Journal of Environmental and Natural Resource Economics
Volume 5, Number 11, Spring 2025, pp. 29-61
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/EENR.2025.88961.215

Original Article
Received: 18/October/2025
Accepted: 15/November/2025
ISSN: 2538-4791
eISSN: 2538-483X

Assessing Students' Perceptions of Microplastic Hazards to Advance Environmental Awareness: An Artificial Neural Network Approach

Mojgan Hasanpour — PhD Student in Industrial Management, Faculty of Business and Economics, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.

Hamid Shahbandarzadeh * — Professor of Industrial Management, Faculty of Business and Economics, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.

Abstract

Introduction

Microplastics (MPs)—plastic particles smaller than 5 mm—are pervasive pollutants that threaten ecosystems and human health across terrestrial, aquatic, and atmospheric environments. By 2015, global plastic production had reached 6,300 million tons, of which only 9% was recycled, and projections indicate that plastics will account for 20% of global oil consumption by 2050. In the Persian Gulf—a semi-enclosed sea—anthropogenic activities such as oil extraction, industrialization, and coastal development contribute between 155,000 and 413,000 tons of plastic waste annually. MPs infiltrate food chains, induce toxicity, and pose considerable health risks; humans are estimated to ingest between 39,000 and 74,000 microplastic particles each year. The widespread use of single-use plastics, coupled with inadequate waste management systems, has further intensified this pollution crisis. Environmental education, informed by theoretical frameworks such as social identity theory and experiential learning, plays a pivotal role in fostering sustainable behaviors. In Bushehr, urban runoff and maritime activities further exacerbate MP contamination. Although global research increasingly explores strategies for reducing plastic pollution, port-specific sustainability initiatives and educational interventions remain insufficiently addressed in the Middle East.

The novelty of this study lies in applying an artificial neural network (ANN) to assess and rank microplastic awareness among students at Persian Gulf University, thereby integrating machine learning with educational strategies to propose actionable, context-specific solutions for MP mitigation. The research contributes by identifying education-driven dimensions of awareness and offering policy recommendations tailored to the Persian Gulf region.

* Corresponding Author: shahbandarzadeh@pgu.ac.ir
How to Cite: Hasanpour, M., Shahbandarzadeh, H. (2025). Assessing Students' Perceptions of Microplastic Hazards to Advance Environmental Awareness: An Artificial Neural Network Approach. Journal of Environmental and Natural Resource Economics, 11(5), pp. 29-61.

Methodology

This quantitative, developmental-applied study employed a descriptive-survey design to evaluate MP awareness among Persian Gulf University students during 2024–2025. The target population included 4,000 students across bachelors, masters, and PhD levels. A simple random sample of 450 participants was selected using Cochran's formula (95% confidence level; 5% margin of error), yielding 408 valid responses (195 female, 213 male; 228 undergraduate, 153 master's, 27 PhD), and representing a 90.67% response rate. Inclusion criteria required active enrollment and accessibility.

Data collection utilized a researcher-developed questionnaire containing 23 items: 22 closed-ended questions on a 5-point Likert scale measuring awareness, attitudes, and behaviors related to MP reduction, and one open-ended question identifying perceived sources of pollution (e.g., seafood, water bottles). Content validity was confirmed by five experts in environmental science and sustainability, and internal consistency reliability was high (Cronbach's $\alpha = 0.87$). Data were analyzed using a three-layer ANN (input, hidden, output) with softmax activation and a cross-entropy loss function. Variables were normalized using $(x - \min)/(x - \max)$ and divided into training (70.1%, n = 282), testing (29.4%, n = 120), and holdout (1.5%, n = 6) sets. Independent variables included demographic characteristics (gender, age, education level, prior experience) and six thematic dimensions: toxicity awareness, environmental damage, degradation deterrents, regulatory strengthening, aquatic controls, and knowledge promotion. The ANN model ranked variable importance and predicted perceptions of MP-related hazards.

Results and Discussion

The ANN demonstrated strong performance, achieving cross-entropy errors of 0.1% (training), 0.05% (testing), and 0.05% (holdout) after five-fold cross-validation, with overfitting mitigated through L2 regularization and early stopping. Classification accuracy reached 95.2% for the training dataset and 94.8% for the holdout dataset, with sensitivities of 96.5% for non-hazardous and 95.6% for hazardous MP perceptions. Cumulative gains analysis showed that 40% of the dataset accounted for 62% of high-risk cases, with 100% hazard detection obtained beyond the 68th percentile.

Key predictive variables included awareness of environmental damage, livestock ingestion, soil toxicity, cancer risks, non-recyclability, and toxic production processes—each significantly moderated by education level. Open-ended responses revealed gender-based differences: female respondents emphasized seafood contamination, whereas male participants highlighted water bottles and synthetic clothing as major sources. Six core dimensions emerged from the analysis: (1) toxicity awareness (99% education-driven deterrence), (2) environmental damage, (3) degradation deterrents, (4) regulatory strengthening (57.4% education-linked), (5) aquatic controls (77.2% education-linked), and (6) awareness gaps (44.9% education-linked).

These findings align with previous research on MP toxicity, ecosystem disruption, aquaculture threats, and deficits in public awareness. The pronounced role of education in behavioral deterrence underscores the importance of integrated

policy-education strategies. The observed gender differences further suggest the relevance of tailored educational messaging to enhance the effectiveness of MP reduction interventions.

Conclusions

This study confirms that university-level education significantly enhances microplastic awareness, identifying six key dimensions through ANN-based analysis. It directly answers the research question regarding education's influence on MP awareness, revealing its substantial impact—particularly a 99% association with deterrence behaviors and a 44.9% contribution to reducing awareness gaps. Gender-specific concerns highlight the need for differentiated communication strategies. Practical recommendations include implementing targeted educational programs, enforcing stricter regulations, and providing incentives to reduce plastic consumption—interventions that offer co-benefits for aquaculture, tourism, and public health. The study's significance lies in its innovative use of machine learning and its region-specific focus, offering a transferable model for sustainable microplastic management in the Persian Gulf. Future research should extend to broader demographic groups and adopt longitudinal approaches to evaluate the durability of educational impacts.

Keywords: Plastic pollution; microplastics; environmental awareness; university students; Persian Gulf

JEL Classification: Q01 , Q51 , Q53 , Q56 , Q57 , I25

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۴

ISSN: ۲۵۳۸-۴۷۹۱

eISSN: ۲۵۳۸-۶۸۳X

- فصلنامه محیط زیست و منابع طبیعی ---
سال ۵، شماره ۱۱، بهار ۱٤۰٤، صفحات ۲۹-٦۱

Jiee.atu.ac.ir

DOI: http://dx.doi.org/10.22054/EENR.2025.88961.215

ارزیابی ادراکات دانشجویان از اثرات زیان‌بار میکروپلاستیک‌ها به منظور تقویت آگاهی زیست‌محیطی: رویکرد مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی

مژگان حسن‌پور دانشجوی دکتری گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.

حمید شاه‌بندرزاده* استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و کسب‌وکار، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.

چکیده

این پژوهش با هدف سنجش سطح آگاهی زیست‌محیطی دانشجویان دانشگاه خلیج‌فارس نسبت به تهدیدات ناشی از ریزپلاستیک‌ها انجام شده است. تمرکز اصلی بر بررسی نقش آموزش دانشگاهی در ارتقای ادراک و رفتارهای زیست‌محیطی مرتبط با مصرف بی‌رویه پلاستیک، به‌ویژه کیسه‌های یک‌بار مصرف، بوده است. مطالعه با رویکرد توسعه‌ای ـ کاربردی و روش توصیفی ـ پیمایشی، براساس داده‌های ۴۰۸ پرسشنامه معتبر از میان ۴۵۰ نمونه تصادفی ساده از جامعه ۴۰۰۰ نفری دانشجویان در مقاطع مختلف انجام شد. ابزار گردآوری داده‌ها، پرسشنامه‌ای محقق‌ساخته با ۲۳ سؤال بود که با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی تحلیل شد. نتایج نشان داد که آموزش دانشگاهی تأثیر ۹۹ درصدی در بازدارندگی رفتاری، ۴۴/۹ درصدی در کاهش شکاف‌های آگاهی، ۵۷/۴ درصدی در تقویت مقررات بازدارنده و ۷۷/۲ درصدی در کنترل‌های آبی دارد. همچنین، سطح تحصیلات با افزایش آگاهی زیست‌محیطی رابطه مستقیم دارد. تحلیل پاسخ‌های سؤال باز نشان داد که زنان بیشتر به آلودگی غذاهای دریایی اشاره کرده‌اند، در حالی که مردان تمرکز بیشتری بر آلودگی ناشی از بطری‌های آب و لباس‌های مصنوعی داشته‌اند. این تفاوت‌های جنسیتی، ضرورت طراحی آموزش‌های هدفمند را برجسته می‌سازد. پژوهش بر اهمیت توسعه فرهنگی، وضع قوانین بازدارنده و اجرای کمپین‌های اطلاع‌رسانی عمومی برای کاهش مصرف پلاستیک و جایگزینی بسته‌بندی‌های پایدار تأکید دارد. یافته‌ها الگویی برای سیاست‌گذاری منطقه‌ای در مدیریت پایدار آلودگی میکروپلاستیکی در خلیج‌فارس ارائه می‌دهند.

کلیدواژه‌ها: آلودگی پلاستیکی، میکروپلاستیک‌ها، آگاهی زیست‌محیطی، دانشجویان، خلیج فارس

طبقه‌بندی JEL: I25 , Q57 , Q56 , Q53 , Q51 , Q01

* نویسنده مسئول: shahbandarzadeh@pgu.ac.ir

۱. مقدمه

زباله‌های پلاستیکی دریایی، به‌ویژه میکروپلاستیک‌ها (MPs)[1] به‌عنوان آلاینده‌های نوظهور، در خاک، آب‌وهوا پراکنده شده‌اند و تهدیدی جدی برای گیاهان، حیوانات و سلامت انسان‌ها به‌شمار می‌روند (شیونگ[2] و همکاران، ۲۰۲۵؛ ژانگ[3] و همکاران، ۲۰۲۵؛ گاربونیس[4] و همکاران، ۲۰۲۲). آمارهای اخیر نشان‌دهنده سطوح نگران‌کننده مصرف و دفع پلاستیک هستند (الطرشی[5] و همکاران، ۲۰۲۴؛ ایدو[6] و همکاران، ۲۰۲۴؛ سان[7] و همکاران، ۲۰۲۴). تقاضای جهانی پلاستیک همچنان در حال افزایش است (لئو و لیساک[8]، ۲۰۲۳)، به‌طوری‌که مجمع جهانی اقتصاد پیش‌بینی کرده تا سال ۲۰۵۰، صنعت پلاستیک حدود ۲۰ درصد از کل تولید نفت و ۱۵ درصد از بودجه سالانه کربن جهانی را مصرف کند (استوفن ـ اوبراین[9] و همکاران، ۲۰۲۲). براساس برآوردها، تولید جهانی پلاستیک تا سال ۲۰۱۵ به حدود ۶۳۰۰ میلیون تن رسیده بود، اما تنها ۹ درصد از آن بازیافت شده است (نوری‌مطلق[10] و همکاران، ۲۰۲۴). تولید پلاستیک از ظرفیت مدیریت دفع آن پیشی گرفته (ژو[11] و همکاران، ۲۰۲۵؛ بیهان و اونکوموساوغلو[12]، ۲۰۲۴؛ جایاسینگه[13] و همکاران، ۲۰۲۴) و تا ۹۰ درصد زباله‌های دریایی را پلاستیک تشکیل می‌دهد که بیشتر آن از منابع زمینی نشأت می‌گیرد. این زباله‌ها اثرات گسترده زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی دارند (الطرشی و همکاران ، ۲۰۲۴؛ ژائو[14] و همکاران، ۲۰۲۴)، ازجمله آسیب سالانه حداقل ۱۳ میلیارد دلاری به اکوسیستم‌های دریایی که شامل هزینه‌های گردشگری، ماهیگیری و پاک‌سازی سواحل می‌شود (وارکی[15] و همکاران، ۲۰۲۱).

---

1. Microplastics
2. Xiong
3. Zhang
4. Garbounis
5. Al-Tarshi
6. Idowu
7. Sun
8. Liu & Lisak
9. Stöfen-O'Brien
10. Noorimotlagh
11. Zou
12. Bayhan & Uncumusaoglu
13. Jayasinghe
14. Zhao
15. Varkey

پلاستیک‌ها از طریق بلع توسط موجودات دریایی وارد زنجیره غذایی می‌شوند و نگرانی‌های فزاینده‌ای درباره امنیت غذایی و سلامت انسان ایجاد کرده‌اند (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۵؛ بوادیل[1] و همکاران، ۲۰۲۴؛ شارما و ویدیارتی[2]، ۲۰۲۴؛ بارسلو[3] و همکاران، ۲۰۲۳). این آلاینده‌ها سالانه میلیون‌ها پستاندار دریایی، لاک‌پشت، پرنده دریایی و ماهی را از بین می‌برند و می‌توانند از طریق تنفس یا بلع وارد بدن انسان شوند (لئو[4] و همکاران، ۲۰۲۵؛ وانگ[5] و همکاران، ۲۰۲۵). به دلیل پایین بودن آگاهی جامعه به مشکلات محیط زیستی، توجه آنچنانی به محیط زیست نشده و فناوری‌های دوستدار محیط زیست نیز در دسترس نیست (ایزدی و پارسه، ۱۴۰۳). تقریباً نیمی از پلاستیک‌های تولیدشده پس از یک‌بار مصرف دور ریخته می‌شوند، ازجمله کیسه‌های خرید، ته سیگار، نی، کارد و چنگال پلاستیکی و ظروف یک‌بار مصرف[6] که اغلب جایگزین‌های قابل استفاده مجدد دارند. با توجه به ماندگاری پلاستیک در محیط زیست، نیاز فوری به راه‌حل‌های نوآورانه برای کاهش آلودگی در سطوح محلی، ملی و جهانی وجود دارد (وارکی و همکاران، ۲۰۲۱). در صورت عدم اقدام، با رشد سالانه ۵ درصدی تولید تا سال ۲۰۵۰ حدود ۳۳ میلیارد تن پلاستیک اضافی وارد اقیانوس‌ها خواهد شد (فرانتزی[7] و همکاران، ۲۰۲۱).

خلیج‌فارس، به‌عنوان یک منطقه دریایی بسته که توسط هشت کشور ساحلی احاطه شده است (اوبراین و همکاران، ۲۰۲۲)، به دلیل فعالیت‌های انسانی مانند استخراج نفت و گاز، صنعتی‌سازی سریع، ترافیک دریایی بالا، صید بی‌رویه و توسعه سواحل، در معرض آلودگی شدید پلاستیکی قرار دارد (حاجیونی[8] و همکاران، ۲۰۲۲). برآوردها نشان می‌دهد که سالانه ۱۵۵ تا ۴۱۳ هزار تن زباله پلاستیکی از زمین به خلیج‌فارس وارد می‌شود (الطرشی و همکاران، ۲۰۲۴). بندر بوشهر، به‌عنوان یکی از بنادر کلیدی در مجاورت خلیج‌فارس، به دلیل رواناب شهری کنترل‌نشده و تخلیه کشتی‌ها، منبع مهمی از آلودگی

1. Bouadil
2. Sharma & Vidyarthi
3. Barceló
4. Liu
5. Wang
6. SUP
7. Frantzi
8. Hajiouni

است. این عوامل، همراه با آلودگی زمینی، محیط مناسبی برای مطالعه میکروپلاستیک و آلاینده‌های مرتبط فراهم می‌کنند (روکشان جایاسینگه و همکاران، ۲۰۲۴).

لذا با توجه به اهمیت موضوع این پژوهش در تلاش است تا به این سؤال پاسخ دهد که آموزش دانشگاهی به چه میزان بر ادراک دانشجویان از خطر کلی میکروپلاستیک‌ها در خلیج فارس تأثیرگذار است و آیا این ادراک می‌تواند به کاهش آلودگی کمک کند؟

لذا فرضیه مور آزمون این است که سطح تحصیلات بالاتر (کارشناسی ارشد و دکتری در مقابل کارشناسی) با ادراک و آگاهی بالاتر از خطر میکروپلاستیک‌ها مرتبط است و آگاهی زیست‌محیطی را افزایش می‌دهد.

بر این اساس، این پژوهش با هدف بررسی سطح آگاهی و دانش دانشجویان دانشگاه خلیج‌فارس درباره خطرات میکروپلاستیک‌های ناشی از مصرف بی‌رویه کیسه‌های پلاستیکی و سایر مشتقات پلاستیکی در محیط زیست انجام شده است. همچنین، پیشران‌ها و راه‌حل‌هایی برای کاهش و جمع‌آوری زباله‌های پلاستیکی در خلیج‌فارس ارائه می‌شود تا نتایج آن در کنترل و مدیریت دفع این زباله‌ها مفید باشد. هرچند پژوهش‌های متعددی در زمینه راهکارهای کاهش زباله پلاستیکی در جهان انجام شده، اما بیشتر آن‌ها بر جنبه‌های زیست‌محیطی تمرکز داشته‌اند و ارزیابی همه‌جانبه عملکرد پایدار در بنادر خاص کمتر مورد توجه قرار گرفته است. پر کردن این شکاف پژوهشی، دلیل اصلی انجام این مطالعه است.

۲. ادبیات پژوهش

در این بخش، ادبیات مرتبط با آلودگی پلاستیکی و میکروپلاستیک‌ها به تفکیک ارائه می‌شود.

الف) آلودگی پلاستیکی و میکروپلاستیک‌ها

آلودگی پلاستیکی یکی از چالش‌های اصلی زیست‌محیطی جهان است که اکوسیستم‌های دریایی، رودخانه‌ای و خاکی را تهدید می‌کند (اسلام[1]، ۲۰۲۵). پلاستیک‌ها، مواد مصنوعی بادوام و ارزان از منابع فسیلی، از سال ۱۸۶۹ تولید شده‌اند و تا سال ۲۰۱۹ به ۴۶۰ میلیون تن

1. Islam

رسیده‌اند (داس[1]، ۲۰۲۲). سالانه حدود ۲۸۰ میلیون تن پلاستیک تولید می‌شود که بخش عمده‌ای به زباله تبدیل شده و وارد اقیانوس‌ها می‌گردد، با پیش‌بینی افزایش وزن پلاستیک‌ها بیش از ماهی‌ها تا سال ۲۰۵۰ (اسلام، ۲۰۲۵). میکروپلاستیک‌ها (ذرات کمتر از ۵ میلی‌متر)، معرفی‌شده توسط تامپسون[2] در ۲۰۰۴، می‌توانند اولیه (مانند میکروبیدهای آرایشی) یا ثانویه (از تجزیه پلاستیک‌های بزرگ‌تر) باشند و در همه محیط‌ها پراکنده‌اند (دهقانی و یونسیان، ۱۴۰۲). تجزیه پلاستیک‌ها بیش از یک قرن طول می‌کشد و منجر به انباشت میکروپلاستیک‌ها می‌شود (یانگ و همکاران[3]، ۲۰۲۴). در خلیج‌فارس، میکروپلاستیک‌ها عمدتاً از تجزیه پلاستیک‌های بزرگ‌تر ناشی می‌شوند، با فیبرهای آبی و سیاه بیشترین فراوانی و سطوح آلودگی در رسوبات ساحلی استان بوشهر بالاتر است. مطالعات اخیر نشان‌دهنده توزیع گسترده میکروپلاستیک‌ها در آب و رسوبات خلیج‌فارس است، با تمرکز بر بنادر مانند بوشهر، گناوه و دیلم. این آلودگی با رواناب شهری، فعالیت‌های صنعتی و ترافیک دریایی مرتبط است و نیاز به روش‌های استاندارد نمونه‌برداری را برجسته می‌کند تا مقایسه نتایج ممکن شود (اخباری‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱).

ب) اثرات زیست‌محیطی و بهداشتی

پلاستیک و میکروپلاستیک بر حداقل ۲۶۷ گونه دریایی تأثیر می‌گذارند، ازجمله ۸۶٪ لاک‌پشت‌های دریایی، ۴۴٪ پرندگان دریایی و ۴۳٪ پستانداران دریایی و بر عوامل اقتصادی ـ اجتماعی مانند سلامت انسانی، کشتیرانی و ماهیگیری اثر دارند (اسلام، ۲۰۲۵). این آلاینده‌ها اکوسیستم‌ها را تغییر داده، فرآیندهای طبیعی را مختل کرده و توانایی سازگاری با تغییرات اقلیمی را کاهش می‌دهند. زباله‌های پلاستیکی حیوانات دریایی را خفه کرده یا به‌عنوان غذا اشتباه گرفته می‌شوند که منجر به مرگ بیش از ۸۰۰ گونه شده است (خان[4]، ۲۰۲۳). در خلیج‌فارس، میکروپلاستیک‌های کم‌چگال در آب و پرچگال در رسوبات یافت می‌شوند و آلودگی در آبزیان به محل زندگی آن‌ها وابسته است (اخباری‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱). از منظر بهداشتی، انسان‌ها سالانه ۳۹۰۰۰ تا ۷۴۰۰۰ ذره

1. Das
2. Thompson
3. Yang
4. Khan

میکروپلاستیک از طریق غذا، آب و استنشاق مصرف می‌کنند که می‌تواند منجر به سمیت سلولی، التهاب و سرطان شود (دهقانی و یونسیان، ۱۴۰۲؛ نور مطلق و همکاران، ۲۰۲۴). میکروپلاستیک‌ها در دستگاه گوارش، ریه، خون، جفت و شیر مادر انسان یافت شده‌اند و بر باروری تأثیر منفی می‌گذارند (بارسلو و همکاران، ۲۰۲۳؛ لئو و همکاران، ۲۰۲۵). این اثرات بر لزوم بررسی آگاهی عمومی، به‌ویژه دانشجویان، برای کاهش مواجهه تأکید دارد (بیهان و اونکوموساوغلو، ۲۰۲۴).

ج) مصرف پلاستیک‌های یک‌بار مصرف و الگوهای رفتاری

تولید پلاستیک‌های یک‌بار مصرف از ظرفیت مدیریت زباله پیشی گرفته و منبع اصلی آلودگی است، با مصرف سالانه ۵ تریلیون کیسه پلاستیکی (خان، ۲۰۲۳). تراکم جمعیت، وضعیت اقتصادی و سیستم‌های مدیریت زباله بر ورود زباله به دریا تأثیر می‌گذارند و بیش از ۵۰٪ زباله پلاستیکی دریایی از پنج کشور شرق آسیا ناشی می‌شود (اسلام، ۲۰۲۵). افراد به‌طور متوسط هفتگی ۵ گرم میکروپلاستیک (معادل یک کارت اعتباری) مصرف می‌کنند (دهقانی و یونسیان، ۱۴۰۲). در خلیج‌فارس، تفاوت‌های رفتاری و مدیریتی بین کشورها منجر به آلودگی بالاتر در بخش ایرانی، به‌ویژه رسوبات ساحلی بوشهر، شده است. این الگوها بر اهمیت تغییر رفتار از طریق آموزش تأکید دارند (اخباری‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱).

د) نقش آموزش محیط‌زیستی در تغییر نگرش‌ها و رفتارها

انسان در طول تاریخی بر روی کره خاکی هر روز آسیب‌های فراوانی وارد کرده است. با مرور مفاهیمی چون سواد زیست‌محیطی و فرهنگ زیست‌محیطی، می‌توان محیط زیست را مورد بازآفرینی قرار داد. تقریباً تمام نظریه‌پردازان بر این اصل که فرهنگ زیست‌محیطی برای نجات محیط زیست ضرورت دارد، اتفاق نظر دارند (احمدی و همکاران، ۱۴۰۳). بنابراین فرهنگ و آموزش زیست‌محیطی مسئولیت صنعت پلاستیک را برای بازیافت و جایگزین‌های پایدار تقویت می‌کند و بر تأثیر زباله پلاستیکی بر محیط دریایی تمرکز دارد (اسلام، ۲۰۲۵). اقدام فوری نیاز به همکاری دولت‌ها، کسب‌وکارها و افراد دارد و آموزش نگرش‌ها را تغییر داده و رفتارها را به سمت حفاظت هدایت می‌کند (خان، ۲۰۲۳).

تحلیل چندمتغیره می‌تواند منابع آلودگی (مانند فاضلاب و رواناب) را شناسایی کند و آموزش براساس آن بهترین راه‌حل‌ها را پیشنهاد دهد (هاشم‌پور و همکاران، ۲۰۲۳). با حضور گسترده میکروپلاستیک‌ها در رژیم غذایی، آموزش، آگاهی را افزایش داده و مواجهه را کاهش می‌دهد (دهقانی و یونسیان، ۱۴۰۲). در خلیج‌فارس، پیشنهاد مطالعات استاندارد نشان‌دهنده نقش آموزش در بهبود داده‌ها است. این رویکرد بر دانشجویان به‌عنوان عاملان تغییر تمرکز دارد (اخباری‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱).

ه) چارچوب‌های نظری آگاهی و آموزش محیط زیستی

نظریه‌های آگاهی و آموزش بر ادغام روان‌شناختی مانند انگیزه‌های درونی برای تغییر رفتار، جامعه‌شناختی مانند نظریه هویت اجتماعی برای افزایش اقدامات جمعی (مرسید[1] و همکاران، ۲۰۲۱) و آموزشی مانند یادگیری تجربی از طریق پروژه‌های عملی (لوپز ـ خیمنز[2]، ۲۰۲۳)، تأکید دارند. مدل‌های سازنده‌گرا دانشجویان را به تعامل انتقادی با مسائل محیطی تشویق می‌کنند (وگا گراندا[3] و همکاران، ۲۰۲۳). این چارچوب‌ها پایه‌ای برای بررسی آگاهی دانشجویان درباره میکروپلاستیک‌ها در خلیج‌فارس فراهم می‌کنند و بر کاربرد محلی مانند پاک‌سازی سواحل تمرکز دارند.

ز) پیشینه تجربی

میکروپلاستیک‌ها (MPs) عمدتاً از رواناب شهری، فعالیت‌های ساحلی و تجزیه زباله‌های پلاستیکی در خلیج‌فارس ناشی می‌شوند (بهمنش[4] و همکاران، ۲۰۲۳). توزیع آن‌ها تحت تأثیر تراکم جمعیت و مدیریت ناکافی زباله است که در بنادر ایران مانند بوشهر شدت بیشتری دارد (دای[5] و همکاران، ۲۰۲۴). مطالعات نشان می‌دهند که زباله‌های پلاستیکی دریایی در خلیج‌فارس، به‌ویژه در بخش ایرانی، چالش‌های اکولوژیکی و اقتصادی ایجاد می‌کنند و نیاز به مقررات منطقه‌ای و آموزش عمومی را برجسته می‌سازند (اوبراین و همکاران، ۲۰۲۲). این یافته‌ها بر اهمیت آگاهی دانشجویان به‌عنوان عاملان تغییر در کاهش آلودگی میکروپلاستیک‌ها در خلیج‌فارس تأکید دارند.

---

1. Mursid
2. López-Jiménez
3. Vega Granda
4. Behmanesh
5. Dai

فرنقش آموزش محیط زیستی در تغییر رفتار آموزش محیط زیستی رفتارهای پایدار را ترویج می‌دهد و در کاهش میکروپلاستیک‌ها نقش کلیدی دارد. فرانتزی و همکاران (۲۰۲۱)، مطالعات جهانی نشان داده‌اند که آگاهی عمومی و آموزش مسئولانه، مصرف پلاستیک‌های یک‌بار مصرف را کاهش می‌دهد. برای مثال، وارکی و همکاران (۲۰۲۱)، در کانادا گزارش کردند که آموزش عمومی و دسترسی به جایگزین‌های پلاستیکی، موانع رفتاری را برطرف می‌کند. در سریلانکا، روکشان جایاسینگه و همکاران (۲۰۲۴)، چارچوب سیاستی شامل آموزش و مسئولیت تولیدکنندگان را پیشنهاد کردند. با این حال، کمبود مطالعات متمرکز بر آموزش دانشگاهی در خاورمیانه، به‌ویژه در خلیج‌فارس، یک شکاف پژوهشی است که این مطالعه قصد پر کردن آن را دارد. آموزش دانشجویان می‌تواند نگرش‌ها و رفتارها را به سمت مدیریت پایدار زباله‌های پلاستیکی هدایت کند.

اثرات میکروپلاستیک بر سلامت انسان میکروپلاستیک‌ها از طریق غذا، آب و استنشاق وارد بدن انسان شده و خطراتی مانند سمیت سلولی و التهاب ایجاد می‌کنند (کول[1] و همکاران، ۲۰۲۴؛ شارما و ویدیارتی، ۲۰۲۴). در زنجیره غذایی، میکروپلاستیک‌ها از ظروف پلاستیکی یا آبزیان آلوده به انسان منتقل می‌شوند که نیاز به آموزش درباره استفاده از مواد غیرپلاستیکی را برجسته می‌کند کول و همکاران (۲۰۲۴)، در خلیج‌فارس، آلودگی میکروپلاستیک در ماهی‌های تجاری گزارش شده است که آگاهی عمومی را برای کاهش خطرات زنجیره غذایی ضروری می‌سازد. بیهان و اونکوموساوغلو (۲۰۲۴)، این اثرات بر لزوم آموزش دانشجویان برای کاهش مواجهه با میکروپلاستیک‌ها تأکید دارند.

ابزارهای تحلیلی و سیاست‌گذاری مدل‌های یادگیری ماشین مانند CatBoost برای پیش‌بینی توزیع میکروپلاستیک‌ها استفاده می‌شوند و می‌توانند با آموزش ادغام شوند تا سیاست‌گذاری را بهبود دهند (رشادی[2] و همکاران، ۲۰۲۵). رضویارانی[3] و همکاران (۲۰۲۴)، جایگزینی بیوپلاستیک‌ها را توصیه کردند که نیازمند آموزش برای پذیرش عمومی است. این ابزارها می‌توانند به دانشجویان کمک کنند تا راهکارهای نوآورانه برای مدیریت میکروپلاستیک‌ها در خلیج‌فارس ارائه دهند.

1. Cole
2. Reshadi
3. Razaviarani

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نظر راهبرد اصلی، کمی، از نظر هدف، توسعه‌ای ـ کاربردی است، زیرا به دنبال ارائه راهکارهای عملی برای کاهش مصرف پلاستیک‌های مخرب می‌باشد. داده‌ها به روش میدانی از طریق پرسشنامه جمع‌آوری شده‌اند. پژوهش به‌صورت توصیفی و از نوع پیمایشی طراحی شده است. این طراحی به دلیل توانایی آن در توصیف دقیق نگرش‌ها و آگاهی‌های جامعه آماری انتخاب شد و امکان تحلیل داده‌ها با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی را فراهم کرد. جامعه آماری این پژوهش شامل ۴۰۰۰ نفر از دانشجویان مشغول به تحصیل در مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری دانشگاه خلیج‌فارس در سال تحصیلی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ بود. از این تعداد، با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده، ۴۵۰ نفر به‌عنوان نمونه انتخاب شدند. معیار ورود به مطالعه، ثبت‌نام فعال در دانشگاه و دسترسی‌پذیری در زمان اجرای پژوهش بود. از میان نمونه انتخاب‌شده، ۴۰۸ نفر (۹۰/۶۷٪) پرسشنامه‌های تکمیل‌شده را ارائه دادند که برای تحلیل مورد استفاده قرار گرفتند و از این تعداد ۱۹۵ نفر زن و ۲۱۳ نفر مرد هستند. این در حالی است که تعداد دانشجویان کارشناسی ۲۲۸ نفر و کارشناسی ارشد ۱۵۳ نفر و دانشجوی دکتری ۲۷ نفر بوده‌اند. حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران و با سطح اطمینان ۹۵٪ و حاشیه خطای ۵٪ تعیین شد. ابزار اصلی جمع‌آوری داده‌ها، پرسشنامه محقق‌ساخته‌ای بود که شامل ۲۳ سؤال تخصصی (۲۲ سؤال بسته با مقیاس پنج‌گزینه‌ای لیکرت و یک سؤال باز) طراحی شد. سؤالات بسته برای سنجش متغیرهای پژوهش، شامل آگاهی از خطرات ریزپلاستیک‌ها، نگرش نسبت به مصرف پلاستیک‌های مخرب و رفتارهای مرتبط با کاهش مصرف پلاستیک، تنظیم شدند. سؤال باز برای جمع‌آوری دیدگاه‌های کیفی در مورد منابع آلودگی پلاستیکی (مانند غذاهای دریایی یا بطری‌های آب) طراحی شد. روایی محتوایی پرسشنامه توسط پانلی از پنج متخصص محیط زیست و آموزش پایدار تأیید شد. پایایی پرسشنامه با ضریب آلفای کرونباخ محاسبه شد که مقدار ۰/۸۷ را نشان داد و بیانگر پایایی بالای ابزار است. جدول ۱، شامل شرح کامل همه متغیرها به همراه توضیحات سؤال‌ها و اصطلاحات مفهومی آن‌ها است.

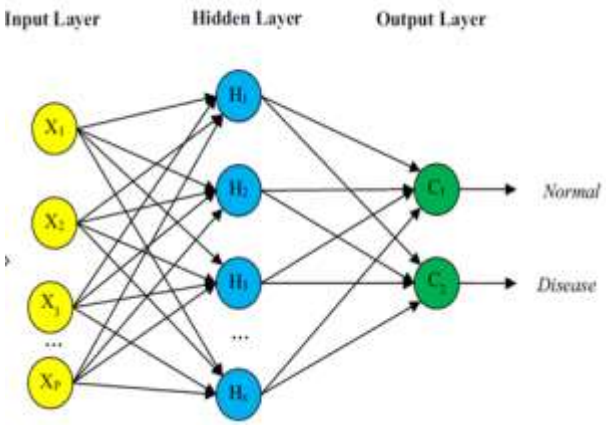
جدول ۱. شرح متغیرها

کد متغیر	توصیف مورد	نوع متغیر	حوزه مفهومی
q1	آگاهی از آسیب محیطی ناشی از کیسه‌های پلاستیکی	مستقل	آگاهی محیطی
q2	آگاهی از عدم قابلیت بازیافت کیسه‌های پلاستیکی	مستقل	آگاهی محیطی
q3	آگاهی از ناکارآمدی دفن زباله‌های پلاستیکی	مستقل	آگاهی محیطی
q4	آگاهی از خطرات خفگی برای حیوانات	مستقل	آگاهی محیطی
q5	آگاهی از انسداد آبراهه‌ها به دلیل پلاستیک	مستقل	آگاهی محیطی
q6	اقدام شخصی برای کاهش استفاده از کیسه‌های پلاستیکی	مستقل	رفتار طرفدار محیط‌زیست
q7	توافق با قوانین محدودیت استفاده از پلاستیک	مستقل	نگرش قانونی
q8	توافق با هزینه برای استفاده از کیسه‌های پلاستیکی	مستقل	نگرش اقتصادی
q9	نگرانی در مورد مواد سمی در تولید پلاستیک	مستقل	آگاهی بهداشتی
q10	اثربخشی درک‌شده ممنوعیت تولید در مقابل مصرف	مستقل	ادراک سیاست
q11	آگاهی از آلودگی خاک و آب از پلاستیک	مستقل	آگاهی محیطی
q12	آگاهی از خطرات سرطان مرتبط با پلاستیک	مستقل	آگاهی بهداشتی
q13	آگاهی از انتشار گازهای گلخانه‌ای از پلاستیک	مستقل	آگاهی محیطی
q14	آگاهی از تأثیر آلودگی پلاستیک بر توسعه اقتصادی	مستقل	ادراک اقتصادی
q15	آگاهی از تأثیر بر گردشگری	مستقل	ادراک اقتصادی
q16	آگاهی از تأثیر بر حمل و نقل دریایی	مستقل	آگاهی زیرساختی
q17	آگاهی از تأثیر بر آبزی‌پروری	مستقل	آگاهی محیطی
q18	آگاهی از تهدید برای کشاورزی	مستقل	آگاهی محیطی
q19	آشنایی با جایگزین‌های کیسه‌های پلاستیکی	مستقل	آگاهی جهت‌دار به راه‌حل
q20	کمبود درک‌شده دانش در مورد اثرات بهداشتی	مستقل	ادراک بهداشتی
q21	آگاهی از سمیت انسانی از طریق دام	مستقل	آگاهی بهداشتی
q22	تأثیر خودارزیابی پرسشنامه بر کاهش استفاده از پلاستیک	مستقل	تأمل رفتاری خود
q23	نظر در مورد مسیر مواجهه مضرترین میکروپلاستیک	سؤال باز	تحلیل ادراکی

متغیر وابسته پژوهش، «خطر کلی میکروپلاستیک‌ها»، به صورت یک متغیر طبقه‌بندی باینری تعریف شد با دو کلاس: «ریزپلاستیک‌ها خطرناک نیستند» (کلاس ۰) و «ریزپلاستیک‌ها بسیار خطرناک هستند» (کلاس ۱). این متغیر از طریق محاسبه میانگین امتیازات ۲۲ سؤال بسته (مقیاس لیکرت: ۱=کاملاً مخالف تا ۵=کاملاً موافق) استخراج شد. اگر میانگین امتیاز $\leq$ ۳/۵ باشد، به کلاس «بسیار خطرناک»؛ در غیر این صورت، به کلاس «خطرناک نیستند»، اختصاص یافت.

تحلیل داده‌ها با شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی[1]، نوعی پیاده‌سازی هوش مصنوعی هستند که به دنبال تقلید از تفکر انسان از طریق تکرار آناتومی مغز هستند و مشخصه آن یادگیری از طریق تجربه و استخراج دانش عمومی از مجموعه داده‌ها است (گارسیا مورالس[2] و همکاران، ۲۰۲۲). برای توسعه مدل شبکه عصبی مصنوعی، داده‌های تجربی به‌طور تصادفی به مجموعه‌های آموزشی[3] (۷۰٪)، و آزمایش[4] (۳۰٪) تقسیم می‌شوند. مدل شبکه عصبی مصنوعی معمولی یک شبکه سه لایه از گره‌های به‌هم پیوسته است: لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی (شکل ۱). لایه ورودی اطلاعات را از دنیای خارج دریافت می‌کند، لایه پنهان پردازش اطلاعات را انجام می‌دهد و لایه خروجی برچسب کلاس را تولید می‌کند یا مقادیر پیوسته را پیش‌بینی می‌کند. مقادیر لایه ورودی که وارد یک گره پنهان می‌شود در وزن‌ها، مجموعه‌ای از اعداد از پیش تعیین شده، ضرب می‌شوند و سپس، محصولات برای تولید یک عدد واحد اضافه می‌شوند. این عدد به‌عنوان یک آرگومان به یک تابع ریاضی غیرخطی، تابع فعال‌سازی که عددی بین ۰ و ۱ را برمی‌گرداند، ارسال می‌شود (زاچاریس[5]، ۲۰۱۶)



شکل ۱. معماری شبکه عصبی

مأخذ: مطالعه لای و همکاران (۲۰۲۳)

1. Artificial Neural Networks
2. García-Morales
3. Training Set
4. Testing Set
5. Zacharis

۳. یافته‌های پژوهش

در این پژوهش ۴۰۸ نفر به‌عنوان نمونه تصادفی حضور داشته‌اند که هدف آن بررسی نظرات قشر جوان و تحصیل‌کرده بخشی از کشور ایران در منطقه خلیج‌فارس و در دانشگاه خلیج‌فارس در ارتباط با بررسی میزان دانش و آگاهی از تحمیل ریزپلاستیک‌های مخرب در محیط زیست با تولید و مصرف بی‌رویه کیسه‌های پلاستیکی و دیگر مشتقات پلاستیکی در محیط زیست می‌باشد. از این تعداد، ۲۸۲ مورد معادل ۷۰/۱ درصد برای آموزش، ۲۹/۹ درصد مبنی بر ۱۲۰ مورد را برای آزمایش و حدوداً ۱/۵ درصد که معادل ۶ مورد بوده از تحلیل، خارج قرارگرفته است. مجموعه داده آموزشی برای یافتن وزن‌ها و ساخت مدل استفاده می‌شود. داده‌های آزمایش برای یافتن خطاها و جلوگیری از تمرین بیش از حد در طول حالت آموزش و داده‌های نگه داشته شده برای اعتبارسنجی مدل استفاده می‌گردد. قبل از آموزش، همه متغیرهای کمکی با استفاده از فرمول (x-min)/(max-min) نرمال‌سازی شدند که مقادیر بین ۰ و ۱ و داده‌ها را فقط از مجموعه آموزشی برمی‌گرداند (زاچاریس، ۲۰۱۶). جدول۲، اطلاعاتی را درباره مجموعه داده‌های مورد استفاده برای ساخت مدل شبکه عصبی مصنوعی ارائه می‌دهد.

جدول ۲. خلاصه پردازش موردها

		تعداد	درصد
نمونه	آموزش	۲۸۲	٪۱/۷۰
	نگهداری	۱۲۰	٪۹/۲۹
معتبر		٤۰۲	٪۱۰۰
حذف‌شده		٦	
جمع		٤۰۸	

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۳. اطلاعات شبکه

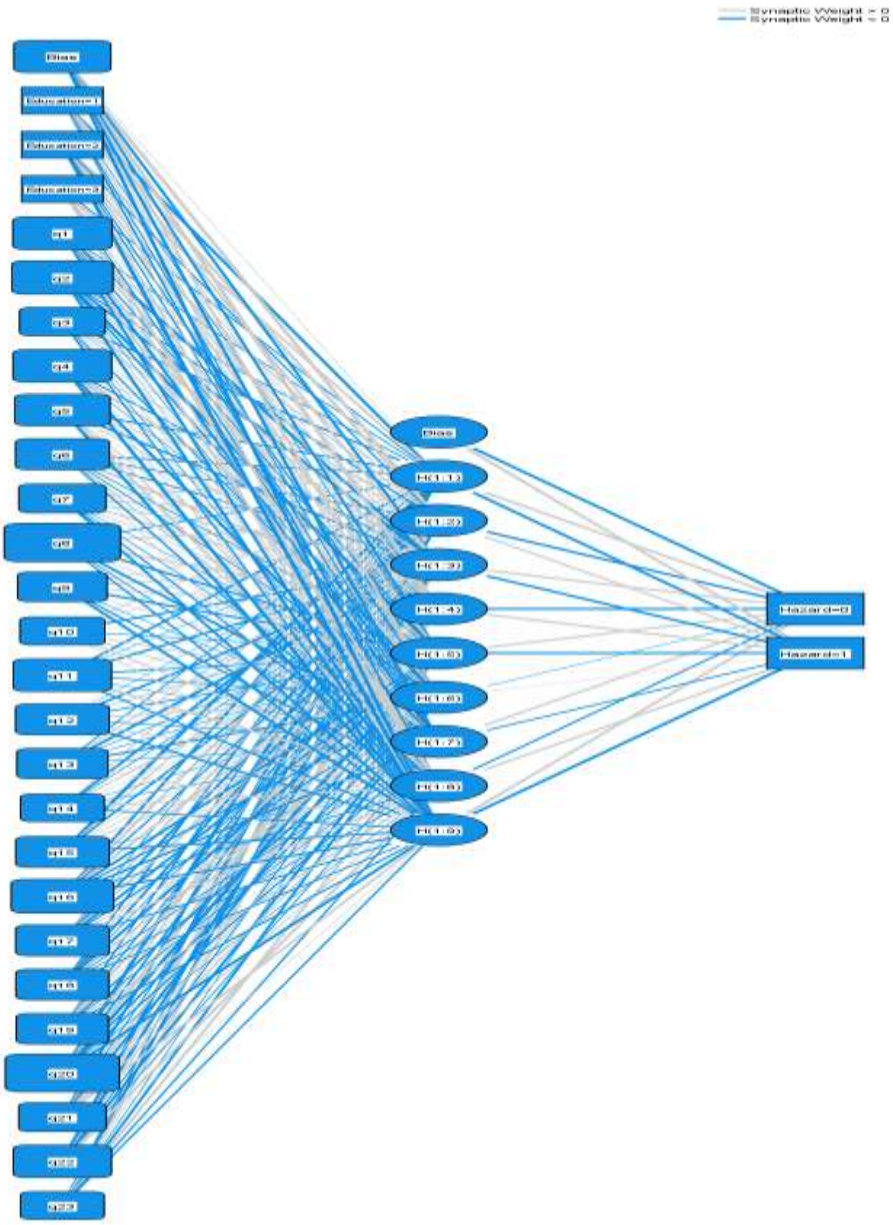
بخش	زیربخش	مشخصات	مقدار
لایه ورودی	**عوامل**	تحصیلات	۱ متغیر
	متغیرهای کمکی	گویه‌های پرسشنامه (q1 تا q23)	۲۳ متغیر
	تعداد کل واحدها	۲۶	۲۶
	روش مقیاس‌بندی	استانداردسازی شده	_
لایه‌های پنهان	**تعداد لایه‌های پنهان**		۱
	تعداد واحدها در لایه پنهان		۹
	تابع فعال‌سازی	(Hyperbolic tangent)	_
لایه خروجی	**متغیر وابسته**	خطر کلی	۱ متغیر
	تعداد واحدها	**۲** واحد	۲
	تابع فعال‌سازی	(Softmax)	_
	تابع خطا	آنتروپی متقاطع	_

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۳، اطلاعات کلی مدل شبکه عصبی مصنوعی این پژوهش (تعداد نورون‌ها در هر لایه و متغیرهای مستقل) را نشان می‌دهد. این جدول مشخص می‌کند که موارد اختصاص‌یافته به شبکه عصبی مصنوعی با صحت کامل صورت پذیرفته است. در این جدول، متغیر وابسته تحت عنوان خطر کلی میکروپلاستیک‌ها[1]، بوده که برحسب پنج عامل جنسیت، سن، تحصیلات، تجربه و شش شاخص پیش‌بینی‌کننده و متغیر کمکی که به‌عنوان گویه‌های اثرگذار بر خطر کلی تلقی شده‌اند، مورد سنجش واقع شده است. تعداد واحدها در لایه ورودی ۲۶ و در لایه پنهان ۹ واحد است و تابع فعال از نوع Softmax بوده است. همچنین، از تابع آنتروپی متقاطع به‌عنوان تابع خطا به دلیل استفاده از این عملگر استفاده شده است. باید توجه داشته باشیم که در این پژوهش، در بخش لایه ورودی متغیرهای کمکی در شش بعد بوده که می‌توانند در پایش میکروپلاستیک‌ها به ما کمک نمایند که عبارت‌اند از: توجه به سمی بودن، توجه به آسیب محیط زیست، عوامل بازدارنده تخریب محیط زیست، تقویت قوانین بازدارنده مصرف پلاستیک‌ها، کنترل محیط پرورش آبزیان از ریزپلاستیک، ترویج دانش و آگاهی از تأثیر مخرب ریز پلاستیک‌ها بوده است. همچنین،

1. the general danger of microplastics

در مدل پژوهش یک لایه پنهان وجود دارد. شکل ۲، اطلاعات شبکه و لایه‌های شبکه عصبی در این تحلیل را نشان می‌دهد.



شکل ۲. وزن‌های سیناپسی و لایه‌های شبکه عصبی

خطای آنتروپی متقاطع هم برای نمونه آموزشی و هم برای نمونه آزمایشی داده می‌شود. زیرا تابع خطایی است که شبکه در طول مرحله آموزش به حداقل می‌رساند. قابل ملاحظه است که خطای پیش‌بینی در بخش آموزش حدوداً ۰/ درصد، در بخش آزمایش و در بخش نگه داشته شده که برای پیش‌بینی آینده است، این مقدار، ۰/۰۵ است. در حقیقت، این سیستم آموزش دیده که متغیرهایی که «میکروپلاستیک‌ها را خطرزا نمی‌داند» را تماماً درست و با سرعت بیشتری تشخیص داده و مشخص است که آموزش در این راستا خوب طراحی شده است. مقدار کوچک این خطا نشان‌دهنده قدرت مدل در پیش‌بینی نتیجه متغیرهای «میکروپلاستیک‌ها را ند» است. در حقیقت، این سیستم آموزش دیده که متغیرهایی که «میکروپلاستیک‌ها را خطرزا نمی‌داند» را با دقت بالایی تشخیص داده و مشخص است که آموزش در این راستا خوب طراحی شده است. جدول ۴، خلاصه مدل شبکه عصبی مصنوعی (اطلاعات مربوط به نتایج آموزش، آزمایش و نمونه نگه داشته شده) را ارائه می‌دهد.

جدول ٤. خلاصه مدل

بخش	معیار	مقدار
متغیر وابسته (خطر کلی)		_
فاز آموزش	خطای آنتروپی متقاطع	۰/۱۶۰
	درصد پیش‌بینی‌های نادرست	٪٤/۸
	قانون توقف استفاده‌شده	معیار نسبت خطای آموزش (۰/۰۰۱) برآورده شد
	زمان آموزش	۰: ۰۰: ۰/۰۳
فاز آزمایش	خطای آنتروپی متقاطع	٪۰/۰۵
	درصد پیش‌بینی‌های نادرست	٪۵/۲
فاز نگهداری	خطای آنتروپی متقاطع	٪۰/۰۵
	درصد پیش‌بینی‌های نادرست	٪۵/۵

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بر اساس جدول ۴، درصد پیش‌بینی‌های نادرست بر اساس نمونه آموزشی ۴/۸٪ است، در حالی‌که میزان پیش‌بینی‌های نادرست در مجموعه داده‌های آزمایشی و نگه‌داشته شده به ترتیب ۵/۲٪ و ۵/۵٪ کاهش می‌یابد. روند یادگیری تا یک مرحله متوالی بدون کاهش در عملکرد خطا از نمونه آزمایش انجام شد.

جدول ۵. طبقه‌بندی آموزش و آزمایش شبکه عصبی مصنوعی

مجموعه	مشاهده‌شده	پیش‌بینی‌شده		درصد صحیح
		ریزپلاستیک‌ها را خطرزا نمی‌داند	ریزپلاستیک‌ها را خطرزا می‌داند	
آموزشی	ریزپلاستیک‌ها را خطرزا نمی‌داند	۹۷	۵	٪۹۵/۲
	ریزپلاستیک‌ها را خطرزا می‌داند	۸	۱۷۲	
نگه‌داشته شده	ریزپلاستیک‌ها را خطرزا نمی‌داند	۷۶	٤	٪۹٤/۸
	ریزپلاستیک‌ها را خطرزا می‌داند	۵	۹۱	

مأخذ: یافته‌های پژوهش

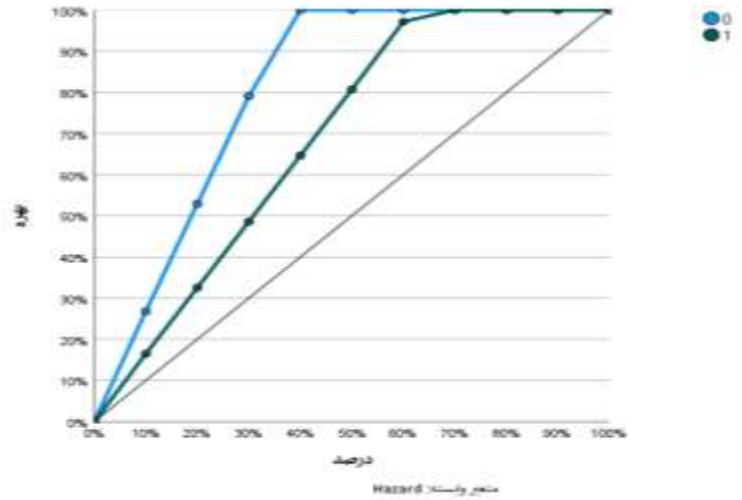
جدول ۵ که به آن ماتریس طبقه‌بندی[1] نیز می‌گویند، مشخص می‌نماید که ٪۹۶/۵ مواقع مدل شبکه عصبی مصنوعی طراحی‌شده توانسته است در آموزش، عاملی را که «میکروپلاستیک‌ها را خطرزا نمی‌داند» را شناسایی نماید؛ یعنی از ۱۰۲ مورد که بررسی شده، فقط ۵ مورد از اینکه میکروپلاستیک‌ها خطرناک نیستند در بخش خطرناک‌ها به اشتباه شناسایی کرده است و در بخش نگهداشتی نیز ۴ مورد از مواردی که می‌بایست در بخش غیر خطرناک طبقه‌بندی می‌شد در بخش خطرناک به اشتباه طبقه‌بندی شده است. این جدول، یک جدول طبقه‌بندی را برای نتیجه متغیر وابسته «میکروپلاستیک‌ها را خطرزا می‌داند» را بر اساس این دسته‌بندی، نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، مدل شبکه عصبی مصنوعی به درستی افراد نمونه را طبقه‌بندی کرده است. در مجموع ٪۹۵/۲ موارد آموزشی به‌درستی طبقه‌بندی شدند و در نمونه نگه داشته شده، حساسیت و دقت مدل ٪۹۴/۸ بود و طبقه‌بندی درست صورت گرفته است. قابل ملاحظه است که حداکثر حدود ۰/۰۲۲ (۴ مورد از ۱۸۰ مورد) مدل شبکه مصنوعی به اشتباه متغیر «میکروپلاستیک‌ها را خطرزا می‌داند» را در دسته بی‌خطرها شناسایی کرده که مقدار بسیار اندکی است (درواقع ٪۹۶/۵ مواقع متغیر را درست شناسایی نموده است) که این نشان از دقت این روش می‌باشد.

نمودار ۱، نمودار تجمعی منافع[2] را نشان می‌دهد که وجود طبقه‌بندی‌های صحیح به‌دست آمده توسط مدل در برابر طبقه‌بندی‌های صحیحی است که ممکن است به‌طور

1. classification
2. cumulative Gains

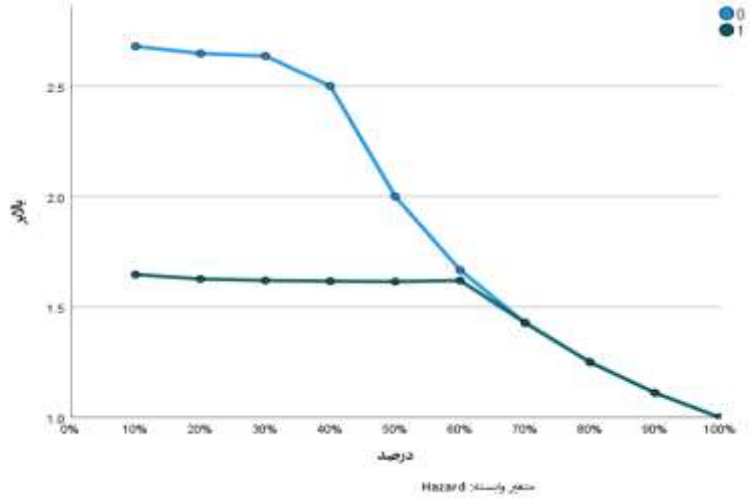
تصادفی (یعنی بدون استفاده از مدل) ایجاد شود. معیار منافع یا سود[1]، معیاری از اثربخشی یک مدل طبقه‌بندی است که به‌عنوان درصد پیش‌بینی‌های صحیح به‌دست آمده با مدل، در مقابل درصد پیش‌بینی‌های صحیح بدون مدل (خط پایه[2]) محاسبه می‌شود. هرچه منحنی بالای خط مبنا قرار گیرد، سود بیشتر است. سود کلی بالاتر نشان‌دهنده عملکرد بهتر است (زاچاریس، ۲۰۱۶). نمودار تجمعی منافع و بالابری[3]، نشان می‌دهد که با هدف قرار دادن درصد مشخصی از کل موارد، چه درصدی از تعداد موارد را در هر دسته (عامل «میکرو پلاستیک‌ها را خطرزا می‌داند» یا خیر) شامل می‌گردد. به‌طور مثال، سومین نقطه در منحنی برای دسته متغیر مورد بررسی «میکروپلاستیک‌ها را خطرزا می‌داند» در (نقطه ۴۰٪، بیش از ۶۲ درصد) است، به این معنی که اگر ۳۰ درصد داده‌های ثبت‌شده را انتخاب کنیم، بیش از ۶۲ درصد می‌تواند باعث تشخیص عاملی شود که منجر به اثرگذاری بر شناسایی «میکروپلاستیک‌ها را خطرزا می‌داند» گردد. در حقیقت اگر ۴۰ درصد این داده‌ها را در اختیار سیستم هوش مصنوعی قرار دهیم، بیش از ۶۲ درصد از متغیرهای مربوط به «میکروپلاستیک‌ها را خطرزا می‌داند» را پیدا می‌کند و اگر داده‌هایی بیش از ۶۸ درصد به بالا به آن سیستم هوش مصنوعی مربوطه دهیم، ۱۰۰ درصد از متغیرهای مرتبط با عاملی که «میکروپلاستیک‌ها را خطرزا می‌داند» را پیدا خواهد نمود. همچنین، پیدا کردن متغیرهایی که «میکروپلاستیک‌ها را خطرزا نمی‌داند» نیز برای سیستم هوش مصنوعی ساده‌تر بوده است، زیرا با ۴۰ درصد از داده‌ها توانسته است تمامی آن‌ها را از نظرات ارائه‌شده توسط تحلیل ادراکات افراد نمونه تشخیص تام دهد و درنتیجه توانسته آن‌ها را پیدا کرده و جهت پیدا نمودن این متغیرها سیستم نیازمند تلاش کمتری نیز بوده است.

1. gain
2. baseline
3. cumulatiue gains and lift charts



نمودار ۱. نمودار تجمعی منافی

نمودار ۲، نمودار تصاعدی[1]، است، این نمودار می‌تواند مشخص نماید که با ۱۰ درصد از عواملی که «میکروپلاستیک‌ها را خطرزا نمی‌داند» می‌توان پیش‌بینی پژوهشگر را بیش از ۲۸ درصد بالا برد، این ضریب (ضریب بالابری یا تصاعدی) این مقدار (یعنی ۲/۸ تقسیم بر ۰/۱) که این خود توانمندی پیش‌بینی مدل را نشان می‌دهد.



نمودار ۲. نمودار تصاعدی (بالابری)

1. lift chart

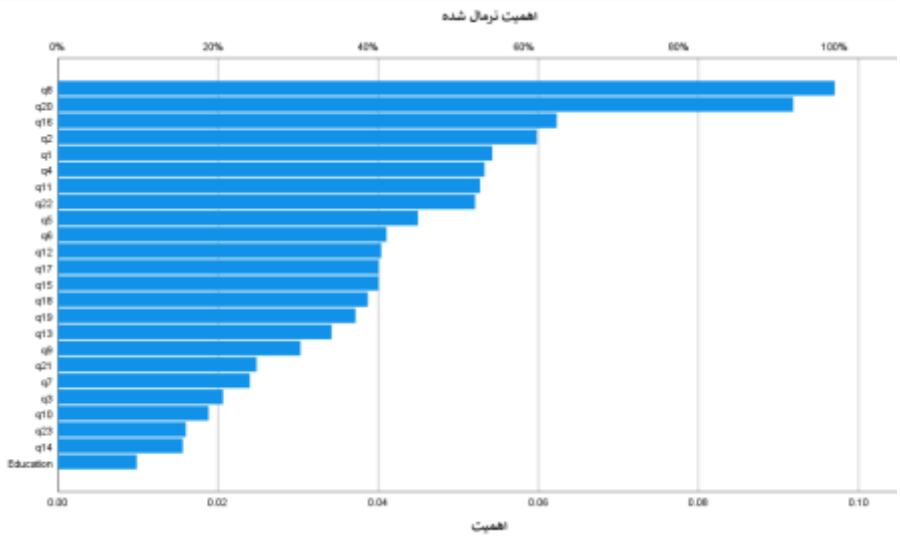
جدول ٦. اهمیت متغیرهای مستقل پژوهش

نماد	متغیر مستقل	اهمیت	اهمیت نرمال‌شده
Education	تحصیلات	۰/۰۱۰	٪۱۰/۱
q1	آگاهی از آسیب محیطی ناشی از کیسه‌های پلاستیکی	۰/۰٥٤	٪٥٥/۹
q2	آگاهی از عدم قابلیت بازیافت کیسه‌های پلاستیکی	۰/۰٦۰	٪٦۱/۷
q3	آگاهی از ناکارآمدی دفن زباله‌های پلاستیکی	۰/۰۲۱	٪۲۱/۳
q4	آگاهی از خطرات خفگی برای حیوانات	۰/۰٥۳	٪٥٤/۹
q5	آگاهی از انسداد آبراهه‌ها به دلیل پلاستیک	۰/۰٤٥	٪٤٦/۳
q6	اقدام شخصی برای کاهش استفاده از کیسه‌های پلاستیکی	۰/۰٤۱	٪٤۲/۳
q7	توافق با قوانین محدودیت استفاده از پلاستیک	۰/۰۲٤	٪۲٤/۷
q8	توافق با هزینه برای استفاده از کیسه‌های پلاستیکی	۰/۰۹۷	٪۱۰۰/۰
q9	نگرانی در مورد مواد سمی در تولید پلاستیک	۰/۰۳۰	٪۳۱/۲
q10	اثربخشی درک‌شده ممنوعیت تولید در مقابل مصرف	۰/۰۱۹	٪۱۹/٤
q11	آگاهی از آلودگی خاک و آب از پلاستیک	۰/۰٥۳	٪٥٤/۳
q12	آگاهی از خطرات سرطان مرتبط با پلاستیک	۰/۰٤۰	٪٤۱/٦
q13	آگاهی از انتشار گازهای گلخانه‌ای از پلاستیک	۰/۰۳٦	٪۳٥/۲
q14	آگاهی از تأثیر آلودگی پلاستیک بر توسعه اقتصادی	۰/۰۱٦	٪۱٦/۱
q15	آگاهی از تأثیر بر گردشگری	۰/۰٤۰	٪٤۱/۳
q16	آگاهی از تأثیر بر حمل و نقل دریایی	۰/۰٦۲	٪٦٤/۲
q17	آگاهی از تأثیر بر آبزی‌پروری	۰/۰٤۲	٪٤۱/۳
q18	آگاهی از تهدید برای کشاورزی	۰/۰۳۹	٪۳۹/۹
q19	آشنایی با جایگزین‌های کیسه‌های پلاستیکی	۰/۰۳۷	٪۳۸/۳
q20	کمبود درک‌شده دانش در مورد اثرات بهداشتی	۰/۰۹۲	٪۹٤/۷
q21	آگاهی از سمیت انسانی از طریق دام	۰/۰۲٥	٪۲٥/٦
q22	تأثیر خودارزیابی پرسشنامه بر کاهش استفاده از پلاستیک	۰/۰٥۲	٪٥۳/۷
q23	نظر در مورد مسیر مواجهه مضرترین میکروپلاستیک	۰/۰۱٦	٪۱٦/٥

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۶ و نمودار ۳، نیز اهمیت متغیرها را نشان می‌دهد، یعنی اینکه مدل چقدر نسبت به تغییر هریک از متغیرهای ورودی حساس است (زاچاریس، ۲۰۱۶). این نمودار مقادیر نرمال شده است که از روی جدول اهمیت متغیرهای مستقل (جدول شماره ۵) ساخته

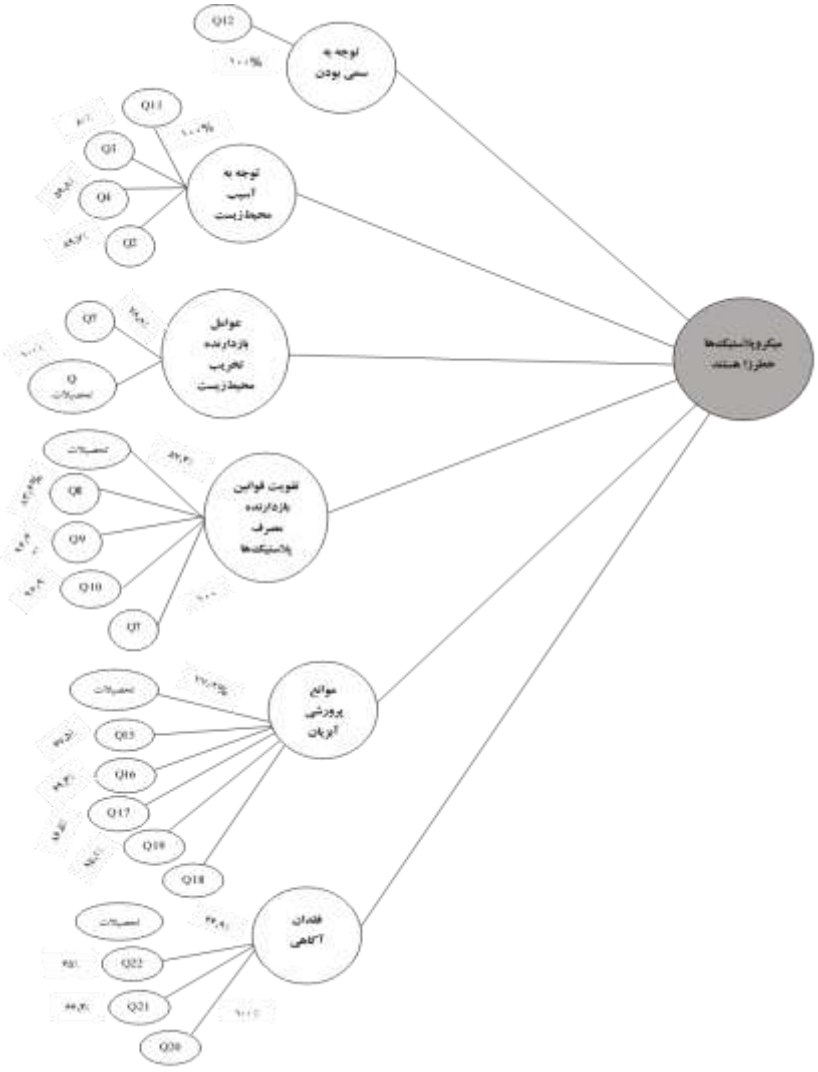
می‌شود. طبق این نمودار، متغیرهای هزینه استفاده از کیسه‌های پلاستیکی ، کمبود دانش در مورد اثرات بهداشتی، تأثیر بر حمل و نقل دریایی، آسیب محیط زیست، قابل بازیافت نبودن پلاستیک‌ها، خطرات خفگی برای حیوانات، آلودگی خاک و آب، ازجمله متغیرهای مستقل با تأثیر بیشتر از نظر ادراکات بررسی شده بوده است و جالب است اشاره شود که این ادراکات تحت تأثیر سطح تحصیلات افراد بوده است.



نمودار ۳. تحلیل کلی داده‌های نرمالایز شده شبکه عصبی مصنوعی برای اثرات مخرب ریزپلاستیک‌ها در خلیج‌فارس

پس از بررسی دقیق خروجی‌های مدل ساخته‌شده در شبکه عصبی مصنوعی و یادگیری ماشین درخصوص بررسی ادراکات از طریق ۴۰۸ پرسشنامه و تحلیل داده‌ها، نتایج در ۶ بعد تحت عناوین ۱) بعد توجه به سمی بودن، ۲) بعد توجه به آسیب زیست‌محیطی، ۳) بعد عوامل بازدارنده تخریب محیط‌زیست، ۴) بعد تقویت قوانین بازدارنده، ۵) بعد موانع پرورش آبزیان و ۶) بعد فقدان وجود آگاهی مناسب از شر ریزپلاستیک‌ها، در نتیجه‌گیری مشخص گردید. در راستای بعد ششم و در مسیر آگاهی‌دهی به افراد در محیط زیست مشخص گردید که میزان تحصیلات می‌تواند راه نجات مناسبی را برای کاهش شر ریزپلاستیک‌ها از دامان زمین باشد. در این خصوص پیشنهاد می‌گردد در دانشگاه‌ها و مدارس تأثیر مخرب معضل ریزپلاستیک‌ها انعکاس بیشتری داده شود. درواقع اثر

تحصیلات در بعد بازدارندگی (بعد سوم) حدوداً ۹۹ درصد و برای بعد پنجم یعنی بعد پرورش آبزیان ۷۷/۲ درصد و برای بعد تقویت قوانین (بعد چهارم) ۵۷/۴ درصد و در آخر برای بعد ششم یعنی فقدان وجود آگاهی می‌تواند ۴۴/۹ درصد مؤثر واقع گردد که به‌عنوان یک متغیر کلیدی در سیاست‌های اجرایی کاهش ریزپلاستیک‌ها می‌تواند مورد توجه مدیران و تصمیم‌گیرندگان محیط زیست و دولت واقع گردد. در مدل شماره ۴، ابعاد شناسایی‌شده پژوهش، نشان داده شد.



نمودار ٤. ابعاد شناسایی‌شده پژوهش

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی آگاهی و نگرش دانشجویان دانشگاه خلیج‌فارس نسبت به خطرات ریزپلاستیک‌ها و مصرف پلاستیک‌های مخرب انجام شد و نتایج آن شش بعد کلیدی را برجسته کرد: سمی بودن ریزپلاستیک‌ها، آسیب‌های زیست‌محیطی، عوامل بازدارنده تخریب محیط زیست، تقویت قوانین بازدارنده، موانع پرورش آبزیان و فقدان آگاهی مناسب. به این ابعاد در پژوهش‌های دیگر هم اشاره شده است. این بخش، یافته‌های پژوهش را با مطالعات پیشین مقایسه می‌کند.

الف) سمی بودن ریزپلاستیک‌ها: نتایج پژوهش نشان داد که دانشجویان آگاهی متوسطی از سمی بودن میکروپلاستیک‌ها برای سلامت انسان دارند، به‌ویژه از طریق ورود به زنجیره غذایی که در پاسخ‌های زنان برجسته بود. این یافته با مطالعات روکشان‌جایاسینگه و همکاران (۲۰۲۴)، پاستورینو و بارسلو[1] (۲۰۲۳) و شارما و ویدیارتی (۲۰۲۴) هم‌راستا است که بر اثرات سمی میکروپلاستیک‌ها بر متابولیسم، التهاب و سرطان تأکید کرده‌اند. بارسلو و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که میکروپلاستیک‌ها از طریق غذاهای دریایی وارد بدن می‌شوند و می‌توانند منجر به اختلالات متابولیک شوند که با یافته‌های پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. این اثرات بهداشتی مستقیماً به آسیب‌های زیست‌محیطی گسترده‌تر میکروپلاستیک‌ها مرتبط هستند و بر لزوم آموزش دانشجویان برای کاهش مواجهه تأکید می‌کنند.

ب) آسیب‌های زیست‌محیطی: پژوهش حاضر آسیب میکروپلاستیک‌ها به اکوسیستم‌های دریایی و خاکی خلیج‌فارس را تأیید کرد که با مطالعات ژو و همکاران (۲۰۲۵)، ایدو و همکاران (۲۰۲۴) و گاربونیس و همکاران (۲۰۲۲)، هم‌سو است. این مطالعات بر کاهش تنوع زیستی و اختلال در عملکرد اکوسیستم‌ها تأکید دارند. برای مثال، ژو و همکاران (۲۰۲۵)، به تجمع میکروپلاستیک‌ها در اکوسیستم‌های دریایی خلیج‌فارس اشاره کرده‌اند که با زمینه جغرافیایی پژوهش هم‌خوانی دارد. این آسیب‌ها که ریشه در سمی بودن میکروپلاستیک‌ها دارند، به موانع عملی مانند پرورش آبزیان منجر می‌شوند و نیاز به آگاهی‌رسانی زیست‌محیطی را برجسته می‌کنند.

ج) موانع پرورش آبزیان: پژوهش موانع پرورش آبزیان ناشی از میکروپلاستیک‌ها را شناسایی کرد، به‌ویژه کاهش کیفیت محصولات دریایی که در پاسخ‌های زنان برجسته بود.

1. Pastorino & Barceló

این نتیجه با مطالعات بیهان و اونکوموس (۲۰۲۴)، سان و همکاران (۲۰۲۴) و ایدو و همکاران (۲۰۲۴) هم‌راستا است که میکروپلاستیک‌ها را تهدیدی برای آبزی‌پروری و زنجیره غذایی می‌دانند. این موانع که از آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی می‌شوند، بر فقدان آگاهی عمومی تأکید دارند و نشان می‌دهند که آموزش دانشگاهی می‌تواند این چالش‌ها را کاهش دهد.

د) فقدان آگاهی مناسب: مهم‌ترین یافته پژوهش، فقدان آگاهی مناسب دانشجویان از خطرات میکروپلاستیک‌ها بود که با تحلیل داده‌های پرسشنامه از طریق شبکه‌های عصبی مصنوعی (برای رتبه‌بندی عوامل آگاهی) تأیید شد. این نتیجه با مطالعات بیهان و اونکوموس (۲۰۲۴)، ویلیس[1] و همکاران (۲۰۲۲) و فرانتزی و همکاران (۲۰۲۱)، هم‌سو است که کمبود آگاهی را مانع اصلی کاهش مصرف پلاستیک می‌دانند. این شکاف آگاهی که به موانع عملی مانند پرورش آبزیان مرتبط است، نیاز به عوامل بازدارنده مانند آموزش دانشگاهی را تقویت می‌کند.

ز) عوامل بازدارنده تخریب محیط‌زیست: پژوهش نشان داد که آموزش دانشگاهی عامل کلیدی در کاهش تخریب محیط زیست ناشی از میکروپلاستیک‌ها است. این یافته با مطالعات بیهان و اونکوموس (۲۰۲۴) و بارسلو[2] (۲۰۲۴) هم‌راستا است که بر نقش مداخلات آموزشی در تغییر رفتار مصرف‌کنندگان تأکید دارند. این عوامل بازدارنده که بر پایه رفع فقدان آگاهی هستند، به‌عنوان پیش‌زمینه‌ای برای تقویت قوانین عمل می‌کنند و آموزش را به سیاست‌گذاری متصل می‌کنند.

ه) تقویت قوانین بازدارنده: نتایج پژوهش حمایت دانشجویان از قوانین بازدارنده برای کاهش مصرف زباله‌های پلاستیکی را نشان داد که با مطالعات روکشان‌جایاسینگه و همکاران (۲۰۲۴)، ویلیس و همکاران (۲۰۲۱) و فرانتزی و همکاران (۲۰۲۱)، هم‌خوانی دارد. این مطالعات نشان دادند که قوانین محدودکننده مصرف کیسه‌های پلاستیکی رفتار مصرف‌کنندگان را تغییر می‌دهد. تلفیق این قوانین با آموزش دانشگاهی می‌تواند مدیریت میکروپلاستیک‌ها در خلیج‌فارس را بهبود دهد و چرخه اثرات، موانع و راهکارها را کامل کند.

1. Willis
2. Barceló

در مجموع، آلودگی پلاستیک همواره رو به افزایش است و به دلیل مدیریت ضعیف زباله‌های پلاستیکی، به یک مشکل جهانی تبدیل شده است. میکروپلاستیک‌ها نه‌تنها منجر به آلودگی محیط زیست می‌شود بلکه به همه بخش‌های زندگی ما ازجمله دستگاه گوارش انسان حمله کرده است و تهدید قابل توجهی برای حیات وحش و بهزیستی انسان می‌باشد که از طریق خاک، غذا، آب آشامیدنی یا تنفس هوا، خطرات سلامتی شدیدی ازجمله بیماری‌های گوارش و سرطان‌های مختلف ایجاد می‌کند. ازاین‌رو، توجه و رسیدگی فوری و اقدامات کاهشی برای مقابله با میکروپلاستیک‌ها و کنترل آن، ضروری می‌باشد.

یافته‌های این پژوهش به ادبیات موجود درباره تأثیر آموزش بر کاهش آلودگی پلاستیکی می‌افزاید و نقش تحصیلات دانشگاهی را به‌عنوان یک عامل کلیدی تأیید می‌کند. از نظر عملی، نتایج این مطالعه به سیاست‌گذاران، مدیران دانشگاهی و صنایع پیشنهاد می‌دهد که برنامه‌های آموزشی هدفمند و قوانین بازدارنده را تقویت کنند. تفاوت‌های جنسیتی مشاهده‌شده در پاسخ‌ها (مانند توجه بیشتر زنان به آلودگی غذاهای دریایی و مردان به بطری‌های آب و لباس‌های پلاستیکی) نشان‌دهنده نیاز به رویکردهای آموزشی جنسیت‌محور است.

همچنین یادگیری ماشین با بررسی ابعاد دیگر، پیشنهادهای مؤثری را مشخص نموده است که در زیر به آن‌ها اشاره می‌گردد:

۱. برای کنترل بعد سمی بودن: باید به اطلاع‌رسانی به مردم در این رابطه که تجزیه پلاستیک‌ها به مسمومیت خاک و خورده شدن آن توسط گوسفندان و حیوانات اهلی می‌تواند انسان را نیز به‌راحتی مسموم ساخته و بیماری‌هایی نظیر سرطان را رشد دهد که به‌نوعی منجر به سونامی سرطان بین انسان‌ها می‌گردد، پرداخت.

۲. برای پایش آسیب‌های زیست‌محیطی: باید به این توجه داشت که کیسه‌های پلاستیکی می‌توانند به محیط زیست آسیب جدی وارد نماید. همچنین این آگاهی را به مردم باید داد که کیسه‌های پلاستیکی با هر نازکی که دارند قابل بازیافت در طول زمان زندگی خودشان نیست و می‌تواند محیط زیست را به شکل متراکمی آلوده نماید.

۳. در بعد عوامل بازدارنده و تخریب محیط زیست: بررسی‌های شبکه عصبی مصنوعی نشان می‌دهد که برای کمک به این عوامل بازدارنده، می‌بایست هرچه سریع‌تر به تقویت فرهنگ کاهش مصرف کیسه‌های پلاستیکی اقدام نمود!

۴. در بعد تقویت قوانین بازدارنده برای مصرف پلاستیک‌ها: پیشنهاد آن است که قوانین سخت‌گیرانه‌تری بر مصرف آن وضع گردد همچنین هزینه‌های کیسه‌های پلاستیکی از مصرف‌کننده اخذ شود و ممنوعیت روی تولید و مصرف و یا هردو، به صورت تدریجی اجرایی شود!

۵. در بعد ریزپلاستیک‌ها مانعی برای آبزی‌پروری: پیشنهادهای یادگیری ماشین بر این عامل استوار است که برای مردم تبیین گردد که آلودگی‌های پلاستیکی منجر به کاهش توسعه صنعت آبزی‌پروری به دلیل تلفات بالای آبزیان، صدمه به زیرساخت‌های حمل‌ونقل دریایی و همچنین با از بین بردن چشم‌اندازهای ساحلی می‌تواند صنعت توریسم را به رکود کشانده و حتی مانع توسعه اقتصادی در جامعه گردد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تضاد منافعی در رابطه با این مقاله وجود ندارد.

سپاسگزاری

از همه همکارانی که با ارائه بینش و تخصص خود به این تحقیق کمک شایانی کردند، سپاسگزاریم. همچنین از داوران ناشناس به خاطر پیشنهادهای ارزشمندشان برای بهبود مقاله تشکر می‌کنیم.

ORCID

Mojgan Hasanpour https://orcid.org/0009-0006-2371-3136

Hamid Shahbandarzadeh https://orcid.org/0000-0002-0006-6291

۸. منابع

احمدی، یعقوب؛ مرادی، سالار و حکیمی‌نیا، بهزاد. (۱۴۰۳). شناسایی و تحلیل تهدیدات و فرصت‌های برآمده از پیشران‌های فرهنگ زیست‌محیطی در حوزه اجتماعی و فرهنگی. *فصلنامه اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی*، ۴(۹)، ۵-۵۷.

http://10.22054/eenr.2025.82654.193

اخباری‌زاده، رازقه؛ نبی‌پور و دوبرادران، سینا. (۲۰۲۲). میکروپلاستیک‌ها در خلیج‌فارس. *مجله طب جنوب*، ۲۵(۲)، ۱۷۹-۱۹۷. http://ismj.bpums.ac.ir/article-1-1617-fa.html

ایزدی، پارسه. (۲۰۲۴). بررسی ارتباط بین صادرات محصولات پتروشیمی و آلودگی محیط زیست. *فصلنامه اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی*، ۴(۹)، ۵۹-۸۳.
http://dx.doi.org/10.22054/EENR.2025.81348.189

دهقانی، سمانه و یونسیان، مسعود. (۲۰۲۴). میکروپلاستیک و سلامت انسان: درک خطرات و پیامدها. ۱۹(۴)، ۳۴۱-۳۴۶. http://irje.tums.ac.ir/article-1-7322-fa.html

هاشم‌پور، یلدا؛ جباری، کوهی و کوثر، فندرسکی. (۲۰۲۴). معرفی روش‌های آماری جهت تعیین منابع میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های آبی؛ مطالعهٔ مروری. *مجله تحقیقات سلامت در جامعه*، ۹(۴)، ۱۱۱-۱۲۰. http://jhc.mazums.ac.ir/article-1-923-fa.html

References

Al-Tarshi, M., Dobretsov, S., and Gallardo, W. (2024). Marine litter and microplastic pollution in mangrove sediments in the Sea of Oman, *Marine Pollution Bulletin*, 201(February), p. 116132. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116132.

Ahmadi, Y, Moradi, S, Hakiminya, B. (2024). Identifying and Analyzing Threats and Opportunities Arising from the Drivers of Environmental Culture in the Social and Cultural Spheres. *Journal of Environmental and Natural Resource Economics*. 4(9), 5-57. http://dx.doi.org/10.22054/EENR.2025.82654.193 [In Persian].

Akhbarizadeh, R, Nabipour, I, Dobaradaran, S. (2022). Microplastics in the Persian Gulf. Iran South Med J. 25 (2) :179-197. http://ismj.bpums.ac.ir/article-1-1617-fa.html. [In Persian].

Barceló, D. (2024). Microplastics in the environment: analytical chemistry methods, sorption materials, risks and sustainable solutions, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 416(15), 3479-3485. https://doi.org/10.1007/s00216-024-05319-4.

Barceló, D., Picó, Y., and Alfarhan, A.H. (2023). Microplastics: Detection in human samples, cell line studies, and health impacts, *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 101(June). https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.104204.

Bayhan, B. and Uncumusaoglu, A.A. (2024). Abundance, characteristics, and potential ecological risks of microplastics in some commercial fish in İzmir Bay (Aegean Sea, Türkiye), *Regional Studies in Marine Science*, 73(October), 103488. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103488.

Behmanesh, M., Chamani, A., & Chavoshi, E. (2023). Sedimentary abundance and major determinants of river microplastic contamination in the central arid part of Iran. *Applied Water Science*, *13*(12), 239. https://doi.org/10.1007/s13201-023-02038-6.

Bouadil, O., Benomar, M., El Ouarghi, H., Aboulhassan, M. A., & Benbrahim, S. (2024). Identification and quantification of microplastics in surface water of a southwestern Mediterranean Bay (Al Hoceima, Morocco). *Waste Management Bulletin*, 2(1), 142-151. https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.01.003.

Cole, M., Gomiero, A., Jaén-Gil, A., Haave, M., & Lusher, A. (2024). Microplastic and PTFE contamination of food from cookware. *Science of the Total Environment*, 929, 172577. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172577.

Dai, Z., Zhang, H., Zhou, Q., Tian, Y., Chen, T., Tu, C., ... & Luo, Y. (2018). Occurrence of microplastics in the water column and sediment in an inland sea affected by intensive anthropogenic activities. *Environmental pollution*, 242, 1557-1565. https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2018.07.131.

Das, T. (2022). *Emergence of Plastic as a Pollutant* (pp. 1–5). Springer eBooks. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10729-0_1.

Dehghani, S, Yunesian, M. (2024). Microplastics and Human Health: Perception of Risks and Consequences. *Irje*, 19 (4), 341-346. http://irje.tums.ac.ir/article-1-7322-fa.html. [In Persian].

Frantzi, S., Brouwer, R., Watkins, E., van Beukering, P., Cunha, M. C., Dijkstra, H., ... & Triantaphyllidis, G. (2021). Adoption and diffusion of marine litter clean-up technologies across European seas: Legal, institutional and financial drivers and barriers. *Marine Pollution Bulletin*, 170, 112611. https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2021.112611.

Garbounis, G., Karasali, H. and Komilis, D. (2022). A Life Cycle Analysis to Optimally Manage Wasted Plastic Pesticide Containers, *Sustainability (Switzerland)*, 14(14). https://doi.org/10.3390/su14148405.

García-Morales, J., Cervantes-Bobadilla, M., Hernández-Pérez, J. A., Saavedra-Benítez, Y. I., Adam-Medina, M., & Guerrero-Ramírez, G. V. (2022). Inverse artificial neural network control design for a double tube heat exchanger. *Case Studies in Thermal Engineering*, 34, 102075. https://doi.org/10.1016/J.CSITE.2022.102075.

Hajiouni, S., Mohammadi, A., Ramavandi, B., Arfaeinia, H., De-la-Torre, G. E., Tekle-Röttering, A., & Dobaradaran, S. (2022). Occurrence of microplastics and phthalate esters in urban runoff: a focus on the Persian Gulf coastline. *Science of the Total Environment*, 806, 150559. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.150559.

Hashempour, Y, Jabari, A, kouhi, K, Fendereski, A. (2024) Introducing Statistical Methods to Identify the Sources of Microplastics in the Aquatic Environment: An Overview. *J Health Res Commun*. 9 (4), 111-120. http://jhc.mazums.ac.ir/article-1-923-fa.html. [In Persian].

Idowu, G. A., Oriji, A. Y., Olorunfemi, K. O., Sunday, M. O., Sogbanmu, T. O., Bodunwa, O. K., ... & Aiyesanmi, A. F. (2024). Why Nigeria should ban single-use plastics: Excessive microplastic pollution of the water, sediments and fish species in Osun River, Nigeria. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 13, 100409. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2024. 100409.

Islam, F. S. (2025). The Effects of Plastic and Microplastic Waste on the Marine Environment and the Ocean. *European Journal of Environment and Earth Sciences*, 6(3), 1-9. https://doi.org/10.24018/ejgeo.2025. 6.3. 508.

Izadi, H. R., Parseh, Z. (2024). Investigating The Relationship Between Export of Petrochemical Products and Environmental Pollution in The Climatic Field of Iran. *Journal of Environmental and Natural Resource Economics*. 4(9), 59-83. http://dx.doi.org/10.22054/EENR.2025.81348. 189. [In Persian].

Jayasinghe, R. R., Abeyrathna, W. P., Hendawitharana, M. P., Liyanage, C. L., Williams, K. S., & Halwatura, R. U. (2024). Overcoming policy gaps for effective plastic waste management: A case study of Dikkowita Fishery Harbour, Sri Lanka. *Marine Policy*, 161, 106028. https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2024.106028.

khan, U. (2023). Plastic Pollution: Understanding the Global Threat and Countermeasures. *Journal of Biosensors and Bioelectronics Research*, 1–2. https://doi.org/10.47363/jbber/2023(1)104.

Lai, W., Kuang, M., Wang, X. et al. Skin cancer diagnosis (SCD) using Artificial Neural Network (ANN) and Improved Gray Wolf Optimization (IGWO). Sci Rep 13, 19377 (2023). https://doi.org/10.1038/s41598-023-45039-w

Liu, G. and Lisak, G. (2023). Inherently separated syngas production from plastic waste fast pyrolysis integrated with volatile chemical looping conversion with CO2 splitting, *Chemical Engineering Journal*, 465(February), 142915. https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.142915.

Liu, P., Shao, L., Guo, Z., Zhang, Y., Cao, Y., Ma, X., & Morawska, L. (2025). Physicochemical characteristics of airborne microplastics of a typical coastal city in the Yangtze River Delta Region, China. *Journal of Environmental Sciences*, 148, 602-613. https://doi.org/10.1016/ J.JES.2023.09.027.

López-Jiménez, L. (2023). *La conciencia ambiental desde la educación y la gestión: fundamentos teóricos*. *3*(2), 5-12. https://doi.org/10.58594/rtest. v3i2.70.

Mursid, A., Fehabutar, D., Wulandari, D., & Hidaayatullaah, H. N. (2021). *The Research Agenda of Green Education in Enhancing Environmental Concern and Green Consumption*. *2*(1), 1–4. https://doi.org/10.46627/ SILET.V2I1.60.

Noorimotlagh, Z., Hopke, P.K. and Mirzaee, S.A. (2024). A systematic review of airborne microplastics emissions as emerging contaminants in outdoor and indoor air environments, *Emerging Contaminants*, 10(4), 100372. https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100372.

Pastorino, P. and Barceló, D. (2023). Microplastics and their environmental effects, *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 104, 104324. https://doi.org/10.1016/J.ETAP.2023.104324.

Reshadi, M. A. M., Rezanezhad, F., Shahvaran, A. R., Ghajari, A., Kaykhosravi, S., Slowinski, S., & Van Cappellen, P. (2025). Assessment of environmental and socioeconomic drivers of urban stormwater microplastics using machine learning. *Scientific reports*, *15*(1), 6299. https://doi.org/10.1038/s41598-025-90612-0.

Razaviarani, V., Saudagar, A., Gallage, S., Shrinath, S., & Arab, G. (2024). Comprehensive investigation on microplastics from source to sink. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 26(6), 1755-1782. https://doi.org/10.1007/s10098-024-02738-w

Sharma, P. and Vidyarthi, V.K. (2024). Impact of microplastic intake via poultry products: Environmental toxicity and human health, *Journal of Hazardous Materials Advances*, 14(February), 100426. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2024.100426.

Stöfen-O'Brien, A., Naji, A., Brooks, A. L., Jambeck, J. R., & Khan, F. R. (2022). Marine plastic debris in the Arabian/Persian Gulf: Challenges, opportunities and recommendations from a transdisciplinary perspective. *Marine Policy*, 136, 104909. https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2021.104909.

Sun, X., Yang, R., Ji, J., Zhu, Z., White, J. C., & Shen, Y. (2024). An evaluation of microplastic contamination in the marine waters and species in the coastal region of the South Yellow Sea, China. *Journal of Hazardous Materials*, 469, 134018. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134018.

Varkey, P.S., Walker, T.R. and Saunders, S.J. (2021). Identifying barriers to reducing single-use plastic use in a coastal metropolitan city in Canada, *Ocean & Coastal Management*, 210, 105663. https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2021.105663.

Vega Granda, R. A., Bazurto Rodríguez, I. M., & Jaramillo Palacios, G. P. (2023). El Constructivismo en entornos virtuales y su aplicación en los estudiantes. *Propuestas Educativas*. https://doi.org/10.61287/propuestaseducativas.v5i19.2.

Wang, Z., He, H., Zhai, Y., Xu, Z., Chen, Y., & Liu, X. (2025). Photoaging processes and mechanisms of polyolefin microplastics. *Separation and Purification Technology*, 353, 128314. https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2024.128314.

Willis, K.A. *et al.* (2022). Cleaner seas: reducing marine pollution, *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 32(1), 145-160. https://doi.org/10.1007/s11160-021-09674-8.

Xiong, W., Hu, M., He, S., Ye, Y., Xiang, Y., Peng, H., ... & Peng, S. (2025). Microplastics enhance the adsorption capacity of zinc oxide nanoparticles: Interactive mechanisms and influence factors. *Journal of Environmental Sciences*, 147, 665-676. https://doi.org/10.1016/J.JES.2023.12.017.

Yang, J., Peng, Z., Sun, J., Chen, Z., Niu, X., Xu, H., ... & Shen, Z. (2024). A review on advancements in atmospheric microplastics research: The pivotal role of machine learning. *Science of the Total Environment*, 945, 173966. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173966.

Z. Zacharis, N. (2016) 'Predicting Student Academic Performance in Blended Learning Using Artificial Neural Networks', *International Journal of Artificial Intelligence & Applications*, 7(5), 17–29. https://doi.org/10.5121/ijaia.2016.7502.

Zhang, Y., Duan, J., Liu, R., Petropoulos, E., Feng, Y., Xue, L., ... & He, S. (2025). Efficient magnetic capture of PE microplastic from water by PEG modified Fe3O4 nanoparticles: Performance, kinetics, isotherms and influence factors. *Journal of Environmental Sciences*, 147, 677-687. https://doi.org/10.1016/J.JES.2023.07.025.

Zhao, W., Jiang, J., Liu, M., Tu, T., Wang, L., & Zhang, S. (2024). Exploring correlations between microplastics, microorganisms, and water quality in an urban drinking water source. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 275, 116249. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116249.

Zou, H. H., He, P. J., Peng, W., Lan, D. Y., Xian, H. Y., Lü, F., & Zhang, H. (2025). Rapid detection of colored and colorless macro-and micro-plastics in complex environment via near-infrared spectroscopy and machine learning. *Journal of Environmental Sciences*, 147, 512-522. https://doi.org/10.1016/J.JES.2023.12.004.

استناد به این مقاله: حسن پور، مژگان؛ شاه‌بندرزاده، حمید. (۱۴۰۴). ارزیابی ادراکات دانشجویان از اثرات زیان‌بار میکروپلاستیک ها به‌منظور تقویت آگاهی زیست محیطی: رویکرد مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی، فصلنامه اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی، ۱۱(۵)، صفحات ۲۹-۶۱.

Journal of Environmental and Natural Resource Economics licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.