید. بدین وسیله از تمامی افرادی که در مراحل مختلف این تحقیق ما را یاری کرده اند، تقدیر و تشکر می کنم. همچنین از معاونیت تحقیقات پوهنتون هرات و سایر نهادهای آکادمیک که در این تحقیق مساعدت نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

ORCID

Ali Ahmad Mohammadi



<https://orcid.org/0009-0006-0564-0172>

Safiullah Fetrat



<https://orcid.org/0009-0004-1257-2986>

Ghulam Rabani Osuli



<https://orcid.org/0009-0005-5589-2258>

Referencess

1. Patel, A. B., Gol, A. M., Vyas, A. J., Patel, A. I., Dudhrejiya, A. V., & Chotaliya, U. J. (2023). A brief review on PET - Polyethylene Terephthalate Containers. *International Journal of Technology*. <https://doi.org/10.52711/2231-3915.2023.00006>
2. Joseph, T. M., Azat, S., Ahmadi, Z., Jazani, O. M., Esmaeili, A., Kianfar, E., Haponiuk, J. T., & Thomas, S. (n.d.). Polyethylene terephthalate (PET) recycling: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2024.100673>
3. Masoumi, M. (2022). Different methods for returning PET into the economic cycle: A review. *Journal of Nanoscience and Technology*. <https://doi.org/10.52319/j.nanoscitec.2022.13>
4. Gupta, R. K., Pipliya, S., Karunanithi, S., Eswaran U, G. M., Kumar, S., Mandliya, S., Srivastav, P. P., Suthar, T., Shaikh, A. M., Harsányi, E., & Kovács, B. (2024). Migration of Chemical Compounds from Packaging Materials into Packaged Foods: Interaction, Mechanism, Assessment, and Regulations. *Foods*. <https://doi.org/10.3390/foods13193125>
5. Mohajan, H. K. (2025). Polyethylene Terephthalate (PET): An Overview on Production, Consumption, and Recycling. *Art and Society*. <https://doi.org/10.63593/as.2709-9830.2025.07.004>
6. Weissmann, D. (2024). *PET Use in Blow Molded Rigid Packaging*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-88667-3.00034-5>

7. Mehdar, Y. T. H. (2025). Examining the Migration of Antimony (Sb) from PET Bottles into Carbonated Water: Impact of Temperature and Storage Duration. *Pakistan Journal of Analytical & Environmental Chemistry*. <https://doi.org/10.21743/pjaec/2025.06.07>
8. Kim, D.-S., Kim, D., Kim, H.-K., Jeon, E., Sung, M. K., Sung, S., Choi, J.-H., Lee, Y., Kang, K., Lee, S., & Lee, S. (2025). Organ-specific accumulation and toxicity analysis of orally administered polyethylene terephthalate microplastics. *Dental Science Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-91170-1>
9. Filella, M. (2020). Antimony and PET bottles: Checking facts. *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.127732>
10. Stevens, S. E., McPartland, M., Bartošová, Z., Skåland, H. S., Völker, J., & Wagner, M. (2024). Plastic Food Packaging from Five Countries Contains Endocrine- and Metabolism-Disrupting Chemicals. *Environmental Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c08250>
11. Gorish, B. M. T., Abdelmula, W. I. Y., Altayeb, H. N., & Zhu, D. (2024). Biodegradability of polyethylene: Challenges and future perspectives. *Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology*. <https://doi.org/10.1177/14777606241290855>
12. Meng, Q., Yi, X., Zhou, H., Song, H., Liu, Y., Zhan, J., & Pan, H. (2024). Isolation of marine polyethylene (PE)-degrading bacteria and its potential degradation mechanisms. *Marine Pollution Bulletin*. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116875>
13. Mehmood, S., Ilyas, N., Akhtar, N., Chia, W. Y., Shati, A. A., Alfaifi, M. Y., Sayyed, R. Z., Pusparizkita, Y. M., Munawaroh, H. S. H., Quan, P. M., & Show, P. L. (2022). Structural breakdown and phytotoxic assessments of PE degradation through acid hydrolysis, starch addition and *Pseudomonas aeruginosa* bioremediation. *Environmental Research*. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114784>
14. Nechaeva, A. I., Klyueva, V., & Solyanikova, I. P. (2024). *Assessment of the Introduction of Microorganisms Capable of Destroying Toxic Compounds during Seed Germination*. <https://doi.org/10.3390/engproc2024067020>
15. Ritu, R., Jitender, R., Poonam, K., Pal, S. N., & Rani, S. A. (2022). Biodegradation and detoxification of low-density polyethylene by an indigenous strain *Bacillus licheniformis* SARR1. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*. <https://doi.org/10.7324/jabb.2021.100102>